CEPHE SİSTEMLERİNDE AKILLI MALZEMELERİN YERİ VE YÜKSEK YAPILARDA UYGULANABİLİRLİĞİ

Özlem SEVİNÇ
191421203

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Disiplinlerarası Yenilenebilir Enerji Teknolojileri ve Yönetimi Anabilim Dalı
Enerji Etkin Yapılar Tezli Yüksek Lisans Programı
Danışman: Doç. Dr. Özgür ÖZKAN

İstanbul
T.C. Maltepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Şubat, 2023

CEPHE SİSTEMLERİNDE AKILLI MALZEMELERİN YERİ VE YÜKSEK YAPILARDA UYGULANABİLİRLİĞİ

Özlem SEVİNÇ
191421203
ORCID:0000-0002-8509-2519

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Disiplinlerarası Yenilenebilir Enerji Teknolojileri ve Yönetimi Anabilim Dalı
Enerji Etkin Yapılar Tezli Yüksek Lisans Programı
Danışman: Doç. Dr. Özgür ÖZKAN

İstanbul
T.C. Maltepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Şubat, 2023



JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Bu belge, Yükseköğretim Kurulu tarafından 19.01.2021 tarihli "Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge" ile bildirilen 6698 Sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu kapsamında gizlenmiştir.

ETİK İLKE VE KURALLARA UYUM BEYANI

Bu belge, Yükseköğretim Kurulu tarafından 19.01.2021 tarihli "Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge" ile bildirilen 6698 Sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu kapsamında gizlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans ve tez çalışmam süresince, destek ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Özgür Özkan olmak üzere, çalışmamda yardımlarını esirgemeyen tüm akademisyen dostlarıma çok teşekkür ederim. Aynı zamanda desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen sevgili eşim ve kızlarıma teşekkür ederim.

Özlem SEVİNÇ

Şubat, 2023

ÖZET

CEPHE SİSTEMLERİNDE AKILLI MALZEMELERİN YERİ VE YÜKSEK YAPILARDA UYGULANABİLİRLİĞİ

Özlem Sevinç
Yüksek Tezi
Disiplinlerarası Yenilenebilir Enerji Teknolojileri ve Yönetimi Anabilim Dalı
Enerji Etkin Yapılar Tezli Yüksek Lisans Programı
Danışman: Doç. Dr. Özgür Özkan
Maltepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 2023

Tüm dünyada sanayileşme ile artan nüfus yoğunluğu ve beraberinde getirdiği çevresel sorunlar sonrasında enerji tüketiminin azaltılması yolunda çalışmalar hız kazanmıştır. Enerji tüketiminde büyük etkiye sahip olan binalarda enerji tüketimini yönetmek adına birçok çalışma bulunmaktadır. Yüksek yapılar ve yüksek yapıların kabuğunu oluşturan cephe yüzeyleri büyük alanlara sahip olmaları bakımından enerji etkinliği konusunda çözüm yaratma konusunda dikkat çekmektedir. Yenilikçi çalışmalar ile araştırmaları devam etmekte olan akıllı malzemeler ve bu malzemelerin kullanım alanlarının genişletilmesi de enerji etkin yapı tasarlamakta kavram olarak önemli bir yer edinmektedir.

Çalışma kapsamında özellikle 'Yüksek yapıların cephe sistemlerinde akıllı malzemelerin kullanılması ile enerji etkinliğine katkı sağlanabilir mi?' sorusundan yola çıkılmıştır. Bu amaçtan hareketle enerji etkinliği kavramını oluşturan, ısı korunumu, gün ışığından faydalanma, doğal havalandırma, cepheye entegre enerji üretimi, temizlik ve bakım giderlerini aza indirgeyerek enerji korunumu, zehirli madde içermeme ve uzun ömür gibi kriterler üzerinden akıllı malzemelerin avantaj ve dezavantajlarına yer verilerek değerlendirmeleri tablolar ile derlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Akıllı malzemeler, enerji etkin cephe tasarımı, sürdürülebilirlik, yüksek yapılar, cephede enerji etkin tasarım

ABSTRACT

SMART MATERILAS ON FACADE SYSTEMS AND THEIR APPLICABILITY ON HIGH RISE BUILDINGS

Özlem Sevinç
Master Thesis
Interdisciplinary Renewable Energy Technologies and Management Department
Energy Efficient Structures Programme Thesis
Thesis Advisor: Assoc. Prof. Özgür Özkan
Maltepe University Graduate School, 2023

Due to increase in population and environmental problems after industrialization, the efforts to reduce energy consumption, have gained importance all over the world. There are many studies concerning how to manage energy consumption in buildings which have a significant role in energy consumption. Solutions for high-rise buildings and facades that covers large surfaces, have drawn attention to create solutions for energy efficiency. Ongoing innovative studies, research on smart materials and the increasing demand of the usage of these materials also have importance in designing the concept of energy efficient structures.

Within the scope of the study, the question of "Can the usage of smart materials in the facade systems of high buildings, contribute to energy efficiency?" is asked. Based on this purpose, the advantages and disadvantages of smart materials based on the energy efficiency concept were presented with tables that are developed as a result of evaluation of criteria such as heat conservation, daylight benefit natural ventilation energy production integrated into the facade, energy conservation by minimizing cleaning and maintenance costs, non-toxic substances and being long life.

Keywords: Smart materials, energy efficient facade design, sustainability, tall buildings, energy efficient facade design

İÇİNDEKİLER

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI ii
ETİK İLKE VE KURALLARA UYUM BEYANI iii
TEŞEKKÜR iv
ÖZET v
ABSTRACT vi
İÇİNDEKİLER vii
TABLOLAR LİSTESİ x
ŞEKİLLER LİSTESİ xi
KISALTMALAR xiv
1. GİRİŞ 1
1.1 Problem Tanımı ve Amaç 1
1.2 Kapsam 2
1.3 Yöntem 2
2. AKILLI MALZEMELERE VE YÜKSEK YAPILARA GENEL BAKIŞ 4
2.1 Akıllı Malzemeler 4
2.1.1 Tarihsel gelişim sürecinde akıllı malzemeler 7
2.1.2 Akıllı malzemelerin sınıflandırılması 9
2.1.3 Akıllı malzemeler ve akıllı sistemler 12
2.1.4 Akıllı malzemelerin enerji etkin yapı tasarımına katkısı 12
2.2 Yüksek Yapılar 16
2.2.1 Yüksek yapı kavramı ve tanımı 16
2.2.2 Yüksek yapıların tarihsel gelişimi 19

2.2.2.1 Endüstri devrimi öncesi yüksek yapılar 19

2.2.2.2 Sanayi devrimi sonrası Amerika'da yüksek yapıların tarihsel gelişimi……21

2.2.2.3 Dünyada yüksek yapıların tarihi gelişimi 30

2.2.2.4 Türkiye'de yüksek yapıların tarihi gelişimi 31

2.2.3 Yüksek yapıların gelişim sürecinde enerji tüketiminin tarihsel analizi 32

2.3 Yapı Kabuğu ve Cephesinin Yapılarda Enerji Tüketimindeki Yeri 35

2.3.1 Yüksek yapılarda cephe sistemleri 37

2.3.1.1 Şeffaf cephe sistemleri 39

2.3.1.2 Opak cephe sistemleri..... 42

2.4 Yüksek Yapılarda Enerji Etkin Cephe Tasarımı ve Enerji Performansına Etkisi …… 43

3. YÜKSEK YAPI CEPHELERİNDE KULLANIM ALANLARINA GÖRE AKILLI MALZEMELER 47

3.1 Özellik Değiştiren Akıllı Malzemeler 50

3.1.1 Renk ve optik özellik değiştiren akıllı malzemeler 50

3.1.1.1 Fotokromik akıllı malzemeler 52

3.1.1.2 Termokromik akıllı malzemeler 57

3.1.1.3 Elektrokromik akıllı malzemeler 61

3.1.2 Şekil hafızalı akıllı malzemeler 69

3.1.2.1 Termostriktif akıllı malzemeler 70

3.1.2.2 Elektroaktif akıllı malzemeler 73

3.1.3 Adezyon değiştiren akıllı malzemeler 75

3.2 Enerji Alışverişi Yapan Akıllı Malzemeler 86
3.2.1 Işık yayan akıllı malzemeler 88
3.2.1.1 Fotolüminesans akıllı malzemeler 88
3.2.1.2 Elektrolüminesans akıllı malzemeler 89
3.2.2 Elektrik üreten akıllı malzemeler 96
3.2.2.1 Fotoelektrik akıllı malzemeler 96
3.2.2.2 Piezoelektrik akıllı malzemeler 101
3.2.2.3 Termoelektrik (Piroelektrik) akıllı malzemeler 104
3.2.3 Faz değiştiren malzemeler 104
3.2.4 Şekil hafızalı akıllı malzemeler 110
4. SONUÇ VE ÖNERİLER 119
KAYNAKLAR 126
ÖZGEÇMİŞ 140

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1. Akıllı malzemeler ve sistemlerin ayırt edilebilirlikleri 6
Tablo 2. Addington ve Schodek tarafından yapılan akıllı malzemelerin sınıflandırılması 10
Tablo 3. Axel Ritter'e göre Akıllı Malzemelerin Sınıflandırılması 11
Tablo 4. Yapı cephesinden beklenen Konfor ve Enerji performansı 37
Tablo 5. Şeffaf Cephelerin Isıl ve görsel konfora etkisi 41
Tablo 6. Opak Cephelerin Isıl ve görsel konfora etkisi 43
Tablo 7. Addington ve Schodek (2005) Akıllı Malzemeler sınıflandırması ile Axel Ritter (2007) Akıllı Malzeme sınıflandırması karşılaştırması 47
Tablo 8. Addington, Schodek (2005) ve Axel Ritter (2007) Akıllı malzemeler sınıflandırmasında yer alan Akıllı Malzemelerin karşılaştırması 49
Tablo 9. Akıllı malzemeler ve uyaranlar karşısındaki değişimleri 51
Tablo 10. Renk ve Optik Değiştiren Akıllı Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları .. 67
Tablo 11. Şekil değiştiren akıllı malzemelerin Ritter' e göre sınıflandırılması 69
Tablo 12. Fotokatalitik Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları 85
Tablo 13. Adington ve Schodek ve Alex Ritter tarafından yapılan sınıflandırmaya ait karşılaştırma tablosu 87
Tablo 14. Elektrik üreten akıllı malzemelerin Axel Ritter'e göre uyaranlara verdiği tepkiler listelenmektedir. 96
Tablo 15. Axel Ritter ile Addington ve Schodek'in sınıflandırmasında Şekil Değiştiren Malzemeler ve Şekil Hafızalı Alaşım ve Polimerler gösterilmiştir. 110
Tablo 16. Şekil hafızalı malzemelerin sınıflandırması ve avantaj ve dezavantajları ... 113
Tablo 17. Enerji Alışverişi Yapan Akıllı Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları Tablosu..... 117
Tablo 18. Akıllı Malzemeler ve Enerji Etkinliğine Katkıları 121

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Jean Nouvel'in Institut du Monde Arabe Bina Cephesi ve Mekanik Diyafram Detayı 9
Şekil 2. Giza Piramitleri Keops, Kefren ve Mikerinos ve Brueghel tarafından yapılan Babil Kulesi tablosu 19
Şekil 3. Roma İmparatorluğu dönemine Pantheon ve dünyanın en yüksek kilisesi unvanına sahip olan Ulm Katedrali 20
Şekil 4. Dünyanın ilk gökdeleni olarak kabul edilen Home Insurance Company Binası ve giydirme cepheli ve çelik iskelet sistemin ilk kullanıldığı örneklerden Tacoma Building 22
Şekil 5. Monadnock Building 23
Şekil 6. Mimar Daniel Burnham tasarımı olan Flariton Binası ve yapım aşamaları 23
Şekil 7. Yüksekliği 241 metre olan Woolworth Binası 25
Şekil 8. Art Deco örneği olan Chrysler Building ve Empire State Building 25
Şekil 9. 1916 Yılında Yürürlüğe Giren Yönetmeliğin Yüksek Yapı Formlarına Etkisi.. 27
Şekil 10. Mis Van Der Rohe ve Johnson'ın birlikte gerçekleştirdiği Seagram Binası ile Chicago'da 1964 yılında Bertrand Goldberg tarafından yapılan Marina City Kuleleri . 28
Şekil 11. 95 katlı ve 344 metre yüksekliğe sahip John Hancock Merkezi 29
Şekil 12. Lever House, New York, 1952 Cephe görünüş ve kesiti 29
Şekil 13. Norman Foster'ın Frankfurt'taki Commerzbank Binasına ait plan ve dış görünüş 35
Şekil 14. Chrystal Palace 40
Şekil 15. Fotokromik malzemelerin çalışma prensibi 53
Şekil 16. Fotokromik cam uygulaması örneğinde şeffaf ve renk değişikliğine uğramış halinde görülmektedir 54
Şekil 17. Philly Ofis Binası Fotokromik cam uygulaması 54
Şekil 18. Becker Gewers Kühn ve Kühn Architects'in Münih'teki Modern Sanat Müzesi 55

Şekil 19. Katalonya İleri Mimari Enstitüsü'nde geliştirilen Fotokromik Pigmentlerin uygulamasına yönelik proje görselleri 56
Şekil 20. Termokromik cam kesiti 58
Şekil 21. Wall installation | Musée d'Art Moderne de la Ville de Paris, ARC, Paris, France 1988 59
Şekil 22. Glassworks ofisi 59
Şekil 23. Hope Koleji Müzik Sanatları Merkezi 60
Şekil 24. Likit kristalli camların çalışma ilkesi 62
Şekil 25. Elektrokromik camlarda katmanlar 64
Şekil 26. Elektrokromik camlara örnek 64
Şekil 27. Chanel'in 2004 yılında Tokyo'nda yapımı tamamlanan bina cephesinde eletrokromik cam kullanılmıştır..... 65
Şekil 28. Renkli termal olarak hassas genişleyen malzemelerle dolu sprinkler ampulleri 71
Şekil 29. Self Constructing Tower, 6m uzunluğundaki aerofoil elemanlar 72
Şekil 30. Hinzert, Eski Toplama Kampındaki Dokümantasyon Merkezi perspektif-Üst görünüş ve kinetik cephe detayı 73
Şekil 31. Neopren membranlı yüzme havuzunun yukarıdan perspektif görünümü ve kesit. 74
Şekil 32. Bryan Boyer tarafından 2003 yılında tasarlanan BalnaeNY' e ait Elektroaktif polimer şeritlerinden oluşan kinetik duvar yüzeylerinin görselleri 75
Şekil 33. Işıkla temas ettiğinde fotokatalitik özelliğin harekete geçmesi sağlanmış olur 77
Şekil 34. Bahçe Şapeline ait gece ve gün ışığı altında görüntüsü 80
Şekil 35. Burj Al Arab PTFE (Politetrafloroetilen) kaplı cam elyaf kumaş membran uygulaması 81
Şekil 36. TiO2 ile cam konstrüksiyon görülmektedir 81
Şekil 37. Fotokatalitik alüminyum panel cepheli Bertram ve Judith Kohl Binası 82
Şekil 38. Cephesinde TiO2 pigment katkılı fotokatalitik çimento malzeme kullanılan Jübile Kilisesi..... 82
Şekil 39. Manuel Gea Gonzalez Hastanesi..... 83
Şekil 40. Mimar Michele Molè tasarımı Palazzo Italia 83

Şekil 41. Mavi floresan granüllü kağıt, kağıt üzerine yeşil floresan iplik uygulaması ve floresan film kaplamalı duvar 89
Şekil 42. Chanel Ginza Bina cephesinin gündüz ve gece görünümü 91
Şekil 43. Ruiz-Geli tarafından tasarlanan Hotel Habitat H&R: ışıklı modelleri ve / Yapay prototip güneş pili, RGB LED'ler 92
Şekil 44. Green Pix medya duvarı PV ve LED' in birlikte kullanımı ile oluşturulan cephe 93
Şekil 45. Paviliona ait görseller ile OLED ince film ve organik fotovoltaik hücrelerle cephe oluşturan katman arasından görünüş 94
Şekil 46. Meidad Marzan tarafından tasarlanan OLED ve güneş panellerinin beraber kullanıldığı cephe tasarımı 95
Şekil 47. Cephede kullanılan karoların bir yüzü PV panel diğer yüzü OLED olarak tasarlanmıştır 95
Şekil 48. PV hücreler PV etkiye bağlı olarak çalışmaktadırlar. PV hücresinin yapısı .. 97
Şekil 49. Yenileme sonrası bina cephesine yerleştirilen PV paneller 99
Şekil 50. Solar Tower, Hauptbahnhof Freiburg 99
Şekil 51. Kopenhag Uluslararası Okulu Cephede yer alan PV paneller 100
Şekil 52. Kopenhag Uluslararası Okulu PV panelleri 101
Şekil 53. Strawscraper Stockholm gökdeleni 103
Şekil 54. Fuzz.Box evleri Piezoelektrik lifler..... 103
Şekil 55. FDM'lerin kullanıldığı Sonnenschiff binası 106
Şekil 56. GlassX cephe sisteminde faz değiştiren malzeme kullanımının yaz ve kış konumunda gün ışığı kontrolünü göstermektedir 107
Şekil 57. Örnekte FDM pencerelerde iki cam panel arasında kullanılmaktadır. Faz değişimi ile camlar arasında kullanılan polikarbonat ayırıcılar, pencerelere jaluzi görünümü vermektedir..... 108
Şekil 58. Cephe prototipine ait görsel(a), cephede kullanılan ŞHA çalışma ilkesi(b) ve Prototipin 1mm ahşap kontrplaktan yapılan prototipi (c) görülmektedir. 114
Şekil 59. Elektrik aktivasyonlu ŞHA Nitinol ve çinkonun beraber kullanımı ile gerçekleştirilen prototip 115
Şekil 60. Çift cidarlı bir cephe sistemi olarak ŞHA tel kullanılarak tasarlanan The Air Flow-er projesi prototipi 116

KISALTMALAR

SPD **:** Asılı Partiküllü Sistemler (Suspended Particle Divece)

LCD **:** Likit Kristal Sistemler

WO3 **:** Tongtenoksit

SMA **:** Şekil Hafızalı Alaşımlar (Shape Memory Alloys)

TB **:** Termobimetaller

EAP **:** Elektroaktif Polimerler

TiO2 **:** Titanyum dioksit

LED **:** Işık Yayan Diyot

OLED **:** Organik Işık Yayan Diyot

PV **:** Fotovoltaik

BIPV **:** Binaya Entegre Fotovoltaik

FDM **:** Faz Değiştiren Malzemeler

ŞHA **:** Şekil Hafızalı Alaşımlar

1. GİRİŞ

Mimari tasarımların hayata geçişi ve yapıya dönüşümü, malzemeler ile mümkün olabilmektedir. Geçmişten günümüze kadar yapılarda kullanılan malzemeler, dönemin imkân ve şartlarına göre şekillenmiştir. Teknoloji geliştikçe yapı malzemeleri de gelişerek yenilikçi malzemeler ortaya çıkmıştır (Tanaçan, 2010). Gelişen teknoloji ve yenilikçi yaklaşımların ürünü olan akıllı malzemeler, kendilerinden beklenen görevleri yerine getirmenin yanında, geleneksel yapı malzemelerinin aksine çevreden gelen etkilere cevap verebilmektedirler. İnteraktif özellikleri ile çevresel etkilere uyum sağlayan, gerektiğinde enerji üretebilen bu sayede daha az su ve enerji tüketen yapıların oluşumuna katkı sağlamaktadırlar ve bu özellikleri ile daha az su ve enerji tüketen yapıların oluşumuna katkı sağlamaktadırlar (Kayılı, 2020).

Mimari tasarımlarda geleneksel malzemeler, yapının kullanım yeri, işlevi, kullanıcı ihtiyaçlarına bağlı olarak mekanik ve fiziksel dayanım, elde edilebilirlik, enerji tasarrufu, maliyet, kalite gibi özellikleri ile yapının statik birer parçası olarak kullanılmaktaydılar. Günümüzde yapı malzemeleri, akıllı malzemelerin kullanılmaya başlaması ile birlikte, sıcaklık, ışık, hareket gibi çevre etkilere cevap vererek, nitelik değiştiren, enerji değiş tokuşu yapabilen bu sayede çevre ve kullanıcı ile uyumlu hale gelen aktif yapı elemanlarına dönüşmektedirler. Bu sayede yapı elemanı ve mimari tasarımın parçası olan malzemeler, akıllı malzemelerin kullanımı ile enerji tasarrufu da sağlanabilmektedir (Yağlı, 2019).

1.1 Problem Tanımı ve Amaç

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de artan enerji talebi ile birlikte, tüketilen enerjinin üçte birine yakını yapıların yapım, bakım, işletme ve yıkım süreçlerinde kullanılmaktadır. Artan çevre sorunları ve iklim değişikliği enerji etkin yapılar tasarlanması konusunu gündeme getirmektedir.

Akıllı malzemelerin kullanımı, özellikle yüksek yapılarda enerjinin daha etkin kullanımına katkıda bulunmaktadır. Yüksek yapılar ve cephe sistemlerinde akıllı

malzemelerin kullanımı ile oluşturulan enerji etkin yapılarda, enerji ve kaynak tüketimini azaltarak, çevreye verilen zararı da azaltmak mümkündür.

Yapılan araştırmalar göstermektedir ki yüksek katlı yapılarda metrekare başına tüketilen enerji miktarı az katlı binalara göre oldukça fazladır. Bunun nedeni, cephe yüzeyi alanı ile kat alan oranının az katlı yapılara göre fazla olması buna bağlı olarak da ısı kayıpları ve ısı kazançlarının fazla olması gösterilebilir (Sev, Başarır, 2011). Yüksek yapıların cephe sistemleri, kaynak kullanımına duyarlı ve çevre dostu teknolojiler sayesinde pasif birer eleman olmaktan çıkarak enerji etkin yapılara dönüşebileceklerdir (Çakır Kıasıf, Selçuk, 2016).

Bu bağlamda literatür ve mevcut örnekler incelenerek belirlenen kriterler çerçevesinde akıllı malzemelerin yüksek yapıların cephelerinde kullanımı ile enerji etkinliğine kazandıracağı katkının değerlendirilmesi hedeflenmektedir. Bu değerlendirme sonrasında akıllı malzeme kullanım potansiyelinin birçok alanda olduğu gibi yüksek yapı cephelerinde kullanımına yönelik öneriler geliştirilmeye çalışılarak, kullanımının artmasını sağlamak hedeflenmektedir.

1.2 Kapsam

Çalışma kapsamında, akıllı malzemelerin tarihsel süreç içinde ortaya çıkışı, gelişimi ile bu süreçte özellikle yapı cephelerinde kullanım alanları ve enerji etkin yapı tasarımına katkısının incelenmesi hedeflemektedir. Akıllı malzemelerin yaygın olarak kullanılabileceği cephe sistemleri ile özellikle yüksek yapılarda kullanılabilirliği, dünyadaki örnekler üzerinden incelenecektir. Son olarak akıllı malzemelerin farklı enerji etkin cephe elemanları oluşturmaktaki katkısı, değerlendirilecektir.

1.3 Yöntem

Çalışma ile ilk aşamada akıllı malzemelerin gelişim süreçleri ve sınıflandırması yapılarak mimaride kullanım alanları literatürde araştırılmıştır. İkinci aşamada akıllı malzemelerin yaygın olarak kullanılabileceği cephe sistemleri ile özellikle yüksek yapılarda kullanılabilirliği, dünyadaki örnekler üzerinden incelenmiştir. Literatür ve örneklerdeki yüksek yapılarda akıllı malzemelerin enerji etkinliğine olan etkisine yönelik temel kriterler belirlenerek cephe elemanları oluşturmadaki katkısı değerlendirilmiştir.

Tüm başlıklar ve enerji etkinliği açısından akıllı malzemelerin cephe sistemlerinde kullanım alanları araştırılarak özellikle enerji tüketimi konusunda önemli bir yere sahip olan yüksek katlı binalarda kullanılabilirliği irdelenmiştir. Yapısal çevrenin sebep olduğu sorunlar ve beraberinde sürdürülebilirliğinin sorgulandığı günümüzde, akıllı malzemeler enerji tüketimini azaltan, kullanım ömrünü uzatan, bakım giderlerinin düşmesini sağlayan daha da öteye geçerek kendi enerjisini üreten yapıların tasarlanmasında önemli bir yere sahiptir. Belirlenen kriterler çerçevesinde akıllı malzemelerin yüksek yapı cephelerinde enerji verimliği ve enerjinin etkin şekilde kullanımına yönelik değerlendirmeler sunulmaktadır.

2. AKILLI MALZEMELERE VE YÜKSEK YAPILARA GENEL BAKIŞ

Geleneksel yapı malzemelerinde kullanım süreleri boyunca mümkün olduğunca ortam koşullarına bağlı olarak özelliklerinin değişmemesi beklenirken, akıllı malzemelerde ortam koşullarına uyum göstermeleri ve faydalı değişimlere uğramaları beklenmektedir, akıllı malzemeler bu özellikleri ile dikkat çekmektedirler. Okay 2003 yılında akıllı malzemeleri tanımlarken; *"Bir anlamda tüm malzemelerin belli bir derecede akıllılığı söz konusudur. Örneğin; ısıtılınca genişler veya daha kolay işlenebilirler, bazılarının ısıtılması ile iletkenlikleri artar. Ancak malzemeyi gerçekten akıllı yapan bu tip değişimlerin malzemenin dizaynı ile ortaya çıkmasıdır"* denmektedir. Bu nedenle akıllı malzemelere tasarlanmış malzemeler de denilebilir (Okay, 2003).

Akıllı malzeme olarak adlandırılan malzeme ve hatta sistemler günümüzde uyarlanabilir malzemeler, duyarlı malzemeler, gibi pek çok isim taşımaktadır. Malzeme teknolojisindeki son gelişmelerle birlikte ısı, sıcaklık, manyetik alan, mekanik etki gibi dış uyaranların etkisiyle önceden belirlenmiş şekilde ve ölçüde, yanıt verebilen ve uyaranın ortadan kalkması ile birlikte orijinal durumuna geri dönebilen malzemeler akıllı malzemeler olarak tanımlanmaktadır (Al-wan, Abdullah, 2019).

2.1 Akıllı Malzemeler

Akıllı malzemelere özelliklerini kazandıran etki mekanizmaları 18.yy sonları itibariyle fark edilmiş ve incelemeye başlanmıştır. 20.yy son çeyreğinde ise ancak günlük kullanıma girmeye başlamıştır. Günümüzde akıllı malzemelerin sınıflandırmasında 20 den fazla grup yer almakta, kullanım alanı olarak genişlemekte ve geleneksel malzemelerin yerini almaktadır. Tıpta biyomedikal alanda, tekstil alanında, havacılık, savunma sanayi ile otomotiv gibi sektörlerde kullanımının yanı sıra mimaride de kullanım alanları hızlanarak devam etmektedir (Orhon, 2012).

Geleneksel malzemelerden farklı olarak akıllı malzemeler değişken özellikleri ile geçici ihtiyaçlara cevap verebilmektedirler. Örneğin; fotokromik malzemeler ışığa maruz

kaldıklarında renk değişimi yapabilmektedirler. Gelen ışığın miktarına göre ışık ne kadar yoğun ise yüzey daha da koyulaşarak tepki vermektedir. Akıllı malzemeler farklı durumlara yanıt verme yetenekleri sayesinde, geleneksel malzemelerin tek bir durum için optimize edilerek kullanımları yanında tercih sebebi olmaktadırlar (Addington, Schodek, 2005).

Akıllı malzemeler inşaat sektöründe teknolojik anlamda önemli bir yere sahiptirler. Yenilikçi bu malzemeler çevreyi algılayarak yanıt verebilmeleri sayesinde dış çevre ile uyum sağlamaktadırlar. Bu nedenle yapılarda önceden tasarlanarak sensör ve aktüatör olarak işlev görmektedirler. Sürdürülebilirlik ve maliyet etkinliği açısından büyük önem taşımaları bu alanda yapılan araştırmaların artmasını sağlamaktadır (Nihalani, Joshi ve Meeruty, 2019).

Addington, Schodek' e göre bir malzemenin akıllı malzeme olarak nitelendirilmesi için taşıması gereken özellikler nitelik değişimi, enerji dönüşümü ve tersinirliktir (Addington, Schodek, 2005).

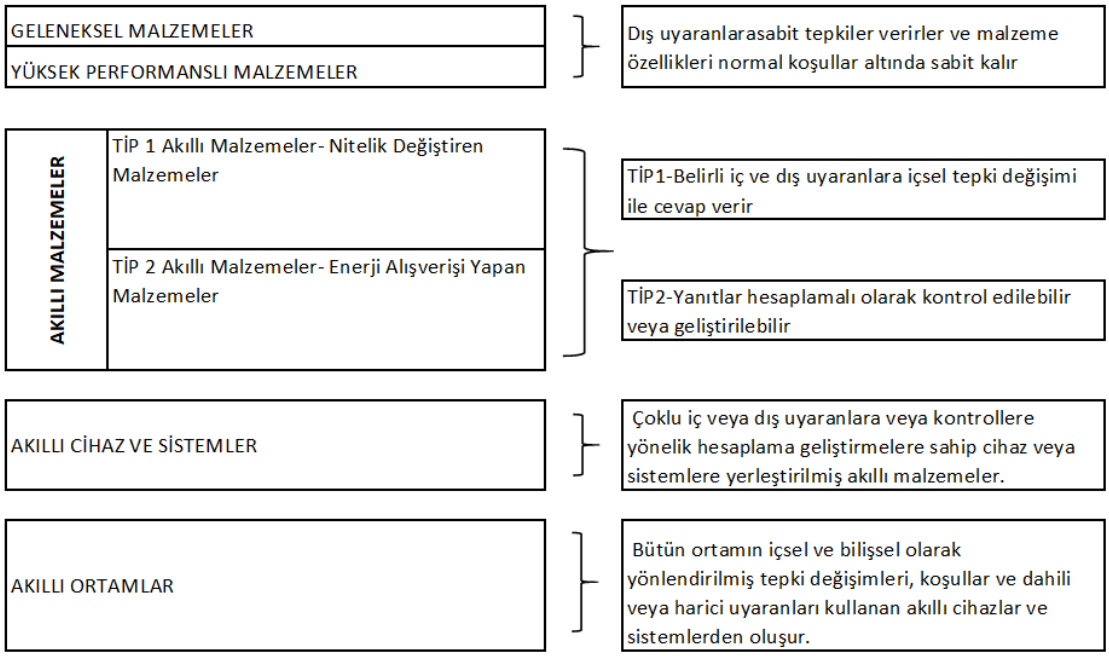
- Nitelik değişimi; dış uyaranların etkisi sonucu malzemenin mikrostürüktüründe bir veya birkaç özelliğindeki örneğin şekil, renk, sertlik, akışkanlıklarında değişim meydana gelmesini ifade etmektedir. Örneğin fotokromik malzemelerin ısı etkisi ile renk değişimine uğramaları.

- Enerji dönüşümü; bir malzemenin faz değişimi sonucu mikrostrüktüründe oluşan değişimleri ifade etmektedir. Örneğin piezoelektrik malzemeler.

- Tersinirlik; malzemede oluşan nitelik ve enerji dönüşümünün ortam etkisi kalktığında tekrar eski haline dönmesi yani tersinebilir olmasını ifade etmektedir.

Akıllı malzemeler ve sistemlerin taşıması gereken özellikler sonucu geleneksel ve akıllı malzeme ve sistemlerin ayırt edilebilirlikleri fonksiyon/sistem olarak Tablo 1' de sunulmaktadır (Addington, Schodek, 2005).

Tablo 1. Akıllı malzemeler ve sistemlerin ayırt edilebilirlikleri (Addington, Schodek, 2005)



Akıllı malzeme ve sistemler, taşımaları gereken özellikler bakımından incelendiğinde;

- Geleneksel malzemeler ve yüksek performanslı malzemeler, dış uyaranlar karşısında sabit tepkiler vermekte ve malzeme özelliklerinin normal koşullar altında değişmediği bilinmektedir.

- Akıllı malzemelerin, gelen uyarılara verdikleri tepkiler içsel tepkilerdir. Bu tepkiler sonucu oluşan değişimleri kontrol edebilmektedirler.

- Akıllı sistemlerde ise akıllı malzemelerin cihazlar vasıtasıyla kontrolü söz konusu olmaktadır.

Addington ve Schodek' ayrıca 'akıllı malzeme ve teknolojilerin' aşağıdaki özellikleri taşıdıklarını söylemektedir;

- Aciliyet- Akıllı malzemeler, uyaranlara gerçek zamanlı olarak yanıt vermektedir.

- Geçicilik- Akıllı malzemeler bir ve daha fazla uyarana veya çevresel etkiye yanıt vermektedir.

- Kendini harekete geçirme- Kendi kendine çalışabilir ve harekete geçebilirler. Akıllı malzemenin yanıt verebilmesini kontrol eden durum (malzemenin zekâsı), harici olmaktan çok materyalin içindedir.

- Seçicilik- Akıllı malzemelerin tepkileri ve sınırları öngörülebilir.

- Doğrudanlık- Akıllı malzemenin uyarana verdiği tepki, onu aktive eden durumla sınırlıdır ve bölgeseldir (Addington ve Schodek, 2005).

2.1.1 Tarihsel gelişim sürecinde akıllı malzemeler

Malzemeler oluşumları sırasında yapılarındaki özelliklerin çeşitliliği ile mimarlar ve mühendisler için zengin seçenekler sunmaktadır. Mimarlık ve malzeme arasındaki ilişki Sanayi devrimi ile birlikte değişmektedir. İnsanlığın gelişimi beraberinde kullanılan yapı malzemelerinin de değişimini getirmiştir. Bu değişimler Sanayi devrimine kadar oldukça yavaş ilerlemiş Sanayi devrimi sonrası büyük bir hız kazanmıştır. Sanayi devrimine kadar malzeme seçimlerinde işlevsellik- bulunabilirlik özellikleri gibi basit ilişkiler rol oynarken, Sanayi devrimi ile bu kriterler mimaride yapısal ve estetik değişimi getirmiştir. Günümüzün değişen teknolojisi ile hem malzeme çeşitliliği ve özelliklerindeki değişim hem de mimarideki esnek değişebilir, çevre ile uyumlu yapı tasarlama isteği ile birleşmiş, malzemenin kazandığı yeni anlam ile mimari tasarıma katkı sağlamaktadır.

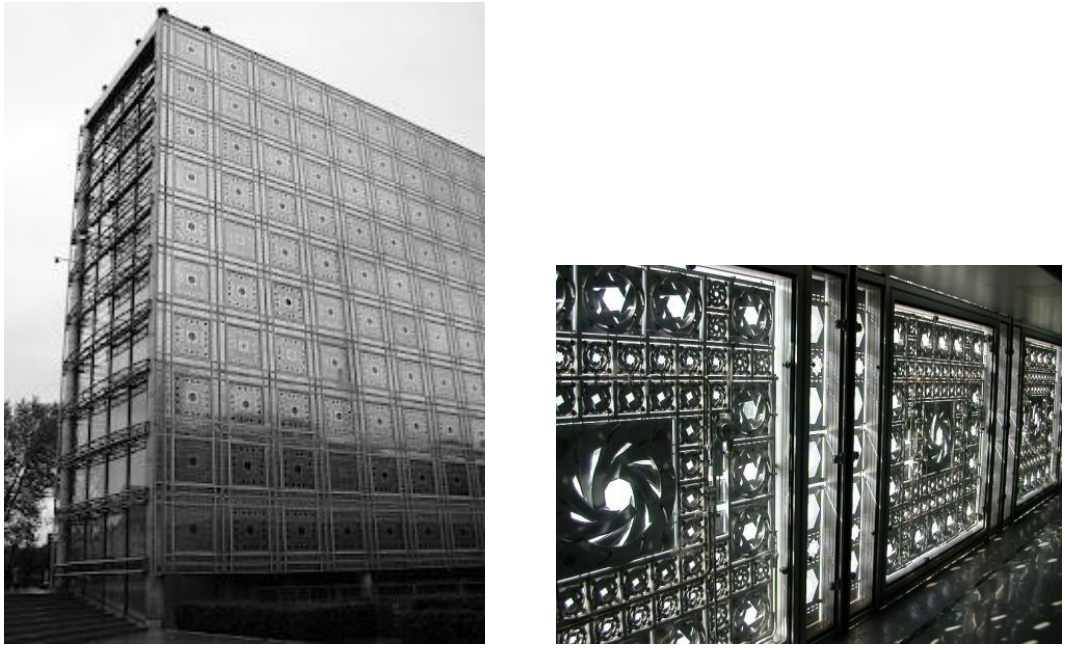
Yüzyıllar boyunca geleneksel malzemelerin sınırlılıkları kabul edilerek yapılan tasarımlar sonrası, 20.yy' ın üretim yöntemleri, seri üretimler, laboratuvarların gelişmesi sonucu yeni bir bilim alanı olarak malzeme mühendisliği beraberinde yenilikçi yaklaşıma sahip malzeme kullanımları ve akıllı malzemelerin ortaya çıkması ile mimari yaklaşımları da değişime uğratmaktadır. Akıllı malzemeler değişebilir ve geçici ihtiyaçlara yanıt verebilir oluşları ile önemli bir role sahip bulunmaktadırlar (Gezer,2012; Çakmak,2021).

Malzeme biliminde geleneksel malzemelerdeki alışılagelmiş anlayışa göre malzemelerin kullanım ömürleri boyunca olabildiğince niteliklerini koruması ve çevresel şartlar ile mücadele etmesi istenmekteydi. Dış uyaranlara bağlı olarak oluşan çürüme, korozyon, çökme gibi bozulma ve değişimler istenmeyen durumlar olarak karşımıza çıkmaktaydı. Oysa akıllı malzemeler çevresel uyaranlara tepki vermekte, ortama uyum sağlamakta, bu değişimi tersine çevirmekte yani canlı bir mekanizma gibi çalışmaktadırlar.

Akıllı malzemelere olan ilgi 19. yüzyılın sonlarında Curie kardeşlerin Kuartz ve Rochelle tuzu ve birçok doğal malzemenin ilginç özelliklerini keşfetmeleri başlamış, 1960'lı yılların başında Donald Stookey'in "Corning camı'' olarak bilinen camı keşfetmesi ile devam etmiştir. Işığa duyarlı olan cam, ışığa maruz kalması ile kararmakta, maruziyetin kalkması ile tekrar eski haline dönmekteydi. 1970'lerde NASA hava hızı ile sıcaklık ve basınç gibi havacılık koşullarını algılayarak potansiyel hata ve çatlak gibi arızaları erken tespit edebilen akıllı kaplamalı uçaklar yapılmasını hedeflemiştir. Akıllı malzemelerin çoğu askeri ve uzay çalışmalarında geliştirilmiş daha sonraki yıllarda ise kullanımı inşaat, ulaştırma, tıbbi ve sivil sektöre de geçmiştir (prezi.com).

"Çevresel koşullara yanıt veren mimarlık'' (ing: responsive architecture) kavram olarak ilk defa 1970 yılında Negroponte tarafından ortaya atılmıştır. Nicholas Negroponte (1975) bilgisayarların binalarla bütünleştirilebileceğini, böylece binaların "mimari makinelere", yani "evrim geçiren mekanizmalara" dönüşmesini ve böylece daha iyi performans gösterebileceklerini öne sürmüştür. Negroponte'nin mimari makineler ile çalıştığı yıllarda 1972 yılında Charles Eastman mekanların ve kullanıcıların geribildirimleri ile kendini uyarlayabilen "uyarlanabilir- koşullu mimari" kavramını geliştirmiştir. Bunun için ortamları kaydedebilecek sensörler ve bu verileri yorumlayarak kontrol mekanizmaları vasıtasıyla ortamlarda değişimler sağlayacak cihazlar kullanılmıştır (academia.edu).

Akıllı malzemelerin ortaya çıkışına kadar "uyarlanabilir- koşullu mimari" kavramı yapı ile bütünleşik algılayıcılar ve bilgisayar vasıtasıyla değerlendirilen dış uyaranların, kabuk ve strüktür gibi yapı elemanlarına bütünleşik hareket mekanizmalarının yanıt verme anlayışına dayanmaktaydı. Akıllı malzemelerin kullanılmaya başlaması ile bilgisayarlara gereksinim duyulmadan akıllı malzemelerin algılayıcı ve aktüatör olarak kullanıldığı yapıların üretilmesine imkan sağlanmıştır. Çevresel koşullara yanıt veren mimarinin ilk örneklerinden biri Jean Nouvel'in Institut du Monde Arabe (Paris, 1987) yapısıdır (Orhon, 2012). Dinamik ve uyarlanabilir kaplamaya sahip olan bina cephesi ilk önemli ve büyük ölçekli örneklerden biridir. Cepheye gelen ışık miktarına bağlı ve otomatik olarak kontrol edilebilen, daralıp açılan sistem sayesinde aşırı ısınmanın önüne geçilerek iç mekânda ısı etkisi kontrol edilebilmektedir. Binaya ait görsellerde bina cephesi ve mekanik diyafram mekanizması Şekil 1'de görülmektedir (arch365bilgi.blogspot.com).



Şekil 1. Jean Nouvel'in Institut du Monde Arabe Bina Cephesi ve Mekanik Diyafram Detayı (arch365bilgi.blogspot.com)

Cephede güneş kontrolü konusunda kromik cam kullanımının ilk örneklerinden biri ise 1992 yılında Münih Modern Sanat Müzesi adına açılan yarışmada Becker Gewers Kühn ve Kühn tarafından sunulan projede kullanılmıştır (Orhon, 2012).

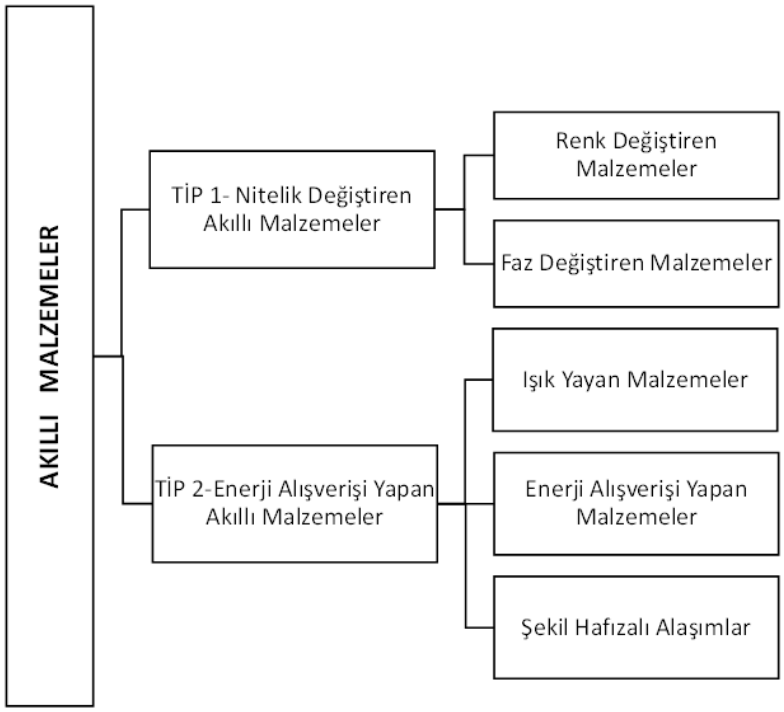
2.1.2 Akıllı malzemelerin sınıflandırılması

Geleneksel malzemelerin sınıflandırılması konusunda birçok farklı yöntem kullanılmaktadır. Bu sınıflandırmalar malzemelerin içyapısına dayalı sınıflandırma, mühendislik açısından sınıflandırma veya mimaride problem çözümüne dayalı sınıflandırmalar gibi farklı şablonlar sunmaktadır. Akıllı malzemelerin sınıflandırılmasında da Addington ve Schodek (2005) ve Axel Ritter(2007) iki ana otorite olarak akıllı malzemelerin sınıflandırmasında karşımıza çıkmaktadır (Ürkmez, 2019).

Addington, Schodek (2005) akıllı malzemeleri 2 ana grupta incelemektedir ve bu grupları Tip1 ve Tip2 malzemeler olarak sınıflamışlardır. Tip1 yani; çevredeki dış uyaranların değişimlerine tepki vererek bir veya daha fazla değişime uğrayan yani nitelik değişimi yapan akıllı malzemelerdir. Bu değişiklikler doğrudan ve geri dönüşümlüdür. Bu tür değişimleri yönlendirmek için harici bir kontrol mekanizmasına ihtiyaç bulunmamaktadır. Örneğin ultraviyole ışınlara maruz kalması sonucu renk değişimi

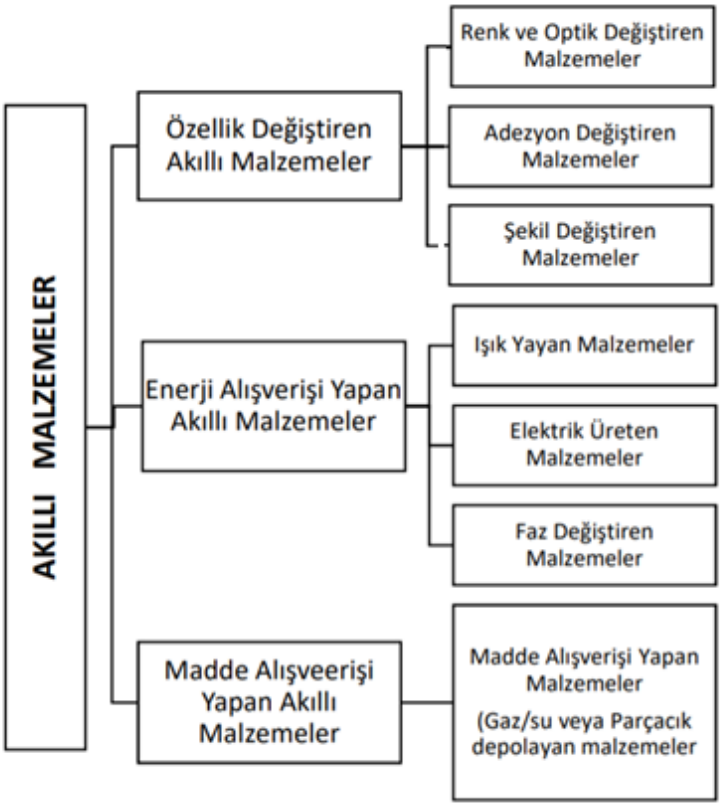
yeteneğine sahip olan fotokromik malzemeler bu grupta yer almaktadır. Tip2 sınıfında yer alan malzemeler ise enerjiyi bir formdan başka bir forma dönüştüren kısaca enerji dönüşümü yapan malzemeler olarak sınıflandırmaktadır. Bu grupta fotovoltaikler, fotolümünesans, termoelektrik, piezzoelektrik malzemeler gibi malzemeler sayılabilmektedir. Bu malzemelerin çoğu aslında birkaç temel malzemeden oluşmaktadır. Örnek olarak, termoelektrik malzemeler aslında çok sayıda malzeme katmanının bir araya gelmesidir (Addington, Schodek, 2005). Tablo 2' de Addington ve Schodek tarafından yapılan akıllı malzemelerin sınıflandırılması görülmektedir.

Tablo 2. Addington ve Schodek tarafından yapılan akıllı malzemelerin sınıflandırılması (Addington, Schodek, 2005)



Axel Ritter ise akıllı malzemeleri özelliklerine göre üç grupta analiz etmiştir: Özellik değiştiren, enerji dönüştüren ve madde dönüştüren akıllı malzemeler. Ritter, nitelik değiştiren malzemeleri, renk ve optik özelliğini değiştiren, adezyon değiştiren ve şekil değiştiren malzemeler olarak alt başlıklara ayırmaktadır. Enerji alışverişi yapan akıllı malzemelerin alt başlığında ise, ışık yayan, elektrik üreten ve faz değiştiren malzemeler yer almaktadır. Axel Ritter'in sınıflandırmasına Tablo 3' te yer verilmiştir.

Tablo 3. Axel Ritter'e göre Akıllı Malzemelerin Sınıflandırılması (Ritter,2007)



Axel Ritter' in yaptığı sınıflandırmaya göre hazırlanan tabloda görüleceği gibi akıllı malzemeler 3 ana gruba ayrılmış ve daha sonra alt başlıklara ayrılmaktadır.

Akıllı malzemeler için yapılan her iki sınıflandırma benzer başlıklar altında toplanmaktadır. Addington ve Schodek'in (2005) yaptıkları sınıflandırma malzeme odaklı iken Ritter (2007) tekrar alt başlıklar açarak akıllı malzemeleri bu alt başlıklar altında incelemektedir. Ayrıca Ritter madde alışverişi yapan malzemeler sınıfını eklemiştir (Ergin, 2019).

Çalışmada kapsamında akıllı malzemelerin sınıflandırılmasında daha detaylı olarak malzemelerin alt başlıkları ile 3. Bölümde yer verilmiştir. Bu bölümde hem Adington ve Schodek (2005) hem de Axel Ritter (2007) akıllı malzemeler için yaptığı sınıflandırma karşılaştırması yapılmıştır. Özellikle dış cephe kullanımı olan malzemeler 3. Bölümde örnekleriyle incelenmektedir.

2.1.3 Akıllı malzemeler ve akıllı sistemler

Akıllı bir malzeme tek bir fonksiyonu yerine getirme yeteneğine sahipken, malzemelerin bir araya gelmesi ile bir sistem oluşturulmaktadır. Akıllı malzeme sistem aktivasyonu tetikleyen değişikliği algılarken birden fazla işlevi de yerine getirebilmektedir. Akıllı sistemler, sistemin uyaranlara nasıl tepki verdiğine bağlı olarak aktif, pasif veya hibrit sistemler olarak sınıflandırılmaktadır.

Pasif akıllı sistemlerde sistem, uyaranda bir değişim algıladığında, bir eylem ya da harekete geçme şeklinde doğrudan yanıt verdiğinde pasif sistem olarak kabul edilmektedir. Sistem bu aktivasyonu başlatmak için herhangi bir enerji kaynağına gerek duymamaktadır.

Aktif akıllı malzeme sistemlerinde işleyiş bir sistem tarafından yönlendirilip, kontrol edildiğinde aktif sistem olarak kabul edilmektedir. Bu sistemler, uyaranın değişimini algılayabilen sensöre ihtiyaç duymaktadır. Buna göre sistemin harekete geçmesi için kontrol sistemine sinyal gönderilmektedir. Sistemin çalışması için aynı zamanda enerji kaynağı gerekmektedir.

Hibrit sistemlerde ise hem aktif hem de pasif sistem özellikleri birleşmektedir. Malzeme pasif bir sistem olarak hareket edebilmekte, ancak performansı aktif bir sistem tarafından izlenerek kontrol edilmektedir. Örnek olarak yazın sıcak günlerde camın gölgeleme yapması sağlanırken, kışın aktif bir sistem tarafından kontrol edilerek gölgelemenin engellenmesi ve bu sayede ısının içeri girmesi sağlanmaktadır. Hibrit sistemler bu sayede daha yüksek performans sağlayabilmektedir (Al-wan, Abdullah, 2019).

2.1.4 Akıllı malzemelerin enerji etkin yapı tasarımına katkısı

İnsanoğlu tarihin ilk çağlarından bu yana, doğanın sunduğu kaynaklardan faydalanarak kendisini güvende ve konforlu tutacak, bulunduğu çevre ile uyum sağlayan yapılar inşa etmeye çalışmışlardır. Sanayi devrimi ile birlikte teknolojinin hızla gelişmesi beraberinde yeni yaşam biçimlerini getirmiştir. Amacı insanın yaşam kalitesini üst seviyeye çıkartmak olan bu gelişmelere bağlı olarak, enerji ihtiyacı ve tüketimi de artmıştır (Boduroğlu, Seçer, Kariptaş ve Sarıman, 2010).

1970'li yıllarda yaşanan enerji krizi sonucunda fosil yakıt kaynaklarının tükenebileceği gerçeği ve bu kaynakların çevre dostu olmadığının anlaşılmıştır. Böylelikle çevre ve enerji kavramları sorgulanmaya başlanmıştır (Dikmen, 2011).

Günümüzde kullanıcı ihtiyaçlarını en iyi şekilde karşılayan, konforlu, aynı zamanda ekolojik, enerji etkin yapılar öncelik kazanmıştır (Boduroğlu, Seçer Kariptaş, ve Sarıman, 2010). Mevcut enerjinin etkin biçimde kullanımında enerji tüketiminin azaltılması hedeflenirken, kullanıcıların yaşam kalitesinin etkilenmemesinin sağlanması istenmektedir. Enerjinin etkin kullanımı ile performans düzeyini istenen seviyede tutarak, konfor ve yaşam kalitesinden ödün vermeden, kullanılan enerjinin azaltılması olarak tanımlanmaktadır (Karamanlıoğlu, 2011).

Yapı tasarımında enerjinin verimli kullanılmasını etkileyen önemli unsurlardan biri de kullanılan malzemelerdir. Tasarımda kullanılan malzemeler kullanıcı konforu açısından önemli olduğu kadar çevreye verdikleri etkileri ile de önemlidir. Malzemelerin çevreye duyarlı ve enerji verimli olmaları, yapılarda malzeme seçiminde tercih edilen özelliklerden olmalıdır. Yapı malzemeleri yaşam döngüleri süresince kullanıcı ve çevre ile etkileşim halindedirler. Yaşam döngülerinde yapı malzemeleri kaynağından hammadde olarak çıkarılmasında, kullanım amacına göre işlenmesi sırasında, yapıların kullanımlarında ve sonrasında ömrünü tamamlamalarının ardından da yıkımları aşamasında çevre ile etkileşim halinde bulunmaktadırlar. Bu etkileşimlerinde gerek çevre için zararlı ve toksik madde salınım oranları, gerekse işlenme ve nakliyeleri sırasında tüketilen enerji ile enerji verimliliğinde önemli paya sahiptirler. Bu sebeple kullanılacak malzemelerin çevreye verebilecekleri zararlar ve enerji tüketimi açısından değerlendirilmesi önemli hale gelmektedir (Boduroğlu, Seçer, Kariptaş ve Sarıman, 2010).

Malzemelerin günümüze kadar geçirdiği tarihsel gelişim 3 farklı süreç olarak karşımıza çıkmaktadır. Tarih öncesinden ilk çağa kadar olan birinci süreçte malzemeler şekillendirilmeden doğal halleri ile kullanıma girmişlerdir. Klasik çağ ve 19. yüzyıl arasındaki ikinci süreçte malzemeler şekillendirilerek tonoz, kemer gibi çeşitli form ve strüktürler oluşturmuştur. 19. yüzyıl ile başlayan, günümüze kadar gelen ve devam etmekte olan üçüncü süreçte ise, gelişen teknolojik imkânlar sonucunda malzemenin

tasarımda istenen kullanım yerine uygun, önceden planlanan ve kendi içyapısını organize edebilen malzemelere uzanan bir gelişme söz konusudur. Geldiğimiz noktada akıllı malzemeler olarak adlandırılan yenilikçi malzemelerin mimariye sağladığı potansiyel sebebiyle pek çok araştırmada konu olarak yer almaktadır. Bu malzemeler bina ile bütünleşerek dış ortam uyaranlarına (fiziksel, kimyasal, biyolojik vb.) nitelik (renk, şekil, adezyon vb.) değiştirerek veya enerji alışverişi yaparak yanıt veren ileri teknoloji ürünü malzemelerdir. Uyaranlara yanıt verme ve harekete geçme özellikleri ile ortamlara adapte olmaları sayesinde canlı derisi gibidirler (Ayçam, Güner, 2018).

Enerji etkin bina tasarımında bir binanın tüm yaşam sürecini kapsayan tüm süreçlerde yani yapım aşamasından başlayan ve kullanım ve yıkım aşamasına kadar devam eden süreçte enerji gereksinimini en aza indirecek şekilde planlanması gerekmektedir. Binalar özellikle kullanım sürelerince;

- Isıtma, soğutma,
- Aydınlatma,
- Havalandırma,
- Bina işlevine bağlı etkinlikler

Sebebiyle enerjiye ihtiyaç duymaktadırlar (Tatar, 2013).

Sanayi devrimi sonucunda değişen yaşam şartları günümüzde artan çevre kirliliği ile dünya ekosistemini tehdit eder hale gelmiştir. Mimarlar ‘’Sürdürülebilir Mimarlık’’ kavramı ile birlikte projelerinde mekânsal konforu arttırarak çevre etkilerini azaltacak yaklaşımlar üzerine çalışmaktadır (Tatar, 2013).

Sürdürülebilirlik kavramı oldukça geniş bir kavram olması sebebiyle pek çok farklı ölçekte uygulanabilmektedir. Bu nedenle sürdürülebilir mimarlık fiziksel çevre koşulları ile uyum sağlayan, kendi enerjisini üretebilen böylece daha az enerji tüketerek enerji korunumu sağlayan, kullandığı yapı malzemeleri ile daha az bakım gerektiren yapılar oluşturulabilmektedir. Bu ilkelerin bir yada bir kaçının öne çıkarılması ile tasarlanan

yapılar enerji etkin yapı, ekolojik yapı yada yeşil yapılar olarak adlandırılmaktadır. Bu bağlamda enerji etkin yapı tasarım ölçütleri;

Dikmen'e (2011) göre;

‘’-Yapı kabuğunun ve formunun fiziksel çevre verilerine uygun biçimlendirilmesi ve konumlandırılması,

-Yapı tasarımda güneş enerjisinden yeterli seviyede yararlanacak biçimde desteklenerek tasarlanması, yapı cephelerinde enerji etkin cephe sistemlerine yer verilmesi,

-Yapıda kullanılan malzemelerin ve bileşenlerin yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak enerji korunumu sağlayan malzemeler olması, çevreye duyarlı, daha az bakım ve onarım gerektiren malzemelerden seçilmesi,

-Yapının enerji verimliliği sağlamasına yönelik pasif ve aktif sistemlerin kullanılması, olarak tanımlanabilir.’’ (Dikmen, 2011).

Mimarlıkta tasarım kararlarında sürdürülebilirlik adına önemli etken, enerjinin etkin kullanılarak doğal çevrenin korunmasıdır. Mimarların bina tasarımlarında temel görevleri sağlıklı ve konforlu yaşam alanları oluştururken, kaynakların verimli kullanımını gerektirir (Göksal Özbalta, 2011).

Toplam enerji tüketiminde binaların büyük bir yüzdeye sahip olmaları, bina tasarımında enerjinin etkin kullanımını önemli kılmaktadır. Bu sebeple enerji etkin yapıların tasarımında daha az enerji kullanarak daha çok işin yapılması hedeflenmektedir. Enerji etkin yapı tasarım parametrelerinde yerleşme ölçeği, bina ölçeği ve yapı elemanı ölçeği olarak üç bölümde ele alınabilmektedir. Yerleşme ölçeğinde önem taşıyan konular; bina yerleşimi, arazi seçimi, binaların kendi ve birbirleri ile olan konumları iken, bina ölçeğinde; uygun hacim, biçimlenme ve yapı elemanı ölçeğinde ise yapının kabuğunun özellikleri etken ve önemli olmaktadır. Yapı kabuğu dış ortam ile iç ortam arasında arayüz görevi görmekte ve iklimsel koşulların konfora olan etkisinde önemli rol oynamaktadır. Yapı kabuğu kışın cephedeki açıklık oranları, malzeme seçimleri ile doğal aydınlatma, yalıtım, gün ışığı kazanımında destek sağlarken, yazın doğal aydınlatma, doğal havalandırma ve gölgeleme için önem taşımaktadır (Uslusoy Şenyurt, Altın, 2014).

Günümüzde yapı kabuğu iç ve dış ortamı ayırırken aynı zamanda dış etkilere duyarlı, değişken koşullar karşısında adaptasyon yeteneğine sahip, enerji üretebilen, çok işlevli, akıllı ve dinamik bir filtre görevi üstlenmektedir. Fiziksel çevre denetiminde kabuk tasarımında kullanıcıların ihtiyaçları göz önüne alınarak, iç mekânın dengesini ve konforunu sağlanması amaçlanmaktadır. Yapı kabuğu iç ortam dengeleyicisi olarak görev yapmaktadır. Akıllı malzemeler sundukları kullanım imkânları ile yapı kabuğunda önemli roller üstlenebileceklerdir. Enerji üretme, ısı kayıp ve kazançlarının dengelenmesi, gün ışığından etkin fayda sağlama, kendini temizleme özelliklerine sahip olan akıllı malzemeler hem enerji etkin yapı tasarımında hem de ekolojik kirlenmeyi önleme açısından önem taşımaktadırlar (Ayçam, 2011).

Akıllı malzemelerle tasarlanan yapı bileşenleri ve yapı elemanlarının özellikle yüksek enerji tüketim potansiyeli olan yüksek yapı cephelerinde kullanımı ile enerji tüketimini azaltan, yapı fiziği niteliklerinin iyileşmesine katkı sağlayan, kullanım ömrü uzun, bakım giderleri düşük ve hatta kendi enerjisini üreten yapılar ile mümkün olabilecektir.

2.2 Yüksek Yapılar

Tarih boyunca insanoğlu güçlü olma arzusu, hâkimiyet ve saygınlık gibi duygular sebebiyle yüksek yapılara ilgi duymuştur. Bu ilgi yapı teknik ve olanakların kısıtlı olmasına rağmen yüksek yapı kavramını ortaya çıkartmıştır. Milattan önceki yıllara bakıldığında yüksek yapıların oluşum sürecinde dini inanışların etkili olduğu görülmektedir (Çakır Kıasıf ve Selçuk, 2016). Mısır'da piramitler, Çin'de pagodalar, İran'da ziguratlar yüksek yapıların örneği olarak tarihin eski çağlarında karşımıza çıkan yüksek yapı örnekleridir. Sanayi devrimine kadar olan süreçte az katlı olarak yapılan yapılar Sanayi devrimi ile inşaat ve yapım tekniklerinin ve taşıyıcı sistem çözümlerinin gelişmesi ile yükselmeye başlamıştır (Erol, 2017).

2.2.1 Yüksek yapı kavramı ve tanımı

Yüksek yapılar farklı ülkelerde farklı şekilde ifade edilirken birçok farklı tanımlama yer almakta ve bu kavram üzerine çeşitli görüş ve tanımlamalar yapılmaktadır (Katuk, 2014). Büyük Larousse Sözlük ve Ansiklopedisinde yüksek bina tanımı iki tanım olarak yer almaktadır. "Taban alanı küçük, yüksekliği taban boyutlarına göre fazla, genellikle kule

biçiminde, narin binalar". Diğer tanımda ise "ABD'de 19. yüzyılın son yirmi yılında ortaya çıkan metal iskeletli yüksek büro binalarıdır" (Sağlam, 2018).

İlk olarak ABD'de 1880'lerde ortaya çıkan gökdelen (skycreaper) kavramı 10-20 katlı binalar için kullanılmaya başlanmıştır. ABD'de çevresindeki binalara göre yüksek olan bu yapılara "skycreaper", Fransızcada "gratteciel", Almancada "Wolkenkratzer" olarak kullanılmıştır. Ancak bu kelimeler doğaya aykırılık çağrışımı yaptıklarından, yerine İngilizcede "High-Rise Building" ve "Tall Building", Almanca 'da "Hochhouse" bilimsel ve teknik tanımlar kullanılmaya başlamıştır (Sağlam, 2018).

Ülkelere göre yüksek bina tanımı değişmekte olup, kat yüksekliğine göre çeşitli ülkelerdeki yüksek bina tanımı;

Almanya'da 22 metre ve daha yüksek binalar (Berlin),

ABD'de 21 metre ve daha yüksek binalar -

İngiltere' de 28 metre ve daha yüksek binalar,

İsviçre'de 25 metreyi geçen binalar,

Rusya 'da 9 kat ve üstü binalar, Avusturya'da 10 kat ve üstü binalar yüksek bina olarak adlandırılmaktadır (Katuk, 2014).

Ülkemizde ise Planlı Alanlar İmar Yönetmeliğine göre yüksek yapı tanımı "Bina yüksekliği 21.50 metreden veya yapı yüksekliği 30.50 metreden fazla olan binaları (Bina yüksekliği 51.50 metreden veya yapı yüksekliği 60.50 metreden daha yüksek olan binalar çok yüksek yapılardır.)'' denmektedir (Planlı Alanlar İmar Yönetmeli, 2017)

Yüksek yapıların çıkış nedenlerinde her ülkenin sosyal, kültürel, ekonomik ve teknolojik durumu rol oynamaktadır. Gelişme sürecinde olan ülkeler, az gelişmişlik sürecinden, gelişmişlik sürecine geçişte medeniyet düzeyleri ve modernleşmelerinin göstergesi olarak yüksek yapıları kullanmışlardır (Bal, 2003).

Yüksek yapıların gelişiminde sosyal nedenler ve teknolojik gelişmeler etkili olmuştur. Kentlerdeki nüfus artışı ve arazilerin değerlerindeki artış sonucu imar plan değişikliği,

ekonomideki büyüme, büyük şirketlerin güç gösterileri gibi sosyal nedenler ile yüksek dayanımlı beton ve çeliğin taşıyıcı sistemde kullanımı gibi teknolojik gelişimler ve gereksinimler yüksek yapıların gelişiminde önemli etken olmuştur (Erol, 2017).

Yüksek yapıların gelişmesi ve sayılarının artmasındaki etkenleri ve etkileri şu şekilde olmuştur;

-Sanayi devrimi ile köyden kente olan göçün artması, beraberinde hızlı kentleşme ve kent nüfusunun artışını getirmiştir. Nüfus artışını karşılayacak binaların yapılacağı alanların azalması ile arsalara olan talep artmış bunun sonucu olarak arsa fiyat artışları meydana gelmiştir. Arsa fiyatlarındaki değer artışı binalardan maksimum kullanım alanı ve kar elde etme gereğini getirmiştir. Böylece kat sayılarının artması ile yüksek yapılar kendisini göstermeye başlamıştır.

-Yüksek yapıların ortaya çıkmasında yeşil alan gereksinimi de önemli bir etkendir. Kent içindeki yeşil alan ihtiyacının artması karşısında taban alanlarını azaltarak binaların kat yüksekliğini arttırmak ile çözüm bulunmaya çalışılmıştır.

- Sanayi devrimi sonucu gerçekleşen teknolojik gelişmeler, yüksek yapıların yapımında etkili olan bir diğer nedendir. Kullanılan betonun kalitesinin iyileşmesi, çeliğin yapılarda ve taşıyıcı sistemde kullanılması, asansör ve hidroforun bulunması, yapı sistemleri ve malzemelerinin gelişimi, giydirme yapı cepheleri gibi gelişmeler sonucu yüksek yapılarda önemli adımlar atılmıştır (Bal, 2003).

-Kentlerde güç ve imaj simgesi haline gelen yüksek yapılar, şirketler için hem birbirleriyle yakın ilişkide bulunabilmeleri hem de ulaşım kolaylığı sağlamaları sebebiyle aynı bölgede toplanma talebinin sonucunda artış göstermişlerdir. Şirketler reklam aracı olarak kullandıkları yüksek yapıları sahip oldukları gücün göstergesi olarak kullanmışlardır. Yüksek yapılar firmalar için olduğu kadar gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için de güç ve prestijin aynı zamanda modernleşmenin göstergesi olarak kullanılmışlardır. Yüksek yapılar ülkeler için politik yatırım aracı olarak da görülmektedirler (Toprakal, 2008).

Tüm bu gelişmeler beraberinde yüksek yapıları kentlerin parçası haline getirmektedir.

2.2.2 Yüksek yapıların tarihsel gelişimi

Bu bölümde yüksek yapıların tarihsel gelişimine yer verilmiştir. Endüstri dönemi öncesi yüksek yapıların çıkışı ile sanayi devrimi sonrası özellikle Amerika'da başlayan yüksek yapılaşmaya değinilmiştir. Ayrıca Amerika'da başlayan yüksek yapılaşmanın dünya ve Türkiye'de ki etkilerine yer verilmiştir. Yüksek yapılarda gelişim devam ederken yapıların tarihsel gelişiminde enerji etkinliği konusunda enerji tüketiminin tarihsel analizine de değinilmektedir.

2.2.2.1 Endüstri devrimi öncesi yüksek yapılar

Tarih öncesi çağlardan 19. Yüzyıla kadar olan dönemde yüksek yapıların ortaya çıkışında dini yapılar etken olmuştur. Yüksek yapıların en eski örneklerinden olan Giza Piramitleri Keops, Kefken ve Mikerinos firavunların görkemini yansıtacak şekilde kutsallık ve prestijin sembolü haline gelen anıt mezarlardır. Şekil 2' de Giza piramitleri görülmektedir. Giza Piramitlerinin en yükseği olan Keops piramidi 145 metre yüksekliğe sahiptir ve M.Ö. 2560 yılında inşa edilmiştir (Çakır, 2011).



Şekil 2. Giza Piramitleri Keops, Kefren ve Mikerinos (en.wikipedia.org-a) ve Brueghel tarafından yapılan Babil Kulesi tablosu (tr.wikipedia.org-a)

Sümerler tarafından M.Ö. 2100'de yapılan Nanna Ziguratında uzun düz merdivenlerle çıkılan teraslar ve en üst kısmında ise tapınak bulunmaktadır. Mezopotamya'da M.Ö 600 yılında inşa edilen Babil kulesi 7 katlı ve 90 metre yüksekliğindedir. Şekil 3' te Babil Kulesine ait görsel bulunmaktadır. Kulenin tepesinde tapınak yer almaktadır (Çakır, 2011).

M.Ö 282 yılında yapılan İskenderiye Feneri ise 140 metre yüksekliğindedir. Uzakdoğu ve güneydoğu Asya'da yaygın olan ahşap ve tuğla ile inşa edilen pagodalar ise yeryüzünü gökyüzüne bağlayan semboller olarak yüksek yapıların örneklerindendir.





Şekil 3. Roma İmparatorluğu dönemine Pantheon (www.djc.com) ve dünyanın en yüksek kilisesi unvanına sahip olan Ulm Katedrali (tr.wikipedia.org -c)

M.Ö. 447-432 yıllarında Athena adına inşa edilen Parthenon Tapınağı ve M.Ö. 330 yılında inşasına başlanan Apollon Tapınağı da eki Yunan mimarisinin yüksek yapı örneklerindendir. Roma İmparatorluğu dönemine ait olan Pantheon ise 43,4 metre yüksekliğe sahiptir. Gotik mimarisinin yüksek yapı örneklerinden olan Ulm Katedrali bugün de dünyanın en yüksek katedrali unvanını taşımaktadır (Çakır, 2011). Tarihsel süreçte yüksek yapıların oluşumunda ilk olarak dini inanışların etkisi görülmektedir. Gökyüzüne ulaşmayı hedeflercesine yükselen cami ve katedraller gibi dini yapıların yanı sıra korunma amaçlı şatolar ve özellikle İtalya'da güçlü aileler tarafından kule biçimli evlerin yapıldığı görülmektedir. Yükselen kule evler ile insanların kendilerini emniyete alma, düşmana karşı korunma ihtiyacının sonucu olarak kat sayıları artarak kule evlere dönüşmüştür. Eski yapıların yükselme ihtiyacının temelinde göğe yaklaşma, gözetleme, güvenlik gibi gerekçeler sıralanabilir. Sanayi devrimi ile yüksek yapı kavramında değişiklikler meydana gelerek ticari alanda da yüksek yapılar yapılmaya başlanmıştır (İlerisoy, Başgül, 2019).

2.2.2.2 Sanayi devrimi sonrası Amerika'da yüksek yapıların tarihsel gelişimi

Sanayi devrimi birçok alanda olduğu gibi yapı sektöründe ve yüksek yapılarda da gelişmelere olanak sağlamıştır. Sanayi devrimi ile özellikle çelik üretiminde yaşanan gelişmeler sonucu çelik çerçeve sistemi kullanımı başlamıştır. Uzun yıllar boyunca özellikle yığma duvarlarla oluşturulan ve geniş açıklığın kemer ve tonozlar gibi geleneksel yöntemle geçilmesi sonucu kısıtlı olan yapım imkânları çeliğin kullanımı ile özellikle yükselen yapılarda artan duvar kalınlığı sorununa da çözüm olmuştur. 19. yüzyılda çelik çerçeveli uygulamalar ile çerçeveler masif duvarlara gizlenerek duvar kalınlığının azalması sağlanmıştır (İlerisoy, Başgül, 2019). Çelik iskelet ile birlikte kullanılan kâgir yığma cephe duvarları ilerleyen dönemde yüksek yapı gereksiniminin artması ile birlikte tümüyle çelik iskelet sisteme dönerek taşıyıcı duvarlar terk edilmiştir. Çelik sistemler yapılarda geniş ve yüksek açıklıklar geçmekte kullanılmaya başlamıştır (Bal, 2003).

19. yüzyıl sonrasında dünyada modern anlamda ilk yüksek yapılar Amerika'da yapılmaya başlanmıştır (Çakır, 2011). Hızlı nüfus artışı ve arsa yetersizliğinin sonucu ilk olarak Chicago ve New York'ta bina yükseklikleri artmıştır. 1833 yılında Chicago'da George W. Snow tarafından ilk çelik iskelet bina yapılmıştır (Toprakal, 2008). Elisha Graves Otis 1852 yılında asansörlerde güvenlik sorununu çözerek "güvenlik freni'' adını verdiği sistemi çözmüştür. Böylece yüksek yapılar yapılmasını mümkün kılmıştır (ungo.com.tr). Tasarlanan ilk güvenli asansör bir iş merkezinde uygulanmış ve 45 metre yüksekliğe erişilmiştir. Chicago'da 1885 yılında yapılan, Home Insurance Company Building, yüksek binalarla ilgili uluslararası bir araştırma ve yayın kuruluşu olan "Council on Tall Buildings and Urban Habitat" tarafından, dünyanın ilk gökdeleni olarak kabul edilmiştir. Şekil 2.5 te William Le Baron Jenney tarafından yapılan "Home Insurance" Binasına ait görsel yer almaktadır. Yapıda yeni teknoloji ürünü yanmaz malzemeler, asansör, elektrikli aydınlatmalar kullanılmıştır. Chicago'da 1880-1900 yılları arasında "Chicago akımı'' olarak bilinen akım gelişmiştir. Bu akım modern tekniği ve metal konstrüksiyonu tasarımda temel almaktadır. Bu döneme ait yapılarda genellikle işlev ön planda tutulmakta, dışta ise iskeleti ve düşeyliği vurgulanmakta, katlarda pencere boşlukları tekrarlanmaktadır (Toprakal, 2008).

1885 ve 1916 yılları arasında yapılan yüksek yapılara örnek olarak;

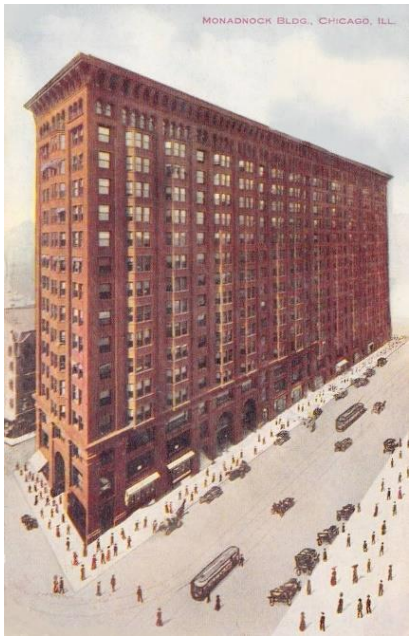
-1889'da Chicago'da yapılan ve 50 m. yükseklikteki Ofis binası Tacoma Building. Şekil 4'te görseli bulunan bu bina giydirme cepheli ve çelik iskelet sistemin ilk kullanıldığı örneklerdendir.





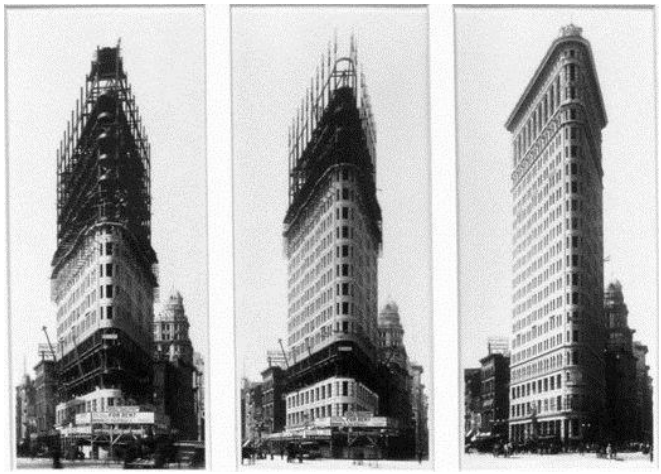
Şekil 4. Dünyanın ilk gökdeleni olarak kabul edilen Home Insurance Company Binası (www.thevintagenews.com) ve giydirme cepheli ve çelik iskelet sistemin ilk kullanıldığı örneklerden Tacoma Building (preservationchicago.org)

- 1891'de Chicago'da yapılan ve 65,5 m. yükseklikteki Monadnock Building, Ofis olarak yapılan ve yapı çelik iskelet kullanmadan gerçekleştirilen son yapıdır. Zemin katta duvar kalınlığı 180 cm'e ulaşan binanın görseli Şekil 5'te yer almaktadır.



Şekil 5. Monadnock Building (stringfixer.com -a)

- 1902'de New York'ta yapılan ve 22 katlı, 87 m. yüksekliğindeki Flatiron Building, ofis yapısı olarak inşa edilmiştir. Yapı formu ile de yüksek yapıların alışılmış dikdörtgenler prizması formuna farklı bir yaklaşım getirmiştir. Flariton Binası yapım aşamasına ait görselleri Şekil 6' da görülmektedir (Toprakal, 2008).



Şekil 6. Mimar Daniel Burnham tasarımı olan Flariton Binası ve yapım aşamaları (tr.wikipedia.org -b)

1900' lü yıllara kadar olan dönemde daha çok fonksiyonellik ön planda iken 1900-1930 arası dönemde teknolojinin gelişmesiyle malzemelerde yaşanan gelişme beraberinde bina

tasarımı ve cephede estetiğin ön plana çıktığı örneklerin karşımıza çıktığı dönemdir. Bu dönemde Chicago gökdelenlerindeki sınırlı estetik anlayış yerini zengin Gotik ve Rönesans motiflerinin yer aldığı cephelere bırakmıştır. Bu dönem yapıları kule şeklinde yükselerek anıtsal yapıları andırmaktadır. Mimar Daniel Burnham tasarımı olan Flariton Binası, Ernest Flagg'ın Singer Binası ve Mimar Cass Gilbert'in Woolworth Binası bu döneme ait örneklerdendir (Katuk, 2014).

1885 ve 1916 yıllarını kapsayan Home Insurance Company Binası ile başlayan döneme ait yapıların enerji tüketimi açısından değerlendirmesi yapıldığında bu döneme ait yapılarda aktif havalandırma ve yapay aydınlatma teknolojisi gelişmemiştir. Havalandırma için açılabilir pencereler kullanılmaktadır. Kullanılan enerji büyük oranda ısıtma sistemleri ile düşey ulaşım sistemlerinde tüketilmektedir. Yapay aydınlatma açısından ise günümüze göre oldukça düşük standartlar bulunmaktadır. İlk yüksek yapı örneklerinde çerçeve kullanılmasına rağmen kabuk tasarımında dış duvarlar taşıyıcı görevi üstlenmese de genellikle kalın ve masif duvarlar olarak yapılıyordu. Kagir cephe duvarları ısı depolamaları sayesinde mekanların yazın serin, kışın ise ılık olmasını sağlıyordu. Ayrıca bu döneme ait yapılar geniş kat planları ve dar cephe boşlukları sebebiyle gün ışığını yeterli alamamaktaydı. Pencere boşluk oranlarına bakıldığında ise cephe yüzeyinin %20-30'unu oluşturacak kadar az ve tek camlı doğramalardı. Bu da yapay aydınlatma yükünün artmasına sebep oluyordu. Bu döneme ait yüksek yapılar doğal aydınlatma açısından yetersiz kalmasına rağmen masif kütleleri ile enerji performansı açısından yüksek yapılardır (Sev, Başarır, 2011).

New York'ta 1913'te inşa edilen Woolworth Binasının cephesi Gotik motifler ile süslü ve terracotta malzeme ile kaplanmıştır (Katuk, 2014). Strüktürü çelik kolon ve kirişler ile çözümlenmiş 241 metre yüksekliğindeki binaya ait görsel Şekil 7'de görülmektedir.



Şekil 7. Yüksekliği 241 metre olan Woolworth Binası (www.archdaily.com –a)

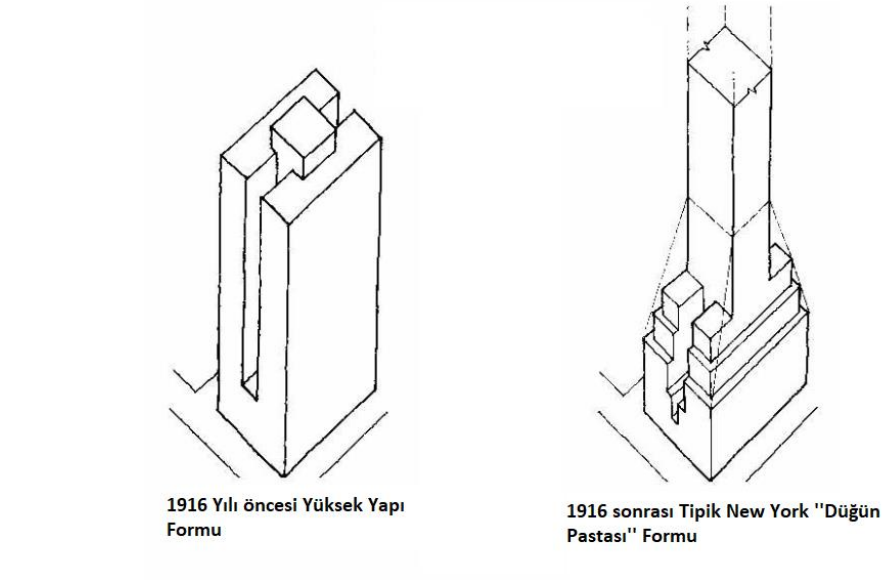
1.Dünya Savaşı ve ekonomik kriz sebebiyle 1914 yılında itibaren yüksek binaların yapımı bir süreliğine dursa da 1920'lerde tekrar başladığı görülmektedir. Yükseklik yarışı ile birlikte yapılar ince uzun bir görüntüye bürünmüş, 3 bölümden oluşan kaide, gövde ve başlık ise antik sütun sembolizmine dönüştürüldüğü görülmektedir. Bu dönemde yapılan yapılara Chrysler Building ve Empire State örnek olarak gösterilebilir. Chrysler Building ve Empire State binasına ait görseller Şekil 8' de görülmektedir. (Toprakal, 2008).



Şekil 8. Art Deco örneği olan Chrysler Building (www.archdaily.com –b) ve Empire State Building (www.archdaily.com –c)

1930 ve 1950'li yılları kapsayan dönemde yüksek yapılar daha çok ofis ve toplu konut yapıları olup çekirdekli ve tüp çerçeveli sistemler kullanılmıştır. Cephe strüktürü ise daha hafif malzemeler ile oluşturulmuştur. New York'ta 1930'da yapılan Chrysler Binası çelik çerçeveli sistemli ofis binasıdır ve 30 adet yolcu asansörü bulunmaktadır. 319 metre yüksekliğindeki bu bina Art Deco süslemeleriyle dikkat çekmektedir. Chrysler Binasından bir yıl sonra yapılan Empire State Binası 381 metre yükseklikte inşa edilerek, Chrysler Binasının yükseklik rekorunu elinden almıştır. Empire State binası asansör sayısının artması ile maliyetinde artışa sebep olurken, büyük asansörleri kiralık alanlarının azalmasına sebep olmuş ve kar sağlama konusunda olumsuz yönde etkilenmiştir. Bununla birlikte bina gövdesindeki geri çekmeler ile komşu binalara gölge yapma problemine çözüm olmuştur. 2. Dünya Savaşı ile tetiklenen ekonomik kriz yapılarda ekonomik olma kriterini öne çıkartmış, yapay aydınlatma ve havalandırma sistemlerindeki gelişmeler sonucu yüksek yapıların daha etkin kullanımına imkân sağlamıştır (Katuk, 2014).

1916 ile 1950 yılları arasındaki dönemde yapıların enerji performansına bakıldığında, New York'taki Equitable Building'in inşası, yüksek katlı yapı tasarımda önemli bir dönüm noktası olmuştur. Bina, yüksekliği ile çevredeki binaların ışığını ve manzarasını engellemekteydi. Yüksek binalar sebebiyle yaşanan gün ışığını engelleme sorunu imar yönetmeği eksikliği sonucu, bu bina ile daha da gün yüzüne çıkmış oldu. Böylece New York'ta 1916 yılında yüksek yapıların büyük bir kısmını kısıtlayan İmar Yönetmeliği yürürlüğe girmiştir. Yönetmelik sonrası geri çekmeler ile bina formlarında belirgin bir form oluşmuştur. Yönetmelik öncesi ve sonrası yapı formları Şekil 9' da görülmektedir (Oldfield, Trabucco ve Wood, 2009).



Şekil 9. 1916 Yılında Yürürlüğe Giren Yönetmeliğin Yüksek Yapı Formlarına Etkisi (Oldfield, Trabucco ve Wood, 2009).

Yönetmelik ile yüksek yapıların kütlesel ve boyutsal olarak sınırlanması sağlanırken, belli bir yükseklikten sonra geri çekilmeler ile yapılarda daralmalar yeni kütle formlarını oluşturmuştur. Böylece cephe yüzeyinin birim hacmine oranının artması ile enerji tüketimi açısından hem olumlu ve hem de olumsuz birtakım sonuçlar ortaya çıkmıştır. Cephe yüzeyindeki artış ısı kayıplarına neden olurken enerji performansını olumsuz etkilemektedir. Cephelerde kullanılan saydam yüzeyler bir önceki dönem ile benzer olmakla birlikte daralan kat planları sayesinde doğal aydınlatmadan yararlanmayı arttırmaktadır. Ancak aynı zamanda ısıtma yükünü arttırmıştır. Bu dönem yüksek yapılar için mekanik havalandırmanın icat edildiği ve yaygınlaştığı dönemdir (Sev, Başarır, 2011).

1950 ve 1960'lı yıllar yüksek yapıların birbirine benzediği yıllar olmuştur. 1950'li yıllarda en çok kullanılan malzeme cam olurken, yeni malzemeler olan alüminyum, çelik ve bronzda sıklıkla kullanılmaktaydı (Toprakal, 2008).

1958 yılında Mis Van Der Rohe ve Johnson'ın birlikte gerçekleştirdiği Seagram Binası 38 katlı cam giydirme cepheli bir yapıdır. Şekil 10' da görseli bulunan bina prizma şeklinde, geri çekmeleri olmadan, bir bütün şeklinde yükselmektedir (Bal, 2003).

1960’larda aynı zamanda beton kalitesinin yükselmesi, yatay ve düşey büyük açıklıklara beton dökebilen pompaların varlığı, hafif beton teknolojisinin gelişmesi, beton işlene bilirliğini arttıran çeşitli katkı malzemeleri ve prefabrikasyonun gelişmesi yüksek yapı teknolojisinin gelişmesinde rol oynamıştır. 1960’lı yıllardaki kalitesi artan beton sayesinde betonarme binalar hayata geçirilmiştir. Chicago’da 1964 yılında Bertrand Goldberg tarafından yapılan Marina City Kuleleri, 179 metre yüksekliğinde ve 65 katlı olup betonarme yapıların örneklerindendir. Şekil 10 da görseli bulunan 1964 yılında tamamlanan Marina City döneminin en yüksek konut projelerindendir (Çakır, 2011).



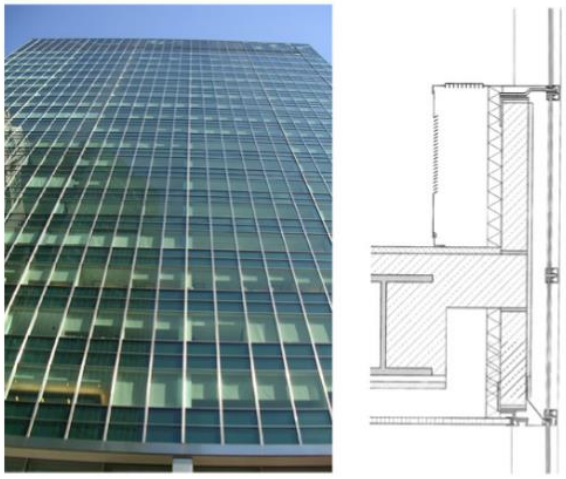
Şekil 10. Mis Van Der Rohe ve Johnson’ın birlikte gerçekleştirdiği Seagram Binası (www.archdaily.com –d) ile Chicago’da 1964 yılında Bertrand Goldberg tarafından yapılan Marina City Kuleleri (www.archdaily.com –e)

1965 yılında tüp sistemlerin yapımına başlanmış olup, 43 katlı De Witt Chestnut Apartmanı ve Burnswick Binası ilk örnekleridir. Tüp sistemler ile süper yüksek yapı dönemi başlamıştır (Bal, 2003). 200-400 metre yüksekliğe sahip birçok bina bu dönemde yapılmıştır. 1969 yılında yapılan John Hancock Merkezi 95 katlı ve 344 metre yüksekliğe sahiptir. Şekil 11’ de görseli bulunan yapı, karma kullanıma sahiptir ve dış tüpü meydana getiren sütunlar, köşelik kiriş ve çapraz kuşaklar taşıyıcı sistemi oluşturmaktadır (Çakır, 2011).



Şekil 11. 95 katlı ve 344 metre yüksekliğe sahip John Hancock Merkezi (www.greatbuildings.com)

1951 ve 1973 arası yüksek yapıların enerji etkinliği olarak bakıldığında; 2. Dünya Savaşı sonrası yaygınlaşan modern mimari akımı ile hafif giydirme cephe sistemlerin de yapılarda kullanımı artmıştır. Daha önce %20-35 olan cephe saydamlık oranı 1950-1973 arasında %50-75 oranına ulaşmıştır. Giydirme cephe teknolojisinin uygulandığı ilk örneklerden olan New York'ta bulunan Lever House 'tır. Cephe ve hafif cephe kesiti Şekil 12'de görülmektedir (Sev, Başarır, 2011).



Şekil 12. Lever House, New York, 1952 Cephe görünüş ve kesiti (Sev, Başarır, 2011).

Lever House 1952 yılında tek katmanlı ısıya dayanıklı camla kaplı hafif cephe konstrüksiyonlu bu yapının ısı performansı daha önceki dönem kâgir ve masif duvarlı yapılara göre oldukça düşüktür. Bu döneme ait yapılarda çoğunlukla koyu ve renkli kaplama ile koyu ve bronz renkli camlar kullanılıyordu. Bu durumda cam yüzeyler artış göstermekle birlikte cam rengi günışığı geçirgenliğini azaltarak yapay aydınlatma yükünün artmasına neden oluyordu. 1916 yılındaki yönetmeliğin etkilerinin de azalması ile cephe-çekirdek arası mesafelerin artması, koyu renkli cam cepheler sonucu yapay aydınlatma yükü artmış, enerji tüketimi yükselmiştir. 1950 ile 1970 yılları arasında Stein tarafından 86 yüksek yapıda yapılan bir araştırmaya göre 1960'larda yapılan yüksek yapılardaki enerji tüketimi, 1950'li yıllarda yapılan yüksek binaların tüketiminden iki katından fazla olduğunu göstermektedir (Sev, Başarır, 2011).

1973 ile 1979 yıllarında enerjide yaşanan kriz tüm alanlarda olduğu gibi yapı sektöründe de enerji tüketiminin kontrol altına alınmasını gerektirmiştir. Böylece birçok gelişmiş ülkede yapı yönetmeliklerinde enerji tasarrufunu öne çıkaran önlemler karşımıza çıkmaktadır. Isı yalıtımlı ve güneş kontrolü için camlar geliştirilmeye dair çalışmalara başlanmıştır. Işık geçirgenliği yüksek saydam camlar ile ısı geçirgenliği düşük camların kullanımı tercih edilmeye başlanmıştır. Bununla birlikte teknolojik gelişmelerle ofis ekipmanların da özellikle bilgisayar kullanımındaki artış ile bilgisayarların yaydığı ısı artışına neden olmuştur. Bu da mekanik soğutma sistemlerine ilave yük getirerek enerji tüketiminde artışa neden olmuştur (Sev, Başarır, 2011).

1980'lerde ise modern yaklaşım benimsenmiş, her yapı tek ve kendine özgü olma anlayışı ile tasarlanmıştır. Bu yılların örnekleri arasında 202 metre yüksekliğe sahip Trump Kulesi ve 184 metre yüksekliği ile IBM binası sayılabilir (Çakır,2011).

2.2.2.3 Dünyada yüksek yapıların tarihi gelişimi

Örnekleri ilk olarak Amerika'da karşımıza çıkan çelik yüksek yapılar 20. yüzyıl sonları ve 21.yüzyıl başlarında Avrupa ve Uzak Doğu ülkelerinde de karşımıza çıkmaya başlamıştır. Japonya, Güney Kore, Singapur, Hong Kong ve Malezya başta olmak üzere, Avustralya ve Orta Doğu ülkeleri de yükseklik yarışına dâhil olmuşlardır. "High-tech" olarak adlandırılan ve çağdaş strüktürel tasarımın örneklerinden olan, 1984 yılında Uzak Doğu'da inşa edilmiş Hong Kong ve Shanghai Bankası ile 1989'da mimar IM Pei

tarafından tasarlanan 369 metre yüksekliğindeki Bank of China binası bu döneme ait yapılar arasındadır. 1998 yılında Malezya Kuala Lumpur'daki Petronas Towers Amerika'nın elinde bulunan dünyanın en yüksek binası unvanını elinden almıştır. Petronas Towers 452 metre yüksekliğinde tasarımıyla postmodern dönemin önemli örneklerindendir. Postmodern dönemin Shangay'da 1998'de yapılan Jin Mao Binası ile 243 metre yüksekliğindeki Tokyo City Hall Complex Uzak Doğunun önemli yapılarıdır. 1999 yılında kullanıma açılan Burj El Arab binası Dubai'nin simgesi haline gelen 321 metre yüksekliğe sahip, 60 katlı yapı dünyanın en büyük ve gösterişli otelidir (Katuk, 2014).

2.2.2.4 Türkiye'de yüksek yapıların tarihi gelişimi

Türkiye'de ise ilk yüksek katlı yapılara 19. Yüzyılın sonlarında ortaya çıkmıştır. 10 katın üzerindeki yapılar 1950'li yıllarda yapılmaya başlanmış, daha sonra 20 katı geçen yapılar yapılmıştır. Türkiye'de yüksek yapı örnekleri;

-1950-1955, İstanbul'da Amerikalı mimarlar, Skidmore, Owings ve Merill (SOM) tarafından tasarlan ve Sedad Hakkı Eldem'in yerel danışmanlığını yaptığı 12 katlı Hilton Oteli,

-1953-1960, Ankara, Ulus İş Hanı, Orhan Bolak, Orhan Bozkurt ve Gazanfer Beken tarafından tasarlanan, 13 katlı ofis binası

-1959-1965, Ankara, Kızılay Emek İş hanı, Enver Tokay tarafından tasarlanan, 3+21 katlı ve 76 metre yüksekliğindeki alışveriş+ ofis kullanımlı binası aynı zamanda Türkiye'de inşaa edilen ilk yüksek yapı olarak kabul edilmektedir.

-1964-1970, Ankara, Stad Oteli, Metin Hepgüler, Doğan Tekeli, Sami Sisa tarafından tasarlanmış, 20 katlı ve 71 metre ofis binasıdır.

1967 yılında İstanbul'da gökdelen yapımını teşvik etmeyi amaçlayan ve bu nedenle yapı yönetmeliğine eklenen bir madde eklenmiştir. Bu madde ile arsanın %25'inden daha az alanının kullanılması durumunda binaya verilecek yüksekliğin arttırılacağı belirtilmektedir. Ancak bu maddeye rağmen, sadece Beyoğlu'nda yüksek yapılara izin verilerek İstanbul'un diğer bölgelerinde yüksek bina yapımına izin verilmemiştir.

Türkiye'de inşa edilen ilk önemli gökdelenler ise;

-1975, Ankara, Hacı Ömer Sabancı Kız Yurdu, Tamay Sütmen tarafından tasarlanmıştır. Yapı, 28 katlı, 98.5 metre yüksekliğinde yurt binasıdır.

-1987, Mersin Gökdeleni, Cengiz Bektaş tarafından tasarlanmıştır, 52 katlı, 176.8 metre yüksekliğindeki yapı otel binasıdır.

-1989-1993, İstanbul, Sabancı Kuleleri ise Haluk Tümay, Ayhan Böke tarafından tasarlanmıştır. 5+34 ve 29 katlı 2 yapıdan oluşmaktadır. Yükseklikleri ise 140 ve 158 metre olup ofis binası olarak kullanılmaktadır (Toprakal, 2008).

1975 ve 1985 yılları arasında Türkiye'de yüksek yapı kat sayılarında artış görülmesine rağmen ekonomik ve politik sebeplerle çok sayıda yüksek yapı yapılamamıştır. Türkiye'de 1985 yılına kadar yaklaşık 15 adet yüksek yapı yapılmıştır. Yüksek yapılar konusunda yürürlükte olan imar kanunu eksikleri batıdaki örneklere benzer kalite düzeyinde yapılar yapılmasını engellemiştir.

1985 ve 1990 yılları arası dönemde yaşanan ekonomik, sosyal, kültürel ve teknolojik gelişmeler beraberinde yüksek yapı sayılarında artış ile yapıların niteliğinde de gelişmelere neden olmuştur. Daha çok İstanbul'da yoğunlaşan yapılar tek ve çok fonksiyona sahip yapılar olarak karşımıza çıkmaktadır (Yıldız, 2021).

Türkiye'nin en yüksek üç binası İstanbul'da yer almaktadır;

-Skyland Residence Tower, 65 katlı ve 284 metre yüksekliğinde,

-Skyland Office Tower, 64 katlı ve 284 metre yüksekliğinde,

-The Metropol Tower, 58 katlı ve 280 metre yüksekliğindedir (Ulutaş,2018).

2.2.3 Yüksek yapıların gelişim sürecinde enerji tüketiminin tarihsel analizi

Yüksek yapıların tarihsel süreçte yapısal olarak gösterdikleri gelişim ve değişimler yapılarda enerji tüketiminde de artışa neden olmuştur. Dönemsel gelişim süreçlerine bakıldığında;

1885 ile 1916 yıllarına ait yapılar sahip oldukları geniş kat planları ve dar cephe boşlukları sebebiyle gün ışığından yeteri derecede faydalanamamaktaydılar. Cephenin %20-30 unu kaplayan pencere boşluğu oranları nedeniyle gün ışığı yetersiz kalmakta ve yapay aydınlatma yüklerinde artışa sebep olmaktaydı. Havalandırmanın henüz gelişmediği bu dönemde havalandırma açılabilir pencereler ile sağlanmaktaydı. Yapay aydınlatma teknolojisinin standartlarının oluşmadığı bu dönemde artan yapay aydınlatma yükü beraberinde enerji tüketiminin artmasına sebep olmaktaydı. Enerji büyük oranda ısıtma ve düşey ulaşıma harcanmaktaydı. Bununla birlikte kalın masif duvarlar ısı depolanmasına imkan verirken yazın serin, kışın ise ılık mekanlara olanak sağlamaktaydı. Sonuç olarak bu döneme ait yüksek yapılar doğal aydınlatma açısından yetersiz kalmakla birlikte, masif kütleleri ile enerji performansı açısından avantaj sağlamaktaydılar.

1920 ile 1950 yılları arasını kapsayan dönemde ise; yüksek yapıların çevredeki binaların ışık ve manzaralarını engellemesi sonucu imar yönetmeliğinde bir takım değişikliklere gidilmesine yol açmıştır. Bu değişiklik ile yapılarda geri çekilmeler sonucu yüksek yapı formlarında belirgin değişimler meydana gelmiştir. Özellikle kütlelerindeki geri çekmeler ile kademeli yapı formu oluşarak yapı kütleleri daralmıştır. Bu formların oluşumu ile enerji tüketiminde olumlu ve olumsuz birtakım gelişmeler meydana gelmiştir. Bina kütlesinde daralma sayesinde binalar gün ışığından daha fazla yararlanmaya başlarken yapay aydınlatma yükünde azalma meydana gelmiştir. Bununla birlikte artan cephe yüzeyi ile de ısı kayıplarında artış meydana gelmiştir. Cephe yüzeyinde bulunan saydam yüzey alanı bir önceki dönem ile benzer olmakla birlikte kat planlarının daralması doğal aydınlatmadan yararlanmada artış sağlamıştır. Bu dönem aynı zamanda mekanik havalandırma sistemlerinin icadı ve yaygınlaştığı dönemdir.

1950-1970 arasında hafif giydirme cephe sistemlerinin kullanımı ile cephe saydamlık oranı artarak %20-35 den %50-75 e ulaşmıştır. Cam yüzeydeki artış yapay aydınlatma ihtiyacında azaltırken, ısı yükünün artmasına sebep olmuştur. Bunun sonucu kullanılan camlar koyu renkli ve gün ışığını daha az geçirecek şekilde değişime uğramış ve bu değişimle birlikte yapay aydınlatma ihtiyacında artış meydana gelmiştir. Bu dönem yapılarında bir önceki döneme oranla enerji tüketiminin yaklaşık iki katı artmasına sebep olmuştur.

1973 ve 1979 yıllarında yaşanan enerji krizi sonrası ısı yalıtımlı ve güneş kontrollü camlar tercih edilmeye başlanmıştır. Ancak teknolojik gelişmeler sonucu ofislerde kullanılan ekipmanlar ve özellikle bilgisayar kullanımının artması ile bilgisayarların yaydığı ısı soğutma sistemlerine ilave yükler getirmiştir. Bu da enerji tüketiminde artış ile sonuçlanmıştır.

Çevre bilincinin yükselişe geçtiği 1997 yılından günümüze kadar olan süreç, iklim değişikliğinin modern dünyanın tartışmasız en büyük sorun olduğu dönemdir (Oldfield, Trabucco ve Wood, 2009). Çevreye duyarlı yaklaşım benimseyen yüksek yapıların ilk örneklerindendir. 1980'li yılların başında iklim ve bölgesel özelliklere uygun yapı tasarımı (bioklimatik tasarım) anlayışı çok az sayıda tasarımcı tarafından geliştirilen ilk yönelimlerdir. Bu anlayış ile doğal kaynaklardan pasif biçimde yararlanılarak iklimle dengeli tasarım, doğal havalandırma ve aydınlatma, binanın konumu, formunun güneşe göre yönlenmesi benimsenmiştir. Bu yönelimin ilk örneklerinden olan 1982 yılında Cidde'de yapılan National Commercial Bank Binasıdır, binaya ait plan ve görsele Şekil 13'te yer verilmiştir. Bu bina üçgen plan şemasına sahiptir. Bina cephesinde kurgulanan boşluklar gök avlu olarak kullanılmış ve bina dış cephesi taş ile kaplanmıştır. Gök avluya bakan cepheler ise cam ile kaplanmıştır. Gök avlunun düşeydeki baca etkisi yaratan düzeni hava sirkülasyonu sağlamaktadır. Bu sayede iç cephedeki ısıyı 10 °C'ye kadar düşürmekte ve soğutma giderlerinden tasarruf sağlamaktadır (Begeç, 2013). Binanın dışındaki taş blok estetik açıdan tartışılsa da cam yüzeylerin avluya bakması sıcak iklim için olumlu etki yaratmaktadır (Wood, 2007). Bir diğer örnek ise güneşe yönelim ile doğal ışıktan maksimum fayda sağlayarak pasif ısıtma ve soğutma sağlamayı amaçlayan Menara Mesiniaga Binasıdır. Kuala Lumpur'daki binada dikey peyzaja dayanan konsepti ile giriş katından başlayıp bina cephesi boyunca dönerek en üst kota ulaşan gök avlulardır (Begeç, 2013). Norman Foster'ın Frankfurt'taki Commerzbank Binası'da bir çok ekolojik ve enerji etkin stratejiyi bünyesinde barındırmaktadır (Sev, Başarır, 2011).



Şekil 13. Norman Foster'ın Frankfurt'taki Commerzbank Binasına ait plan ve dış görünüş (centerfordiagonality.org).

Yüksek yapılar tarihsel gelişim süreçleri içinde aynı zamanda fonksiyonel gelişimleri, mimari stilleri, yükseklikleri ve strüktürel formları açısından birçok aşamadan geçmiştir. 19. Yüzyıl ortalarında çelik çerçevenin geliştirilmesinden, ileri teknolojili devasa strüktürlerin yapıldığı günümüze gelene kadar yaşanan süreçte yüksek yapılar enerji performansında da yıllara göre değişiklikler göstermişlerdir. Günümüze yaklaştıkça, yüksek binalarda yenilenebilir enerji üretim teknolojilerinin uygulanması da yaygınlaşmaktadır. Yüksek binalarda, pasif tasarım yaklaşımlarıyla enerji tüketiminin en aza indirilmesi ve gerekli enerji ihtiyacının yenilenebilir kaynaklardan karşılanması olmaktadır (Sev, Başarır, 2011).

2.3 Yapı Kabuğu ve Cephesinin Yapılarda Enerji Tüketimindeki Yeri

Yapı kabuğu, yapıların dış ortam ile etkileşimini sağlayarak kullanıcı konforunu optimize edebilmek için yapıya doğal ışık, ısı ve doğal havalandırma sağlarken, dış ortamın olumsuz etkileri olan yağış, rüzgâr, ısı ve sesin denetim ve filtrelemesi görevini de üstlenmektedir. Bu görevlerin yanı sıra aynı zamanda enerji tasarrufu yapmayı da hedeflemektedir. Yapı kabuğu kavramı, yapının dış çevre ile etkileşimi olan zemine oturan döşeme, cephe elemanı ve çatı gibi tüm yüzeylerini kapsamaktadır. Cephe dış ortam ile yüzeyi bakımından en çok etkileşime sahip ve kullanıcılarını etkileyen unsurudur (Kızıltoprak, 2019).

Yapı kabuğunun binaların enerji tüketiminde büyük etkisi bulunmaktadır. Yapı kabuğu maliyeti yapının toplam inşaat maliyetinin %15-%40'ına karşılık gelirken, özellikle yaşam dönemi enerji maliyetlerine olan katkısı %60 oranına ulaşmaktadır (Erol, 2017).

Enerji tüketiminin günümüzde öneminin daha da anlaşılması sebebiyle, yapı cephesi işlevi olan iç ortam ısıl koşullarını optimize ederken minimum kaynak kullanımı sağlamaktır. Binalarda enerji tüketimi büyük oranda iç mekân konforu sağlanırken harcanmaktadır (Yeşilli, 2016). Yapı kabuğunun görevi duvar, çatı, zemin, kapı ve pencereler gibi şartlandırılmış mekânları dış ortamdan ayırarak, iç veya dış mekana geçişinde ayırıcı olması sebebiyle, yapı kabuğunun göstereceği performans enerji tüketiminde önemli bir ölçüt olarak karşımıza çıkmaktadır. Bina cephesi özellikle güneş ışınımı karşısında gösterdiği özellikler olan yansıtıcılık, yutuculuk, geçirgenlik ile binalarda ısı kayıp ve kazançlarında etkili olmaktadır. Enerji korunumu açısından yapı kabuğu fiziksel özelliklerine göre opak ve saydam olarak ele alınabilirler (Erol, 2017).

Yapı cepheleri iç ortamdan dış ortama hem de dış ortamdan iç ortama enerji akışını etkileyen farklı işlevler sergilemektedir. Cephenin enerji akışını etkileyen bu fonksiyonlar;

-Gün ışığını arttırmak

-Gün ışığından faydalanmayı en üst düzeye çıkartma

-Güneşten korunma

-Havalandırma

-Isı Toplama

-Isıyı uzaklaştırma

-Sesin hafifletilmesi

-Elektrik üretme

-Basınç farklılıklarının kullanılması

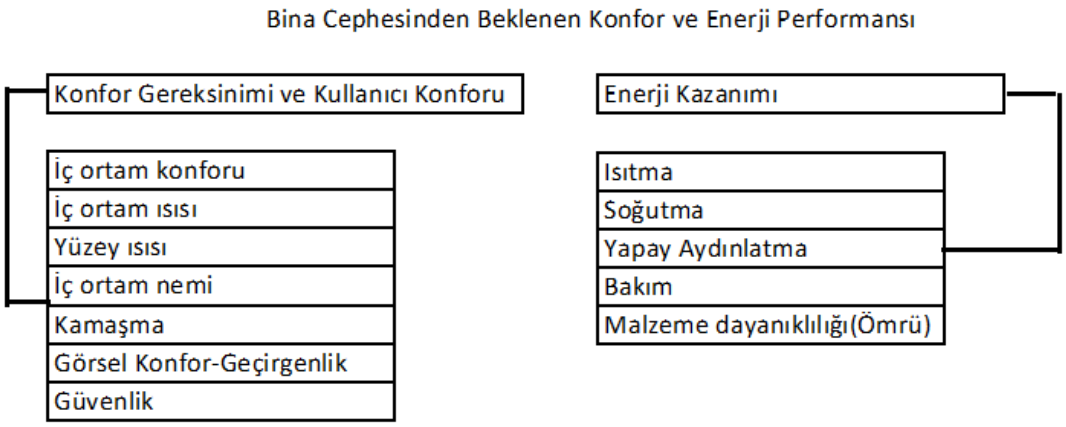
Olarak sıralanabilir (Erturan,2010).

Çalışma kapsamında cephenin enerji akışını etkileyen fonksiyonlarının, akıllı malzemeler kullanıldığındaki etkileri ve sağladıkları değerlendirilmiştir. Ayrıca akıllı malzemelerin yüksek yapı cephelerinde kullanım alanları değerlendirilmesi açısından yüksek yapı cephe sistemleri incelenmiştir. Böylelikle cephede kullanılan sistem ve malzemeler ışığında akıllı malzemelerin kullanım alanları ve enerji etkinliğine etkisinin değerlendirilmesine katkılarının irdelenmesi hedeflenmektedir.

2.3.1 Yüksek yapılarda cephe sistemleri

Yapı cephesi yapıları dış ortamdan ayırarak kullanıcıları dış ortam koşullarından koruyan ve konfor sağlayan, aynı zamanda yapıların diğer yapılardan ayırt edilmesini sağlayan önemli bir elemanı olarak tanımlanmaktadır (Orbay,2019). Yapı cephelerinden bir takım gereksinimleri yerine getirmesi beklenmektedir. Bu gereksinimler gerek kullanıcı konforunu belirleyen iç ortam gereksinimleri gerek yapının enerji tüketimi açısından karşılaması gereken gereksinimlerdir. Bu gereksinimlere Tablo 4'te yer verilmektedir.

Tablo 4. Yapı cephesinden beklenen Konfor ve Enerji performansı (Karamanlıoğlu,2011 den uyarlanmıştır).



Cephelerde kullanılan malzemelerin ve cephe tasarımının gelişimi ve değişimi, malzeme teknolojisinde yaşanan gelişime paralellik göstermektedir. Tarihsel süreç içinde değişen teknik koşullar, yapı malzemeleri ve mimari üslup ile bağlantılı olarak değişim ve gelişim göstermektedir.

Eski çağlardan beri yapı cephelerinde belirli bir etki yaratacak nitelikte tasarım kaygısı gözlenmektedir. Endüstri Devriminden önce olan dönemde yeni malzemeler ve yapım sistemlerine ihtiyaç duyulmamış bu nedenle de yapılarda yaşanan değişimler teknolojik değişimler olmayıp çoğunlukla biçimsel değişiklikler olmuştur. 17. yüzyıl ile başlayan aydınlanma hareketi ve 19. Yüzyılda Endüstri Devrimi ile mimarlık alanında büyük değişime neden olmuştur. Teknolojideki gelişmelere paralel olarak cam, demir ve 19. yüzyıl sonlarında beton yeni yapı unsurları olarak ortaya çıkmış ve bu değişimler mimariyle birlikte yapı cephelerine de yansımıştır (Güvenli, 2006).

Yüksek yapıların cephe sistemlerinin oluşturulmasında üç farklı alternatif karşımıza çıkmaktadır.

-Strüktürel elemanların dıştan algılanmasını da sağlayan ve taşıyıcı sistem elemanları olan kolon, kiriş, döşemenin arasında kalan cephe boşluklarının panellerle kapatılması ile oluşturulan cephe sistemleri.

- Kolon, kiriş, döşeme gibi cephedeki taşıyıcı elemanlar ile oluşturulan cephe sistemleri. Bu alternatifte, estetik kaygı ve tercihler ile cephe kolonları ve parapet kirişleri kaplama malzemesi ile kaplanabilmektedir.

- Tüm yapıyı taşıyıcı sistemden ayırarak bağımsız bir şekilde dıştan giydirme yaparak oluşturulan sistemler. Bu alternatifte, hızlı montaj avantajı yanı sıra estetik görüntüsü sebebiyle daha çok tercih edilmektedir (Çakır, 2011).

Günümüzde kat sayıları 100 kata ulaşan ve geçen yapıların artması ile geniş dış yüzey olanları oluşmaktadır. Mimari sistemin parçası ve en önemli elemanları olan, dış cephe duvarı, yüzeyi ve kaplamasıdır. Bu elemanlar fonksiyonları sebebiyle insan derisine benzemektedirler. Günümüzde sadece pasif birer bariyer olmak yerine aktif filtreler olarak yorumlanmakta ve buna göre detaylandırılmaktadırlar.

Giydirme cepheler taşıyıcı konstrüksiyondan bağımsız olarak kendi kendisini taşıyan, taşıyıcı konstrüksiyona ara bağlantı elemanları ile bağlanarak kendi yükü ile rüzgâr yüklerini ileten gelişmiş teknoloji ürünü sistemlerdir (Yaman, 1998).

Giydirme cephe sistemleri taşıyıcı görevi gören yatayda ve düşeyde kullanılan profillerin oluşturduğu karolaj arasına yerleştirilen granit, mermer, kompozit veya sac paneller veya cam ile kaplanması ile oluşmaktadır. Giydirme cepheler kullanılan malzeme özelliklerine bağlı olarak yüksek iletkenlik ve düşük termal depolama ile saydam yüzeylerde istenmeyen ısı kayıpları ve kazançlarına sebep olmaktadır. Giydirme cephelerde kullanılan malzemelere göre opak veya şeffaf bileşenlerden oluşmaktadır (Erturan, 2010).

Bir diğer giydirme cephe sınıflandırması kullanılan elemanların ağırlığına göre ağır giydirme ve hafif giydirme cephe sistemleri olarak iki başlıkta toplanmaktadır. Ağır girdirme cephe sistemleri ağırlıkları 100 kg/m2 'den fazla olan panellerden oluşmaktadır. Genel olarak bu sistemlerde mermer, granit, prekast beton ve ön üretimli beton malzemeler kullanılmaktadır. Özellikle deprem bölgeleri için yapılara fazla yük getirmeleri sebebiyle gerekli önlemler alınarak kullanılmaları gerekmektedir. Hafif giydirme cephe sistemleri ise ağırlıkları 100kg/m2 'den az olan taşıyıcı bir iskelet ve panelden oluşmaktadır. Genellikle alüminyum levha, alüminyum kompozit paneller, metal, cam, seramik, kompakt laminat gibi malzemeler kullanılmaktadır (Yaman,1998; Çakır, 2011).

Yapı kabuğunun parçası olarak giydirme cepheler yapıların enerji performansına etki etmeleri sebebiyle önem taşımaktadırlar. Enerji performansı açısından giydirme cephe seçimleri binalarda ısıtma soğutma sistemine etki etmektedir. Örneğin şeffaf yüzeyler aydınlatma performansına etki etmesi yanında, kullanıcı konforu açısından günışığının geçirgenliği, kamaşma kontrolünde, termal konfor ve dış mekânla görsel ilişki kurma konusunda önemli yere sahiptir. Cephe malzemesinin seçimi akustik performansı, dayanıklılığı, su sızdırmazlığı, yangına karşı koruma ve cephede temizlik ve bakım kolaylığı sağlama anlamına da gelmektedir (Kızıltoprak, 2019).

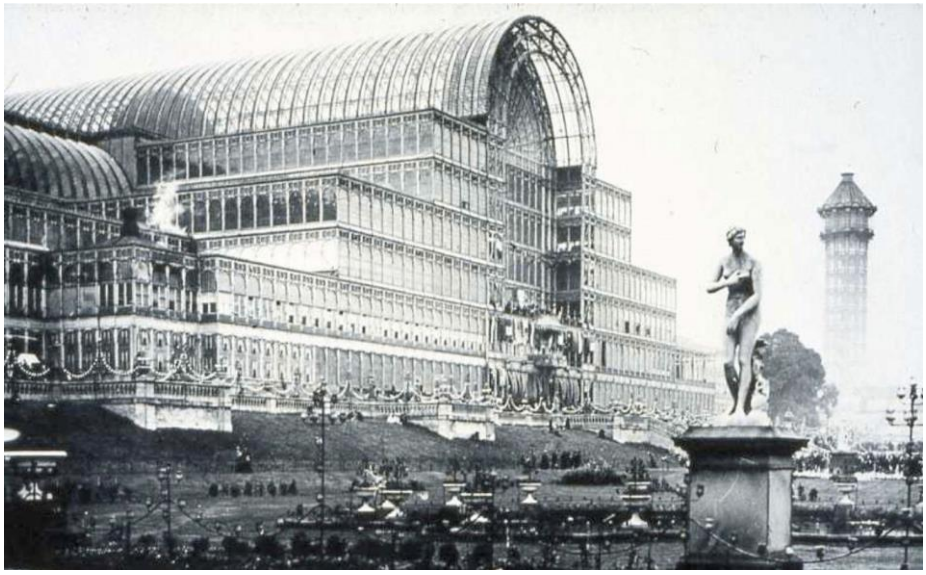
Cephe sistemleri kullanılacak akıllı malzemelerin kullanım alanları düşünüldüğünde şeffaf ve opak cephe sistemleri olarak ele alınacaktır.

2.3.1.1 Şeffaf cephe sistemleri

Camın tarihi 4000 yıl öncesine kadar dayanmaktadır. Doğal cam ilk olarak işlendikten sonra ok ucu, silah süsleme ve mücevherde kullanılmıştır. Önceleri gündelik eşyaların

üretiminde kullanılan cam, mozaiklerde, panolarda ve dış cephe kaplamalarında dekoratif amaçlarla da kullanmıştır. Camı, pencere camı veya arkasını sırlayarak ilk kullananlar Romalılardır. 17. yy 'da cam yassılaştırılarak düz cam üretilmiştir. 18 ve 19. yy 'da Sanayi devrimi ile yapılarda dökme ve dövme demir kullanılmaya başlanmasıyla, daha geniş cam yüzeye sahip yapılar inşa edilmeye başlamıştır (Demir,2011).

Cam giydirme cephenin ilk örneği olarak Chrystal Palace karşımıza çıkmaktadır. 1851' de Joseph Paxton tarafından yapılan Chrystal Palace, dökme demir taşıyıcı çubukların arasına yerleştirilen 300.000 parça camla yapılmış bir yapıdır (Erdoğan,2007).Yapıya ait görsel Şekil 14'te yer almaktadır. Yapı 33 m yüksekliğinde olup, yapıda kullanılan cam panellerin boyutları 7.3 metreye 1.25 metredir (Demir,2011).



Şekil 14. Chrystal Palace (blog.inoxstyle.com)

1963 yılında yansıtıcı kaplamaların kullanıldığı güneş kontrol camlarının üretimi ile soğutma enerjisinden tasarruf etmek hedeflenmiştir. 1978 yılında ilk düşük dayanımlı Low-e kaplamalı cam üretimi gerçekleştirilmiş, camın ısı geçirgenlik değerini düşürülmesi sağlanmıştır (Demir, 2011). 20. yüzyılın ikinci yarısında yaşanan cam işleme teknikleri ve metalürji alanındaki gelişmeler ile mühendislik tekniklerindeki gelişmeler sayesinde cam cepheli yapıların artışına neden olmuştur. Cam giydirme cephe sistemleri yapılarda tek başına kullanılabildiği gibi metal ve doğal taş gibi malzemeler ile beraber de kullanılmaktadır (Erdoğan, 2007).

Cam cephelerin özellikle yüksek yapılarda tercih edilmesinde; ağılığının az olması, estetik görüntüleri, imalatlarının ve montajlarının daha kolay olması, iklim koşullarına dayanıklılıkları sayılabilir. Yapılarda Isıtma, soğutma ve havalandırmanın için mekanik sistemlerin kullanılması ile binaların kullanım süreleri boyunca işletme maliyetlerinin ve ihtiyaç duyulan enerjinin artışına neden olmaktadır. Yapı kabuğu olarak camın ısı, günışığı ve gürültü denetimini etkili biçimde sağlayarak fiziksel ve kimyasal yıpranma, gibi her türlü çevresel etkilere karşı da yapıyı koruma görevi bulunmaktadır (Erturan, 2010).

Teknolojik gelişmeler sayesinde cam sektöründe ısı kayıpları ve kazançlarının kontrol edilebildiği, istenilen konfor şartlarını sağlayabilen camlar üretilmeye başlanmıştır. Şeffaf Cephelerin ısıl ve görsel konforuna etki eden özellikler Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. Şeffaf Cephelerin Isıl ve görsel konfora etkisi (Tablo Yeşilli, 2016 dan uyarlanmıştır).

Şeffaf Cephe	ISIL KONFOR	GÖRSEL KONFOR
	Bina yönelimi	Bina yönelimi
	Cam Katman Sayısı	Pencere özellikleri (Boyut-Konum-Şekil)
	Katmanlarının Kalınlığı	Cam Kalınlığı ve rengi
	Isı Transfer Katsayısı (U Değeri)	Görsel Geçirgenlik
	Görsel Geçirgenlik	Yansıtma
	Güneş Enerjisi Kazanım Katsayısı	

Giydirme cephe sistemlerinde kullanılan camın yüksek iletkenliği yanında düşük termal depolama özellikleri sebebiyle kullanımda bu yüzeylerde istenmeyen ısı kayıp ve kazançlarına neden olmaktadır. Bunun sonucunda yapay iklimlendirme sistemlerinin kullanımını gerektirmekte ve de binanın işletim maliyetleri artmaktadır. Yapılarda solar kazançlar, yüzeylerin şeffaflık oranına, bulunduğu yöne ve enerji geçirgenliklerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Binanın yönelimi, güneş ışınımından yararlanma oranını belirlemektedir. Bu sebeple güneş enerjisinden kazancını etkileyen tasarım parametrelerinin başında yer almaktadır. Solar kazançların kullanılabilir olması yapı elemanının ısı depolama kütlesine ve iklim koşulları ile birlikte ısıtma enerjisi ihtiyacına da bağlıdır. Yapının yöneliminin yaz aylarında özellikle ısıtma ve soğutma enerji ihtiyacı üzerinde önemi bulunmaktadır. Türkiye için güney cepheler diğer cephelere göre güneş

ışınlarından daha fazla enerji almaktadır, kuzey cepheler ise en düşük değere sahiptir. Yaz aylarında iç mekanlarda kullanıcı konforlu iklimlendirmeyi sağlayabilmek, optimum havalandırma ve beraberinde günışığını perdeleme gerektirmektedir. Bu sebeple pencere alanı oranı ve güneş kontrolü ve yansımayı engelleyebilmek adına gölgeleme elemanların tasarımı mekândaki konforu etkilemektedir (Erturan, 2010).

Cam yapı malzemesi olarak, yarattığı görsel sebebiyle kullanımı yaygın olarak devam ederken yaşanan sorunlara karşılık gelişim göstermeye devam etmektedir. Sürdürülebilirlik kaygılarıyla beraber cam üreticileri gerekli konfor şartlarını sağlayan akıllı camlar olarak sınıflandırılan aktif ya da pasif camların kullanımını geliştirmektedir. Bu camlar sayesinde ısı, ışık miktarına bağlı olarak renkleri ile yansıtma ya da geçirgenlik özellikleri değişebilen böylelikle ısı kayıp/ kazançlarını kontrol edilebilen hale gelmektedirler (Demir, 2011).

2.3.1.2 Opak cephe sistemleri

Cam dışında yüksek binalarda kullanılan cephe malzemeleri arasında metal malzemeler ve yaygın olarak alüminyum kompozit paneller yer almaktadır. Kompozit panel üretimi dünyada ilk olarak 1969 yılında Almanya'da başlamıştır. Panel sistemler, prefabrike modüller olarak üretilen giydirme cephe sistemleridir. Cephelerde metal malzeme kullanırken; kışın ısıtma, yazın soğutma maliyetlerinde tasarruf sağlaması açısından, bakım maliyetlerinin düşük olmasına, termal genleşmenin minimuma indirgemesi konusuna, ısı farkından oluşabilecek nem ve yoğuşmaya ve yoğuşma sonucu oluşan nemin kolay tahliye edebilmesine, fiziksel ve kimyasal etkilere dayanımına özelliklerine dikkat edilmesi gerekmektedir.

Yüksek yapı cephelerinde kullanım yeri bulan malzemelerden bir diğeri doğal taş malzemelerdir. Yapılarda cephe kullanımında tercih nedenleri, binlerce yıl rengini değiştirmeden kalabilmeleri, su emmemesi sayılabilir. Bunun yanında yapıya malzemelerin getireceği ağırlık, işleme ve kullanma sırasında yaşanacak zorluklar ise dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır (Erdoğan, 2007).

Yüksek yapı cephelerinde kullanılan bir diğer sistem de, bina taşıyıcı sistemine doğrudan monte edilerek kullanılan betonarme panellerin yan yana ve üst üste kullanımı ile

oluşturulmaktadır. Bünyesinde çimento bulunduran panellerin üretimi yerinde döküm veya ön yapım yöntemiyle gerçekleşmektedir. Panellere genellikle, betonun çekme mukavemetini arttırmak amacıyla donatılar eklenmektedir. Ayrıca dış etkenlerin iç ortama etkisini engellemek amacıyla, izolasyon malzemesi eklenmektedir (Bal, 2003).

Opak Cephelerin ısıl ve görsel konforuna etki eden özellikler Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Opak Cephelerin Isıl ve görsel konfora etkisi (Tablo Yeşilli,2016 dan uyarlanmıştır).

Opak Cephe	ISIL KONFOR	GÖRSEL KONFOR
	Cephe kaplamasının Özellikleri	Pencere Duvar Oranı
	Yalıtım Miktarı	
	Isı Dayanım Özellikleri	

Yüksek yapılarda cephe tasarımı enerji etkinliği, ısıtma ve soğutma enerjisinden tasarruf sağlanması yanında iç mekanlarda doğal aydınlatmadan yararlanma ve güneşin istenmeyen etkilerinden korunmak açısından önem taşımaktadır. Özellikle yüksek bir yapının kabuğunun yaklaşık olarak %90 ila 95'ini cephe yüzeyleri oluşturmaktadır. Bu nedenle yüksek yapılarda enerji tasarrufu ve enerji kayıplarına bakıldığında, cephe sisteminde seçilen malzeme ve uygulama detayları büyük önem taşımaktadır (Sev, Başarır, 2011).

2.4 Yüksek Yapılarda Enerji Etkin Cephe Tasarımı ve Enerji Performansına Etkisi

Enerji kullanımı modern toplumun gereksinimi ve vazgeçilmezidir. Günümüzde enerjiye olan ihtiyacın hızla artması beraberinde çevre sorunlarını getirmiştir. Nüfusun hızla artması ile artan barınma ve bina talepleri karşısında çözüm olarak yüksek binalara olan yönelim de artmıştır (Lotfabadi, 2014).

Yüksek yapıların kente olan etkileri ve çevreye olan yükleri büyük ölçekli olmaları, neredeyse bir köyün nüfusunu barındırıyor olmaları sebebiyle diğer yapılardan oldukça fazladır. Aynı zamanda yüksek yapılar ısıtma, soğutma, aydınlatma ve sirkülasyon sistemlerinde duyulan ihtiyaçlar sebebiyle yapımları esnasında ilk yatırım maliyetleri ve

sonrasında kullanım sırasında harcadıkları enerji sebebiyle diğer yapılardan oldukça yüksek maliyete sahip yapı türleridir. Günümüzde sayıları hızla artmakta olan yüksek yapılar enerji ihtiyacını azaltacak önlemler alınarak enerjiyi etkin kullanan sürdürülebilir mimarlık anlayışı ile tasarlanmaları gerekli hale gelmiştir (Hamidabad, Begeç, 2015).

Yerleşim yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde yüksek yapılar düşey yerleşim ile kentsel yayılmayı önleyerek maliyetleri düşürmektedir bu sebeple yüksek binaların ekonomik olarak sürdürülebilir olduğu söylenebilir. Buna karşılık özellikle inşaları sırasında çok fazla enerji harcamalarından dolayı yüksek yapıların kentsel sistemleri olumsuz etkilemeleri ve bu nedenle sürdürülebilir olmadığı da bir diğer görüştür. Şehir merkezlerinde yüksek arsa bedelleri, kısıtlı alanlardan daha etkin yararlanma gereksinimi, yapıların yükselmesini desteklemektedir (Çiftçi, Balyemez, 2019).

Yüksek yapıların avantajları;

-Tekrarlayan tip planları nedeniyle malzemeden tasarruf sağlamaları

-Sürdürülebilir malzemeler kullanarak enerji ve malzeme israfını azaltmak için daha fazla potansiyele sahiptirler.

-Yüksek binalar daha az yer kaplamaktadırlar

-Gün ışığı ve termal kütle kullanımında daha iyi performans gösterirler

-Bina içi dolaşımda kullanıcıların daha az enerji sarf etmesi (Lotfabadi, 2014).

Yüksek yapılar büyük ölçekleri ve çok fazla sayıda insan barındırmaları sebebiyle kente birçok dezavantaj getirmektedirler bunlar;

- Güneş ışığını engelleyerek sağlıksız ortamlar oluşmasına sebep olmaları,

-Kullanıcı yoğunluğu sebebiyle alt yapıya getirdikleri yükler

-Isıtma-soğutma-havalandırma, mekanik sirkülasyon ve yapay aydınlatma sistemleri ihtiyacı sebebiyle ilk yatırım maliyetlerinin yüksek oluşu

-Kentin siluet ve estetiğine olumsuz etkileri (Çiftçi, Balyemez, 2019).

Son yıllarda yüksek yapıların inşasındaki hızlı artış gözönüne alındığında, enerji ihtiyacı için önlem alınması ve enerji verimliliğinin sağlanabilmesi adına konfor, soğutma, ısıtma, havalandırma ve aydınlatma sistemleri mümkün olan en az enerji harcanmasına çalışılması gerekmektedir (Çiftçi, Balyemez, 2019).

Yüksek binaların ısıtılması, havalandırması, iklimlendirilmesi için enerjinin yaklaşık %70'ini, aydınlatmanın %20'sini, asansörlerin bakımının %10'unu gerektirdiği bilinmektedir (Zhigulina, Ponomarenko, 2018).

Yapı kabuğu kullanıcı konforu sağlamak açısından önemli görevler üstlenmektedir. Dış ortam koşullarında sürekli değişkenlik bulunmaktadır. Dış ortam koşulları mevsimlere ve gün içinde gökyüzünün açık yada kapalı oluşuna göre, hava sıcaklığı, güneşin geliş açısı, yağmur, rüzgar ile değişim göstermektedir. Değişken çevre koşulları ve buna bağlı kullanıcı ihtiyaçları karşısında cephenin değişmez özellik taşıması konfor şartlarının sağlanmasında enerji tüketiminin artmasına sebep olmaktadır. Değişen ortam koşullarına uyum sağlayan yapı kabuğu hem kullanıcı konforunun artmasına hem de enerjinin etkin kullanımına katkı sağlamaktadır (Gür, Aygün, 2009).

Enerji etkin cephe sistemleri özellikleri ve fonksiyonları için çeşitli literatürler taranarak ve derlenerek (Gündoğdu, 2020; Kızıltoprak,2019; Dikmen,2011) aşağıdaki sıralama oluşturulmuştur;

- Isı kontrolü ile birlikte ısı korunumu sağlanması (Termal konfor)

- Aydınlatmada gün ışığı kullanımı ile birlikte mevsime göre ısı kontrolü sağlanması (şeffaf yüzeylerin denetiminin sağlanması, gölgeleme elemanları kullanımı)

- Doğal havalandırma

- Gelişmiş enerji performansı ve enerji kazanımı için enerjiyi verimli kullanan donanımlar,

- Değişen kullanıcı gereksinimlerine cevap verecek geçirgenlik ve fiziksel özelliklerini değiştirerek adapte olabilmesi

- Kullanılan cephe sistemine entegre enerji üretimi sağlanması

- Temizlik ve bakım gereksinimini ve bunun için harcanacak enerjiyi en aza indirgemek

- Toksik madde içermeyen ve uzun ömürlü malzemelerin seçilmesi

Akıllı malzemelerin mimariye uygulanması ile ortam şartları ile mücadele eden yapı anlayışının yerini çevresel uyaranlara cevap vererek ortam şartlarına uyum sağlayan yapı anlayışına bırakmıştır. Akıllı malzemelerin kullanımı ile akıllılık kavramı oluşmuştur. Böylelikle bina cepheleri koruyucu yüzeyler olmalarının yanında, yapılarda enerji tüketimini ve iklim koşullarını kontrol eden yapıya kabuk oluşturan önemli elemanıdır. Bu sebeple cephe tasarımında malzemelerin teknoloji ve üretim süreçlerinin birbiri ile entegrasyonu sağlanmalıdır (Kızıltoprak, 2019).

3. YÜKSEK YAPI CEPHELERİNDE KULLANIM ALANLARINA GÖRE AKILLI MALZEMELER

Akıllı malzemeler, enerji etkin yapı tasarımında giderek artan çevre sorunlarına çözüm olabilecek imkanlar sunmakta, yapının kararlılığı ve çevrenin korunmasında kazanç sağlamaktadırlar. Akıllı malzemeler çok amaçlı olmanın yanı sıra mimariye yaratıcılık ve sürdürülebilirlik kazandırmak açısından halen çalışma ve araştırma aşamasındadırlar (Nihalani, Joshi, Meeruty, 2019).

2. bölümde akıllı malzemelerin sınıflandırılmasında bu alanda çalışan iki otoritenin sınıflandırması yer almaktadır. Bunlardan ilki Addington ve Schodek'in (2005) diğeri ise Axel Ritter (2007) dir. Tablo 7'de Addington ve Schodek ile Axel Ritter tarafından yapılan sınıflandırmanın karşılaştırması yapılmıştır.

Tablo 7. Addington ve Schodek (2005) Akıllı Malzemeler sınıflandırması ile Axel Ritter (2007) Akıllı Malzeme sınıflandırması karşılaştırması

Addington ve Schodek' e Göre Akıllı Malzeme Sınıflandırması	**Alex Ritter'e Göre Akıllı Malzeme Sınıflandırması**
Özellik Değiştiren Akıllı Malzemeler	
*Renk Değiştiren Akıllı Malzemeler *Faz Değiştiren Akıllı Malzemeler	*Şekil Değiştiren Akıllı Malzemeler *Renk ve Optik Değiştiren Akıllı Malzemeler *Adezyon Değiştiren Akıllı Malzemeler
Enerji Alışverişi Yapan Akıllı Malzemeler	
*Işık Yayan Akıllı Malzemeler *Enerji Alışverişi Yapan Akıllı Malzemeler *Şekil Hafızalı Alaşımlar ve Polimerler	*Işık Yayan Akıllı Malzemeler *Elektrik Üreten Akıllı Malzemeler *Faz Değiştiren Akıllı Malzemeler
Madde Alışverişi Yapan Akıllı Malzemeler	
	Madde Alışverişi Yapan Malzemeler (Gaz/ Su veya Parçacık Depolayan Malzemeler)

Addington ve Schodek akıllı malzemeleri sınıflandırırken malzemelerin içsel ve dışsal özellikleri ile malzemelerde meydana gelen değişimler üzerine sınıflandırma

yapmaktadır. Malzemelerin ayırt edilebilmeleri, malzemenin yapısal (içsel) ve dışsal özellikleri ile olmaktadır. Yapısal (içsel) özellikler malzemenin molekül yapısı, kimyasal bileşimi gibi özellikleri ile belirlenmektedir. Genel olarak bir malzemenin mekanik özellikleri, o malzemenin elastikliği ve dayanımını belirlerken, fiziksel özellikleri, iletkenlik, ısıl özellik, optik özellik, yoğunluğunu belirlemektedir. Kimyasal özellikleri ise çözünürlük, korozyon olarak kabul edilmektedir. Malzemenin dışsal özellikleri ise yansıtıcılık, optik özellik, geçirgenlik, akustik özellikleri olarak ifade edilmektedir. Malzemelerde meydana gelen özellik değişimleri malzemelere enerji girişi ile gerçekleşmektedir. Çoğu malzemede enerji girişi ile karşımıza çıkan özellik değişimi, akıllı malzemelerde tersine çevrilebilir olmaktadır. Akıllı malzemelerde değişimi meydana getiren etken ortadan kalktığında malzeme orijinal haline dönebilmektedir (Addington, Schodek, 2005).

Addington ve Schodek sınıflandırmasını yaparken çevredeki enerji ve uyaranların önemini vurgulamaktadır. Çevredeki enerji alanlarının malzemede dönüştürüldüğü mekanizma ile belirlenmektedir. Malzemenin moleküler yapısı veya mikro yapısı değişerek iç enerjisi etkileniyorsa uyaran malzemenin özelliklerinin değişimine sebep olmaktadır. Eğer mekanizma malzemenin enerji durumunu değiştirirse ve malzemede değişiklik olmazsa enerji alışverişi olduğu anlamına gelmektedir. Mekanizmalardaki farkın ayırt edilebilmesindeki yol şöyledir; malzeme giren enerjiyi emerek değişim gösteriyorsa özellik değişimi, eğer malzeme aynı kalarak enerji değişimine uğruyorsa enerji alışverişi söz konusudur. Bu yaklaşımdan yola çıkarak Addington ve Schodek akıllı malzemeleri özellik değişimi yapan akıllı malzemeler ve enerji alışverişi yapan akıllı malzemeler olarak 2 gruba ayırmaktadır (Addington, Schodek, 2005).

Axel Ritter ise akıllı malzemelerdeki değişiklikleri tetikleyen uyarıcıları ışık, uv ışığı, sıcaklık, basınç, elektrik alan, manyetik alan, kimyasal çevre gibi uyarıcılar olarak belirleyerek bu doğrultuda akıllı malzemeleri 3 gruba ayırmaktadır (Yağlı, 2019).

Sınıflandırmaların malzeme bazında alt başlıkları ile karşılaştırması ise Tablo 8'de verilmiştir. Tabloda yer alan akıllı malzemeler ile ilgili olarak incelemesi yapılan Addington ve Schodek (2005) ile Ritter (2007) akıllı malzemelerin sınıflandırmasında yer alan malzemelerin tamamını değil sadece kullanımda olan ve mimari alanda

uygulanabilirliği olan malzemeleri seçmiş olduklarını belirtmektedirler. Bu sebeple çalışma kapsamında aynı temel kaygı ile akıllı malzemelerin bina cephesinde kullanımı ve uygulanabilirliği olduğundan, akıllı malzemelerin bu amaca uygun olanları seçilecek ve detaylı olarak incelenecektir.

Tablo 8. Addington, Schodek (2005) ve Axel Ritter (2007) Akıllı malzemeler sınıflandırmasında yer alan Akıllı Malzemelerin karşılaştırması

Addington ve Schodek' e Göre Akıllı Malzeme Sınıflandırması	**Alex Ritter'e Göre Akıllı Malzeme Sınıflandırması**
Özellik Değiştiren Akıllı Malzemeler	
Renk Değiştiren Malzemeler	**Renk ve Optik Değiştiren Malzemeler**
Fotokromikler	Fotokromikler
Termokromikler	Termokromikler
Elektrokromikler	Elektrokromikler
Faz Değiştiren Malzemeler	**Şekil Değiştiren Malzemeler**
İletken Polimerler	Termostiriktif
Akıllı Jeller	Elektroaktif
–	**Adezyon Değiştiren Malzemeler**
	Fotoadezyon
Enerji Alışverişi Yapan Akıllı Malzemeler	
Işık Yayan Malzemeler	**Işık Yayan Malzemeler**
Fotolüminesans	Fotolüminesans
Elektrolüminesans	Elektrolüminesans
Lüminesans	
Enerji Alışverişi Yapan Malzemeler	**Elektrik Üreten Malzemeler**
Fotovoltaikler	Fotoelektrik
Ledler	Termoelektrik
Piezzoelektrik	Piezzoelektrik
Şekil Hafızalı Alaşımlar ve Polimerler	**Faz Değiştiren Akıllı Malzemeler**
Şekil Hafızalı Polimerler	Isı depolayan
Madde Alışverişi Yapan Akıllı Malzemeler	
–	Madde Alışverişi Yapan Malzemeler (Gaz/ Su veya Parçacık Depolayan Malzemeler)

3.1 Özellik Değiştiren Akıllı Malzemeler

Mimarlık alanında en fazla uygulama potansiyeline sahip olan akıllı malzeme sınıfı özellik değiştiren akıllı malzemelerdir.

Özellik değiştiren akıllı malzemeler, dış uyaranların etkisi ile şekil, renk, optik, dayanıklılık, sertlik, akışkanlık gibi bir veya daha fazla özellik değiştirebilen malzemelerdir (Ritter, 2007).

Çevresel koşullarında meydana gelen değişime tepki olarak kimyasal, mekanik, termal, optik veya elektriksel özellik ve/veya özelliklerinde değişime uğramaktadırlar. Bu sınıfa dâhil olan malzemeler çevresel bir değişiklik veya malzemeye doğrudan enerji girişi yoluyla değişime uğrayan termokromik, fotokromik gibi tüm renk değiştiren malzemelerdir (Addington, Schodek, 2005).

Değişimlerin meydana gelmesinde dışarıdan ayrıca bir kontrol sistemine gerek duymazlar. Enerji etkinliği açısından yapıda enerji tüketimini azaltmak, yapının yaşam süresini uzatmak, bakım giderlerini azaltmak gibi faydalar sağlamaktadır.

Özellik değiştiren malzemeler sınıfında renk ve optik değiştiren malzemeler dışında şekil değiştiren ve adezyon değiştiren malzemeler de yer almaktadır (Ritter, 2007).

3.1.1 Renk ve optik özellik değiştiren akıllı malzemeler

Axel Ritter'e göre renk ve optik değiştiren akıllı malzemeler, ışığın, sıcaklığın, sıkıştırmanın, elektriksel ya da manyetik alanın ve/veya kimyasal bir dış uyaranın etkisi ile bir veya birden çok uyarana tepki olarak renk veya optik özelliğinin geri dönüşebilir olarak değiştirebilen malzemelerdir (Ritter, 2007).

Addington ve Schodek ise renk değiştiren akıllı malzemeler (Kromikler) dış enerji kaynağında oluşan değişikliğin, bir malzemenin optik özelliklerinde emicilik, yansıma veya saçılma sonucu özellik değiştiren malzemelerden oluşur. Renk değiştiren malzemeler gerçekte renk değiştirmezler. Optik özelliklerini ısı, ışık ve kimyasallar karşısında değiştirirler ki bu genellikle renk değişimi olarak algılanır. Renk algımız hem dış etkenlere hem de yukarıda belirtildiği gibi iç etkenlere bağlı olmaktadır. Bu sebeple bu malzemeler basitçe renk değiştiren malzemeler olarak adlandırılmaktadır.

Malzemeler atomik yapılarında negatif yüklü iyonlar bulundurmaktadır. Işık malzemelerdeki negatif yüklü iyonlarla reaksiyona girer. Malzemenin kristal ve moleküler yapısına bağlı olarak, ışık malzemeden emilebilir, yansıyabilir ya da başka bir enerjiye dönüşebilir. Ortaya çıkan davranışı belirleyen bir malzemenin yüzeyinde ilk karşılaşılan moleküler yapıdır. Bu nedenle ilk tepkiyi yüzeydeki ince filmler, kaplama ya da boyalar vermektedir. Alt tabakalara göre üst yüzey daha belirleyici olmaktadır.

Temel olarak enerji girişi ile ışığın geldiği yüzeyde moleküler yapıda değişim meydana gelmektedir. Dış enerji çeşitli şekillerde (ışık ile ilişkili ısı veya radyan enerji gibi) olabilmektedir. Ancak her durumda malzemenin içyapısında da değişiklikler olmaktadır. Malzemenin soğurma veya yansıtma özelliklerini dolayısıyla da algılanan rengini etkilemektedir. Bu değişiklikler dış uyaranın ortadan kalmasından sonra orijinal durumuna geri dönmektedir (Addington, Schodek).

Renk değiştiren malzemeler sınıfında yer alan malzemeler özellik değişimine neden olan dış enerji ile tanımlanmaktadırlar. Renk değiştiren malzemeler uyaranlara göre aşağıda Tablo 9'da belirtildiği şekilde sıralanmaktadır.

Tablo 9. Akıllı malzemeler ve uyaranlar karşısındaki değişimleri (Addington, Schodek,2005).

Akıllı malzeme	Uyaran	Değişim
Fotokromikler	Radyasyon(Işık)	Renk Değişimi
Termokromikler	Sıcaklık farkı	Renk Değişimi
Elektrokromikler	Elektrik potansiyel farkı	Renk Değişimi
Mekanokromik	Deformasyon	Renk Değişimi
Kemokromik	Kimyasal konsantrasyon	Renk Değişimi
Sıvı kristaller	Elektrik potansiyel farkı	Renk Değişimi
Askıya alınmış parçacık	Elektrik potansiyel farkı	Renk Değişimi

3.1.1.1 Fotokromik akıllı malzemeler

Fotokromik etki ilk olarak 1899'da Markwald tarafından keşfedilmiştir. Markwald keşfinin fiziksel bir etki olduğunu düşündüğünden fototropi (phototropy) terimini kullanmıştır. Fotokromizm terimini ise 1950 yılında Hirshberg İsrail'de, Yunancadan türetmiş ve günümüzde kullanılmakta olan fotokromizm terimini önermiştir. Japon bilim adamları 2001 yılında Ulusal Gelişmiş Endüstri Bilimleri Enstitüsü'nde yapılan çalışmalarda gümüş iyonları ve nitrat bazlı fotokromik camı geliştirmişlerdir (Ritter, 2007).

Fotokromizm malzemenin UV ışığı ya da görünür ışık altında renk değişimidir. Bu değişimde genellikle malzeme renksiz durumdan renkli duruma dönüşüm meydana gelmekte ve bu dönüşüm tersinir olmaktadır.

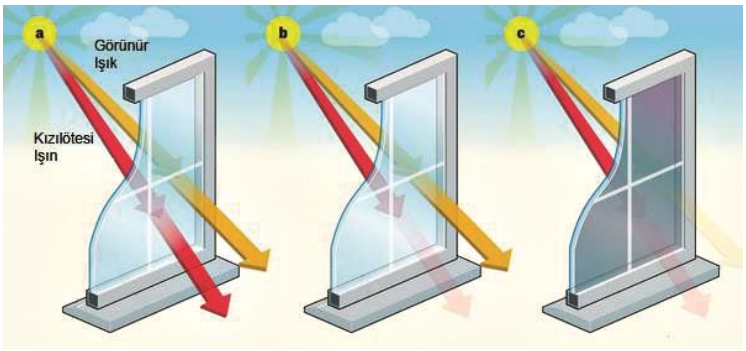
Renk değişim mekanizmaları arasında en yaygın olarak kullanılan fotokromizmdir. Dışarıdan başka bir enerji uygulamaya gerek olmadığından, ilave bir maliyet oluşmadan değişim meydana gelmektedir. Fotokromik etkiye sahip malzemelerin ticarileşerek birçok alanda kullanımında bu faktör etken olmaktadır. Aktivasyon radyasyonu için genel olarak UV(300-400 nm) iken, görünür ışık için (400-700 nm) bölgesinde fotokromik etki ortaya çıkmaktadır. Fotokromik malzemelerde ana ölçüt malzemenin tersinir reaksiyon ile ilk haline dönebilmesidir (Atay, 2012).

Fotokromik camlardaki renk değişimi camın yapısında fotokimyasal olarak kullanılan hassas gümüş, bakır ve kadmiyum halojenler ile gerçekleşmektedir. Fotokimyasal reaksiyonun daha hızlı olması için yaygın olarak gümüş halojen kullanılmaktadır. Gümüş halojenlerin veya diğer fotokimyasal aktif bileşenin yoğunluğu fotokromik camların tersinir reaksiyonuna etki etmektedir. Karbon bileşenli fotokromik malzemelerde cam yüzeyinde kümelenme meydana gelmediğinden, renk değişimi meydana getiren bileşenler jaluzi etkisi oluşturmaktadır. Bu sayede camlar hem güneş kontrolü sağlamakta hem de gün ışığından yararlanmaya devam etmeyi sağlamaktadır. Camlardaki renk değişimi dakikalar içerisinde başlayarak 15 dakika sonrasında güneş ışınımını %80 oranında bloke etmektedir (Yaşar, Pehlevan, Maçka, 2010).

Fotokromik camlarda fotokimyasal olarak kullanılan halojenler camın yapısında kullanılabildiği gibi, basit cam üzerine fotokromik kaplama tabakasından oluşturularak da kullanımı mümkündür (Ayvaz, 2019).

Fotokromik malzemelerin pigmentler halinde boya ile karıştırılması ile boya üretiminde kullanımına da imkân vermektedir. Bu şekilde üretilen boyaların, malzemelerin üretim sürecine dâhil edilmesi ile seramik, metal malzemelerde kullanımı mümkün olabileceği gibi, yüzeylerde kaplama olarak kullanımı da söz konusu olabilmektedir (Ferrara, Bengisu, 2014)

Fotokromik malzemeler yüzeyine gelen güneş ışınımı miktarına bağlı olarak renk ve şeffaflık değişimi göstermektedirler. Böylelikle gün ışığı geçirgenliğini minimuma indirgemektedirler. Şekil 15'de fotokromik camların çalışma prensibi görülmektedir.



Şekil 15. Fotokromik malzemelerin çalışma prensibi (yapidergisi.com)

Fotokromik malzemeler yapılarda çoğunlukla cam yüzeylerde uygulanmaktadır. Uygulama örneği Şekil 16 ve Şekil 17'de görülmektedir. Enerji tüketimini ve enerji maliyetlerini azaltmak amacıyla Fotokromik özellik taşıyan cam boyası ve cam kaplamaları kullanılarak, ışık kontrolü ve ısı kontrolü sağlanarak enerji tüketiminde azalma hedeflenmektedir.

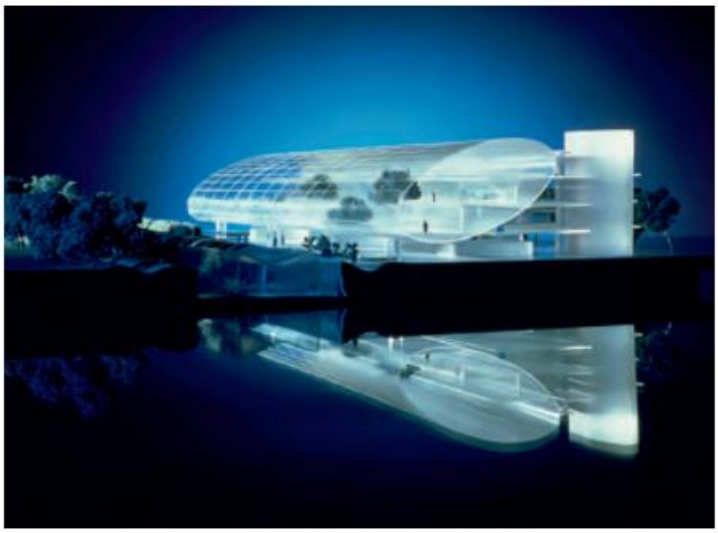


Şekil 16. Fotokromik cam uygulaması örneğinde şeffaf ve renk değişikliğine uğramış halinde görülmektedir (www.johndesmond.com)



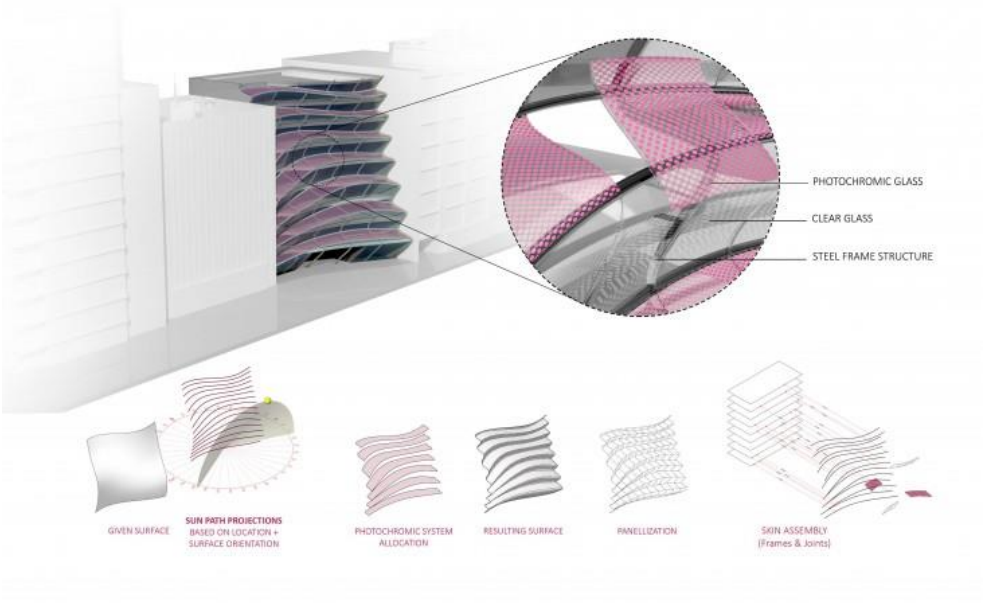
Şekil 17. Philly Ofis Binası Fotokromik cam uygulaması (glasspaint.com)

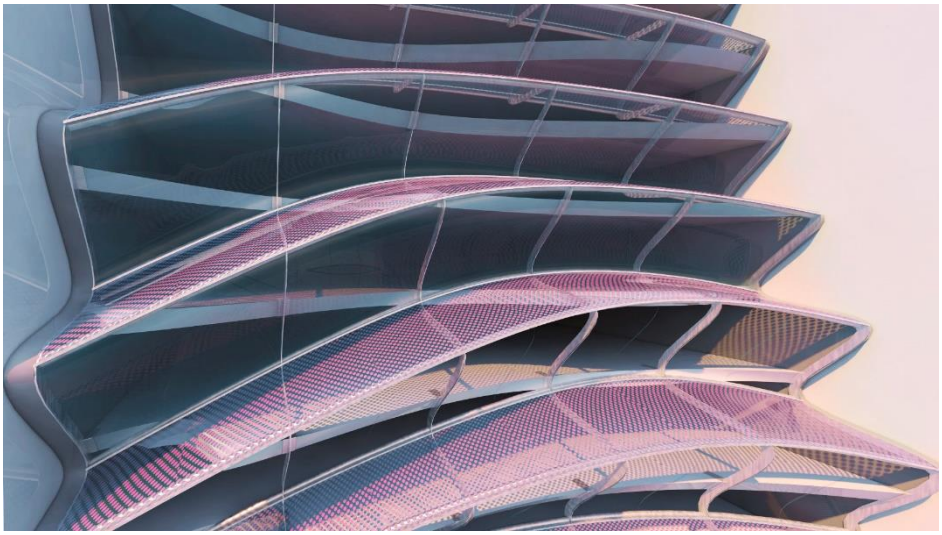
Şu anda bu sistemlerin bilinen büyük ölçekli kullanımları bulunmamaktadır. Bir bina kabuğunda fotokromik malzeme içeren ilk projeler arasında 1992 tasarım yarışmasına katılan Becker Gewers Kühn ve Kühn Architects'in Münih'teki Modern Sanat Müzesi'nde yer almaktadır. Şekil 18'de projeye ait görsel yer almaktadır. O zamandan beri, özellikle üniversitelerde, fotokromik malzeme içeren bir dizi başka uygulama önerilmiştir.(Ritter 2007).



Şekil 18. Becker Gewers Kühn ve Kühn Architects'in Münih'teki Modern Sanat Müzesi (Ritter 2007)

Fotokromik malzeme kullanımı ile ilgili çalışmalardan bir diğeri de 2014'de Katalonya İleri Mimari Enstitüsü'nde geliştirilen ve parametrik olarak yapılandırılmış cephe sistemlerinde pasif gölgeleme olarak Renk Değiştiren Malzemelerden olan Fotokromik Pigmentlerin uygulamasını ortaya çıkaran bir araştırma projesidir. Bu çalışmaya ait görseller Şekil 19' da yer almaktadır (materiability.com).





Şekil 19. Katalonya İleri Mimari Enstitüsü'nde geliştirilen Fotokromik Pigmentlerin uygulamasına yönelik proje görselleri (digitalmatter.io)

Fotokromik malzemeler ve camların kullanım avantajları;

- Mukavemetlerinin yüksek oluşu ve kimyasallara karşı dirençli olmaları,

-Yapı cephesinde güneş ışınlarının yoğun olduğu günlerde kamaşmayı önlemeleri,

- Yaz aylarında ısıyı önleyerek gereksiz soğutma yükünü azaltmaları sayılabilir.

Bunun yanı sıra dezavantajları;

- Camların ısı karşısında kararak kahverengi ve gri renklere dönüşmeleri sebebiyle görüntüde her zaman tercih edilmemeleri,

- Karardıklarında soğurucu hal almaları sebebiyle aşırı ısınma ile camlarda kırılmaların meydana gelmesi,

- Kışın ışınım fazla olduğunda da kararma oluşması sebebiyle iç mekânda ısı kazanımının düşmesi,

- Yüzeylerde ısıya farklı tepki süreleri sebebiyle homojen olmayan görünümlerin oluşması,

- Kullanıcı tarafından doğrudan kontrolün olmayışı,

- Uzun vadede davranışlarının belirsizliği,

- Yüksek üretim maliyeti,

Sebebiyle bina kabuğunda büyük ölçekli kullanımları bulunmamaktadır (Ayvaz 2019; Erkol, Sayın, 2021).

3.1.1.2 Termokromik akıllı malzemeler

Renk değişim mekanizmalarından olan termokromizm de tersinir renk değişimine neden olan etmen ısıdaki değişimlerdir (Atay, 2012).

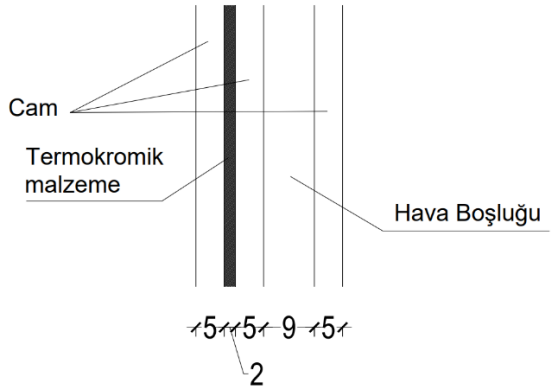
Termokromik malzemeler sıcaklığa tepki vererek, optik özelliklerinde (örneğin şeffaflık) geri dönüşümlü değişiklik gösteren malzemelerdir (Ritter, 2007). Sıvı kristal film versiyonları -30 °C ile 120 °C arasında değişecek şekilde formüle edilebilirler. Aynı zamanda küçük ısı değişimlerini algılayabilecek kadar da hassas olabilirler (Addington, Schodek, 2005).

1909 yılında kimyager Hans Meyer birtakım organik maddeler ile termokrom davranışı gözlemlemiştir. Sonrasında 1954 ve 1963 ise yayınlanan birkaç makalenin ardından 2003 yılında Almanya'da çeşitli plastikler ile birleştirilmiş termokromik kompozitler ile bir tür termotropik güneş koruması geliştirilmesi başarılmıştır (Ritter,2007).

Termokromik camlar ise optik özellik değiştirme özelliğine haiz olan termal aktif jelli katmanlardan oluşmaktadır. Katmandaki jeller farklı kırıcılıkta termokromik malzemelerden meydana gelmektedir. Düşük sıcaklıkta homojen ve şeffaf yapıdaki bu tür malzemeler, sıcaklığın etkisi ile çok küçük parçalara ayrılırlar. Sıcaklığın düşmesi ile de tekrar homojen hallerine dönmektedirler (Yaşar, Pehlevan, Maçka, 2010).

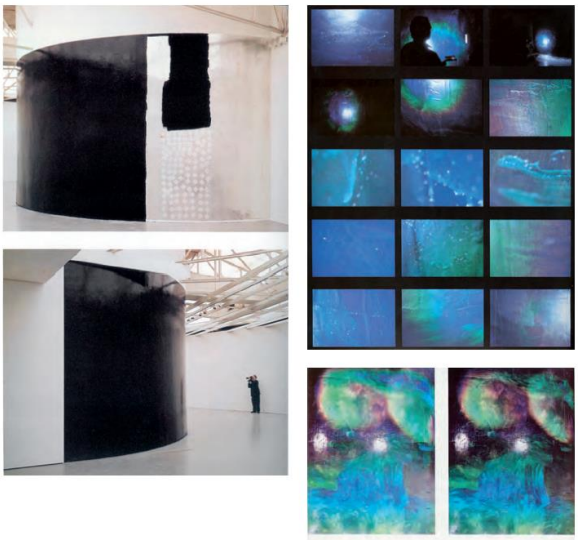
Termokromik camlarda meydana gelen değişim de, fotokromik camlarda meydana gelen değişim gibi insan müdahalesi olmadan pasif olarak gerçekleşmektedir. Termokromik camlarda ara katmanı oluşturan katmanlar; demir, bakır, krom ve kobalt gibi metallerden oluşturulan polimerik termokromik malzemeler olabileceği gibi, hidrojelli ara katmanlardan da meydana gelmektedir. Hidrojelli sistemlerde sıcaklıklar donma noktasına ulaştığında içeriğinde bulunan su sebebiyle cam arasındaki boşlukta sızıntılar meydana gelmektedir. Bu sebeple hidrojelli sistemlerde önlem alınmasını

gerektirmesidir. Buna karşılık plastik termokromik tabakalar yani polimer karışımlarda bu problemler önlenebildiğinden avantajlı olmakta ve daha çok tercih edilmektedirler (Yaşar vd,2010). Termo kromik camları oluşturan katmanların gösterimi şekil 20'de verilmiştir. Termokromik kaplama malzemesi olarak en yaygın kullanılan malzeme, vadium dioksit (VO2) esaslı malzemelerdir (Erkol, Sayın, 2021).



Şekil 20. Termokromik cam kesiti (Yao, Zhu,2012) 'den uyarlanmıştır.

Termokromik camların yanı sıra mimari tasarımda kullanılan akıllı malzemeler arasında termokromik plastikler ve pigmentlerde yer almaktadır (Ritter, 2007). Mimari uygulamalarda termokromik malzemeler ilk olarak 1988'de Paris'te duvar boyası olarak kullanılmıştır. Uygulanan duvarda üç farklı sıcaklık aralığında renk değiştiren üç farklı tipte sıvı kristalin kullanılmaktadır. Böylece üzerine düşen güneş ışığına farklı tepki vererek güneşin izlediği günlük yolu göstermeyi amaçlamaktadır. Bu çalışmaya ait duvar görseli Şekil 21' de verilmiştir. Ancak güneş ışığı planlandığı gibi ulaşmayı başaramadığından, duvarın nasıl çalıştığını göstermek için bir kızıl ötesi lamba yerleştirilmiştir (Ritter,2007).



Şekil 21. Wall installation | Musée d'Art Moderne de la Ville de Paris, ARC, Paris, France 1988 (Ritter, 2007)

Mimar ve aynı zamanda tasarımcı olan J. Mayer H., çeşitli uluslararası sergilerde termokromik boyalar içeren eserler sergilemiştir (Ritter, 2007).

Mimari termokromik cam uygulamalarından bir diğeri Wyoming, ABD'de Glasswork PTY LTD Ofis Binasındadır. Bu binaya ait görsel Şekil 22'de bulunmaktadır. Termokromik cam kullanımı ile ısı kontrolü sağlanmıştır (Ayvaz, 2019). Firma tarafından yapılan raporlamada 42,5 santigrat derece olan dış ortam sıcaklığının öğleden sonra 15:30'da 77,3'e yükseldiğini ve iç cam sıcaklığının 33,5'ta kalmasını sağladığını göstermiştir (www.glassworksaust.com).



Şekil 22. Glassworks ofisi (www.glassworksaust.com)

Termokromik cam kullanılan diğer bir yapı ise Hope Koleji Jack H. Miller Müzik Sanatları Merkezidir (Ayvaz, 2019). Bina ayrıca 2017 yılında LEED sertifikası almıştır (www.usgbcwm.org). Binaya ait görsel Şekil 23'te yer almaktadır.



Şekil 23. Hope Koleji Müzik Sanatları Merkezi (spaces4learning.com)

Işık iletim davranışlarını tersine çevrilebilir şekilde değiştiren termotropik malzemeler, bina kabuğunun enerji performansının iyileştirilmesi, bina enerji verimliliğini artırma açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Termotropik malzemelerin performansını araştırmak için gerçekleştirilen simülasyonların sonucunda, termotropik çift camlı pencerelerin, çift camlı pencereler ve renklendirilmiş çift camlı pencereler ile kıyaslandığında, batıya bakan mekanlarda iç mekan termal çevre koşullarını sırasıyla %70 ve %53 oranında azaltabildiğini göstermektedir. Ayrıca, batıya bakan mekanların çift camlı pencerelere kıyasla soğutma elektrik ihtiyacını %19 oranında azaltabildiği görülmüştür(Yao, Zhu, 2012).

Termokromik camların kullanımındaki avantajları,

- Aşırı ısıyı kısmen kontrol ederek, ısı kazancı sağlamak (Erkol, Sayın 2021).

- Herhangi bir insan etkisi veya sensöre ihtiyaç duymadan gün ışığının ısıl etkisi ile ışık geçirgenliğinin azaltmak

- Görünebilir geçirgenliğinin değişmemesi sebebiyle doğal aydınlatma sağlamaya devem etmesi (Yaşar vd, 2010)

- Kışın cephede ısı transferinde %15 ila %30 arasında azalım sağlamanın yanında, yazın %30-40 arasında enerji kazanımında artış sağlamaları (Ayvaz, 2019)

Bunun yanı sıra dezavantajları da bulunmaktadır;

- Uygulamada genellikle 3 tabakalı cam uygulaması tercih edilmesi sebebiyle sistemin ağırlaşması,

- Cam yüzeyine gölge vurması durumunda sıcaklık farkından kaynaklı olarak görünümünde meydana gelen homojen olmayan renk dağılımının estetik açıdan tercih edilmemesi (Ayvaz, 2019),

- Boya olarak kullanımlarında ise UV dalga boylarına uzun saatler boyunca maruz kalmaları sonucunda malzemede bozulma ve renk değişim özelliğinin kaybolması söz konusu olmaktadır (Kızıltoprak, 2019),

- Ekipmanların ve süreçlerin pahalılığı ise en büyük dezavantajlardan birisidir (Açıksarı, Karasu, 2018),

Bu sebeplerle kullanımlarının yaygınlaşması için sorunlara çözüm aranarak çalışmalara devam edilmektedir.

3.1.1.3 Elektrokromik akıllı malzemeler

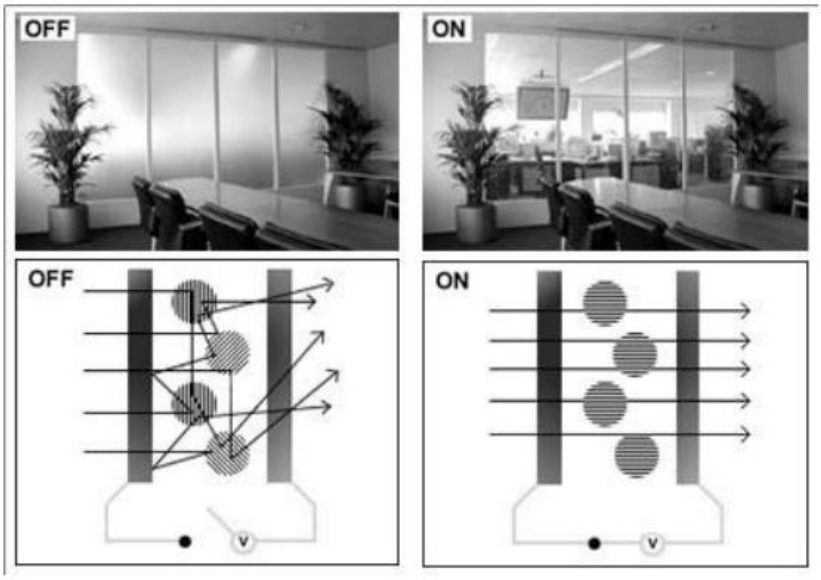
Elektrokromizm, bir elektrik akımı veya potansiyelinin uygulanması ile malzemelerde meydana gelen tersine çevrilebilir renk değişimi olarak tanımlanmaktadır. Örnek olarak elektrokromik pencere elektronik olarak kararmakta veya açılmaktadır. Bu değişim küçük bir voltaj uygulanması ile cam malzemesinin kararmasına ve voltajın tersine çevrilmesi ile de cam eski haline geri dönmesini sağlamaktadır.

Elektrokromik malzemeler bilimsel tarihi eskilere dayanmaktadır. 1704 yılında Diesbatch, elektrokromiklerin iyon içeriğinin miktarının değişimiyle mavi renkten saydam hale geçebilen Prusya mavisini keşfetmesi ile başlamıştır. S.K. Deb tarafından, 1969 ve 1973 yıllarında yapılan çalışmalar sayesinde modern elektrokromizm prensipleri yayınlanmıştır (Ritter, 2007). 1990'lı yıllarda birçok firma tarafından elektrokromik cam üretilmeye başlanmıştır (Pehlivan, Tepehan, 2007).

Elektrikle etkinleştirildiğinde renk değiştiren üç ana malzeme sınıfı vardır: elektrokromik, likit kristal malzemeler(LCD) ve asılı parçacıklar (suspended particle

devices - SPD). Bu teknolojiler tek bileşenli malzemeler değildir, birlikte çalışan farklı malzemelerin çok katmanlı montajlarından oluşur(Addington, Schodek 2005).

Likit kristalli camların çalışma ilkesi iki cam yüzey arasına yerleştirilen sıvı kristallerin hareketi ile saydamlık oranının değişimidir. Likit kristalli camların çalışma ilkesi Şekil 24'te gösterilmektedir. Elektrik akımı uygulanmadığı durumda buzlu gibi görünürler. Enerji verildiği sürece transparan kalabilmektedirler bu özellikleri dezavantaj oluşturmaktadır. Görsel geçirgenlik katsayısı 0.50- 0.80 arasında olup, Isı kazanç katsayısı ise 0.55-0.69 aralığındadır. Çeşitli renk alternatifleri ile satılmaktadırlar. Cam boyutları 110 cm. ile 285 cm. arasında üretilebilmektedir. Asılı partiküllü (suspended particle device) camlarda, dağınık halde bulunan partiküller film tabakasına elektrik ilettiklerinde partikülleri ayarlar ve camın şeffaflığı artmaya başlar (Kızıltoprak, 2019).



Şekil 24. Likit kristalli camların çalışma ilkesi (Kızıltoprak ,2019)

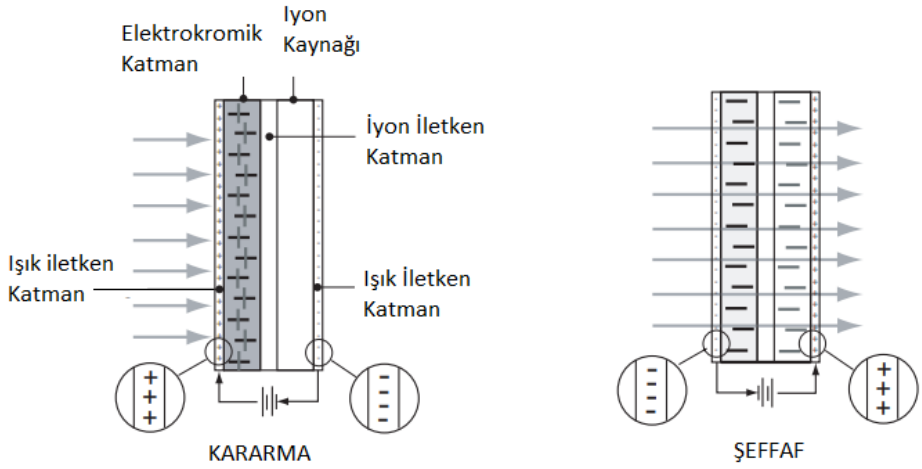
Asılı partiküllü (SPD) ve sıvı kristal sistemler (LCD), hızlı bir şekilde geçiş yapabilmektedirler. Ancak hem SPD 'nin hem de LCD'nin çalışması için yüksek voltaj gerekmektedir. Cephede kullanımında yüksek üretim maliyeti, karmaşık imalat, sınırlı renk ve karmaşık kurulum dezavantajları olarak sayılabilir (Pahlavan,2011).

İnorganik Elektrokromik malzemeler (WO3): İlk olarak 1969'da Deb tarafından tanıtılan bu malzemeler, elektrokimyasal oksidasyon ve indirgeme nedeniyle uygulanan bir

potansiyele maruz kaldıklarında renklerini değiştirebilirler. Geçtiğimiz yıllarda, çoğu araştırma, WO3 gibi inorganik elektrokromik malzemelere odaklanmış olmakla birlikte tepki sürelerinin uzun olması ve yüksek maliyetleri dezavantaj olarak görülmektedir(Pahlavan, 2011).

Elektrokromik polimerler (EC) ise diğer malzemelerle karşılaştırıldığında, en umut verici geleceğe sahiptir. Elektrokromik polimer tabanlı sistemler (ECD) avantajları, sadece çalışma esnasında güç gerektirmeleri ve düşük voltaj ile çalışarak daha az enerji tüketmeleri ile daha hızlı tepki süreleri, renk çeşitliliği sayılabilir(Pahlavan, 2011).

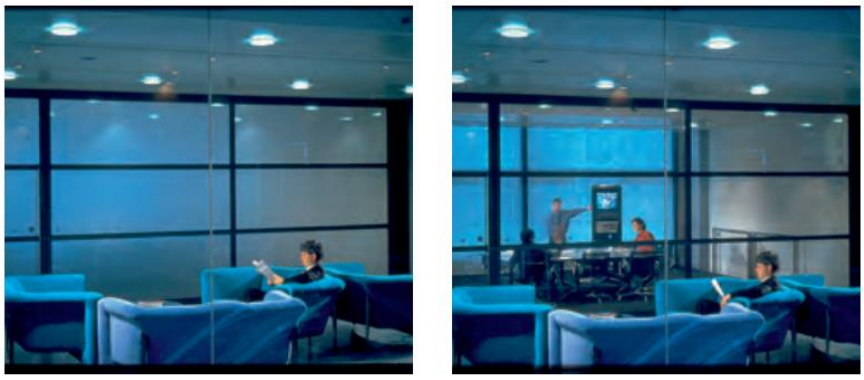
Elektrokromik malzemedeki renk değişimi, oksidasyon-indirgeme yoluyla malzemenin yüzeyinde kimyasal olarak indüklenen moleküler değişimden kaynaklanmaktadır. Bunun için farklı uçlara hizmet eden farklı malzeme katmanları kullanılır. Kısaca, hidrojen veya lityum iyonları, bir iyon depolama katmanından, iyon ileten katman aracılığıyla taşınır ve elektrokromik katmana enjekte edilir. Cam düzeneklerde, elektrokromik tabaka genellikle tungsten oksittir (WO3). Voltaj uygulanması ile hidrojen veya lityum iyonlarını depolama katmanından iletken katman boyunca ve elektrokromik katmana yönlendirir, böylece elektrokromik katmanın optik özelliklerini değiştirir ve belirli görünür ışık dalga boylarını emmesi sağlanmış olur. Bu durumda, cam kararır. Gerilimin tersine çevrilmesi, iyonları elektrokromik katmandan zıt yönde (iletken katmandan depolama katmanına doğru) uzaklaştırır, böylece camın renginin açılması sağlanmış olur. İşlem nispeten yavaştır ve sabit bir akım gerektirmektedir. Elektrokromik bileşeni oluşturan katmanlar oldukça ince olabilmekte ve geleneksel cam malzemeleri arasında kolayca uygulanabilmektedir. Şekil 25'te elektrokromik camın katmanları görülmektedir. Yaygın uygulamada, elektrokromik pencerelerin şeffaflığı ve renk tonu elektrik ile kontrol edilebilmektedir. Ancak, pencerenin karanlık durumda kalması için voltajın açık kalması gerektiğinden, bu durum dezavantaj getirmektedir (Addington, Schodek, 2005).



Şekil 25. Elektrokromik camlarda katmanlar (Addington, Schodek, 2005)

Elektrokromik camlar pasif sistemlere göre daha iyi eşzamanlılık göstermektedirler. Ayrıca renkli ve saydam istenen düzeyde ayarlanabiliyor olması, bütünsel değil parçalı değişim imkânına sahip olmaları avantaj olarak sayılmaktadır.

Elektrokromik camların kullanım örneklerine Şekil 26'da ve Şekil 27'de yer verilmiştir.



Şekil 26. Elektrokromik camlara örnek (Ritter, 2007)

Şekil 27'de yer alan görsel ise Tokyo'nun Ginza bölgesinde yer alan Chanel prestij yapısında; gündüz gün ışığını kullanımına izin veren, geceleri ise tamamıyla bir medya ekranına dönüşen elektro-optik cam ve LED sistemleri kullanılarak tasarlanmıştır. Yapı kabuğu üç katmanlı yapıya sahiptir. Yapı kabuğunun dış katmanı güneş kontrolü işlevini

gerçekleştiren baklava biçimli petekli çelik strüktüre montajlanan çift tabakalı, gri, lamine camdır. Aradaki katman elektro-optik cam özellikli katman bulunmaktadır. Yapı kabuğunun iç katmanı ise içerisine çift sıra beyaz LEDler entegre edilmiş çift çerçeveli lamine güvenlik camından oluşmaktadır. Katmanlı yapıya sahip cephe gündüz elektro-optik cam katmanı saydam durumda bırakılarak bütün cephe şeffaf konumdadır. Bu durumda iken cephe güneş kontrolü sağlamakta fakat görüşü kısıtlamamaktadır. Gece ise elektro-optik cam opak hale dönüştürülerek, bilgisayar kontrollü LED katmanı aktif hale geçmekte ve cephe 910 m2 lik bir medya ekranına dönüşmektedir.



Şekil 27. Chanel'in 2004 yılında Tokyo'nda yapımı tamamlanan bina cephesinde eletrokromik cam kullanılmıştır (Ritter, 2007).

Fotokromik, termokromik ve elektrokromik sistemlerin üçünün de dezavantajı; geçişi durdurma ve başlatmadaki yetersizlikleri sayılabilir. Çevresel tepkinin iç ortam ihtiyacı ile uyumlu olmadığı pek çok durum bulunmaktadır. Işık, ısı ve manzara gibi camın özelliklerinin, çevresel faktörler ile tepkisinde istenen tepkiler ile örtüşme oluşmamaktadır. Örneğin ışık ihtiyacını karşılarken aynı zamanda ısıl etkiden korunma ihtiyacının doğması ya da ısıl etkiden korunurken ışığın iç mekânda yetersiz kalması gibi. İhtiyaçlar ile çelişen davranışların kontrolünde elektrikle etkinleştirme mümkün kılınırken daha gelişmiş altyapı gereksinimi ortaya çıkmaktadır. Sistemden verimli olarak yararlanabilmek adına ilave kontrol sistemleri ve sensörler kullanılmalıdır. Örneğin yapay ve doğal aydınlatma dengesi için ışık sensörleri, ısıyı dengelemek adına yapay aydınlatma arttırılırken cam yüzeyde daha az geçirgenlik sağlayacak sensörler ile

alternatif kullanımlar yaratarak enerji tasarrufu sağlanabilir. Bu şekilde akıllı malzemelerin sınırlarını zorlamak mümkün olabilecektir (Addington, Schodek, 2005).

Tüm bu bilgiler ışığında aşağıda Tablo 10'da Renk ve optik değiştiren akıllı malzemeler özetlenmiştir. (Tablo Kızıltoprak, 2019 ve Erkol, Sayın, 2021 dan derlenmiştir).

Tablo 10. Renk ve Optik Değiştiren Akıllı Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları

Akıllı Malzeme Sınıfı		Akıllı Malzeme	Dış Uyaran	Yapıda Uygulama Alanı	Avantajları	Dezavantajları	Açıklama
Özellik Değiştiren Akıllı Malzemeler	Renk ve Optik Değiştiren Malzemeler	Fotokromik Malzemeler	Işık	Pasif güneş kontrollü cephe sistemleri	*Farklı renk seçeneğine sahiptirler *Kimyasallara karşı dirençlidirler *Soğutma ve Isıtma yüklerinin büyük ölçüde azaltılmasını sağlarlar	*Kontrol yetersizliği *Kışın ışınımın yüksek olduğu zamanlar kararak, iç mekânda ısı kazanımını düşürmesine neden olurlar *Tepki süresindeki farklılıklar sebebiyle homojen olmayan dağılımlar göstermektedirler. *Koyu renk alması sebebiyle aydınlatma ihtiyacının artmasına sebep olurlar.	Fotokromik camlar ışık etkisi ile koyulaştığından soğutma için harcanan enerjiden sağladığı tasarruf ısıtma ve aydınlatma enerjisinden sağlanan tasarrufa olan katkısından daha fazladır. Bunun nedeni cam koyulaştığında, ısı ile birlikte günışığı geçişi de azaltmaktadır. Bu sebeple ısıtma ve aydınlatma sitemine duyulan ihtiyaç artmaktadır.
		Termokromik Malzemeler	Sıcaklık	Pasif güneş kontrollü cephe sistemleri	*Akıllı boyalarda kullanılabilmektedirler *Maliyetinin nispeten düşüktür.	*Kontrol yetersizliği *Kışın sıcaklığın azaldığı durumda iç mekânın aşırı ısınmasına neden olurlar *Yaz aylarında kritik sıcaklık değerinin artmasına bağlı olarak camın opaklaşması ve yapay aydınlatma ihtiyacının artmaktadır. *Cama gölge vurması sebebiyle camda homojen olmayan dağılımların oluşabilmektedir. *Renk değiştirme yeteneğinin zaman içinde azalmaktadır.	Termokromik camlar ısıya duyarlı olduklarından fotokromik cama göre daha fazla soğutma enerjisi tasarrufu sağlamaktadırlar.Ayrıca cam üzerinde biriken ısıyı fotovoltaik katmanlar aracılığı ile enerjiye dönüştürebilecek sistemlerle entegre edilmeleri halinde enerji tasarrufu anlamında daha da yararlı hale geleceklerdir.

		Elektrokromik Malzemeler	Elektrik	Aktif güneş kontrollü cephe sistemleri	*Aktive etmek için 1-5 volt gibi küçük bir voltajın yeterli olmaktadır. *Değişik ihtiyaç ve istekler doğrultusunda katmanlarının belirlenebilmektedir. *Metal oksit seçeneğine bağlı olarak çeşitli renklerde üretilebilmektedir. *Kusursuz bir eşdağılımlılık gösterme potansiyeline sahiptirler. *Geniş ışık geçirgenlik aralığı sunmaktadırlar *Sadece anahtarlama sırasında güç gerektirmektedirler *Uzun vadeli hafızaya sahiptirler.	*Yüzey alanı arttıkça elektrik alanın azalmaktadır. Bu nedenle yüzey alanı büyüdükçe performansında düşüşler meydana gelmektedir. *Yüksek maliyete sahiptir.	Elektrokromik camlar diğer sistemlere göre daha avantajlıdır. Ayrıca isteğe göre ayarlanabilir olması ve otomasyon sistemiyle tam kontrolünün sağlanabilmesi avantaj sağlamaktadır. Bakım gereksiniminin fazla olması, yüzey alanı büyüdükçe elektrik alanın azalması ve yüksek maliyetli oluşları dezavantajıdır.

3.1.2 Şekil hafızalı akıllı malzemeler

Şekil değiştiren akıllı malzemeler, dış etkenler olan, ışık, sıcaklık, basınç, elektrik veya manyetik alan veya kimyasal bir etki yoluyla bir veya daha çok uyarana tepki olarak şekillerini ve/veya boyutlarını tersine çevirebilen malzemeleri içermektedir.

Bunlar arasında boyutları değişmeden şeklini değiştirebilen malzeme ve ürünler ile şeklini koruyan ancak boyutlarını değiştiren diğer malzeme ve ürünler bulunmaktadır. Bazıları aynı anda her iki parametreyi de değiştirebilir. Bu akıllı malzemelerin doğal özellikleri, deformasyonlarının ardındaki farklı ilkelere bağlıdır. Hassas bileşenlerin dağılımına ve düzenine ve temel bir geometrik şekle bağlı olarak, tüm boyutlarda eşit veya eşit olmayan ölçüde değişiklikler meydana gelebilir (Ritter, 2007).

Axel Ritter' in yaptığı sınıflandırmada özellik değiştiren akıllı malzemeler başlığı altında şekil değiştiren malzemeler yer almaktadır. Şekil değiştiren akıllı malzemeleri ise Ritter tepki verdikleri uyarana göre gruplamaktadır. Addington ve Schodek ise şekil değiştiren akıllı malzemeleri özel olarak sınıflandırmamaktadır. Ritter' in uyaranlara göre yaptığı sınıflandırma Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11. Şekil değiştiren akıllı malzemelerin Ritter' e göre sınıflandırılması (Yağlı, 2019)

Ritter' e göre Şekil Değiştiren Akıllı Malzemeler	
AKILLI MALZEME	UYARAN
Termostriktif Akıllı Malzemeler	Sıcaklık (Termal Enerji)
Elektroaktif Akıllı Malzemeler	Elektrik alan (Elektrik Enerjisi)
Piezoelektrik Akıllı Malzemeler	Basınç ve Gerginlik (Mekanik Enerji)
Fotostriktif Akıllı Malzemeler	Işık (Elektromanyetik Enerji)
Kemostriktif Akıllı Malzemeler	Kimyasal Çevre (Kimyasal Enerji)
Manyetostriktif Akıllı Malzemeler	Manyetik Alan (Manyetik Enerji)

Bu bölümde Şekil hafızalı akıllı malzemelerden mimari alanda kullanımı en yaygın ve ilgi gören termostriktif ve elektroaktif malzemeler ele alınmıştır.

3.1.2.1 Termostriktif akıllı malzemeler

Termostriktif akıllı malzemeler, şekillerini ve/veya boyutlarını tersine çevirerek ortam sıcaklığı değişikliklerine tepki vermelerini sağlayan doğal özelliklere sahiptirler. Sıcaklık değişiklikleri, malzeme yüzeyi aracılığıyla doğal çevreyi sürekli olarak algıladığı ayarladığı pasif bir etkiye sahiptirler. Ayrıca aktif bir etkiye de sahip olabilmektedirler. Aktif ısıtma, bir elektrik alanının uygulanmasıyla doğrudan olabileceği gibi, ısı iletimi veya radyasyon yoluyla dolaylı ısıtma şeklinde de olabilmektedir (Ritter, 2007).

Ritter termostriktif malzemeleri termal genişleyen (Termal Expansion Materials-TEM), Termobimetaller (TB), Şekil Hafızalı Alaşımları (Shape Memory Alloys-SMA) olarak sınıflandırmaktadır. Addigton, Schodek ise Şekil Hafızalı Alaşımları (Shape Memory Alloys-SMA) malzemeleri Enerji alışverişi yapan malzemeler kategorisinde ele almaktadır. Bu çalışma kapsamında Şekil Hafızalı Alaşım ve Polimerler Enerji alışverişi yapan akıllı malzemeler incelenirken ele alınacaktır.

Termometreler, gaz ve sıvı genişleyen malzemelerin ilk uygulamalarından biridir. 1874'te Amerikalı Henry S. Parmalee tarafından icat edilen sprinkler sistemi, ilk olarak ısıl yük altında eriyen ve söndürme suyunun salınmasını tetikleyen eriyebilir bağlantılar kullanmıştır. Şekil 28'de ampullü springler başlıkları görülmektedir. Sonrasında bu görev için termal olarak hassas genişleyen malzemeler içeren cam ampuller geliştirilmiştir (Ritter, 2007).

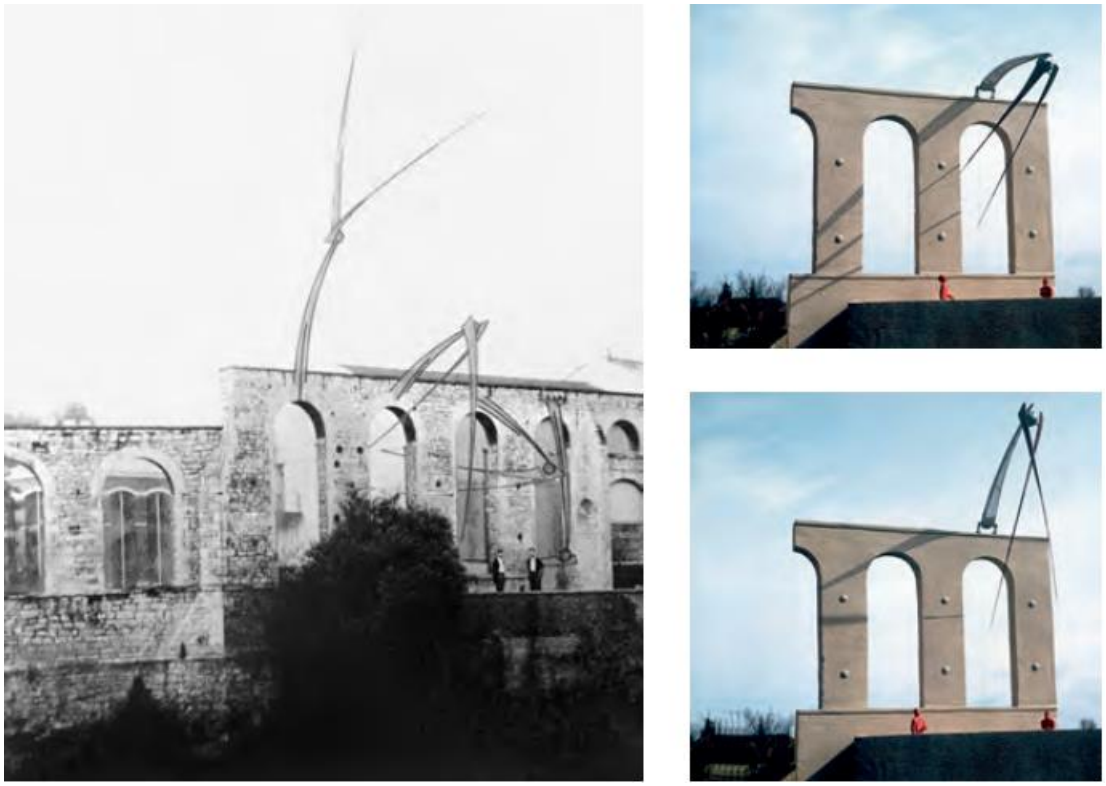


Şekil 28. Renkli termal olarak hassas genişleyen malzemelerle dolu sprinkler ampulleri (Ritter, 2007).

Günümüzde hala sprinkler sistemlerinde genişleyen akıllı malzemeler bileşen olarak kullanılmaktadır. Genişleyen akıllı malzemeler mekan havalandırma sistemlerinin yanı sıra seralar ve bina cephelerinde kullanılmaktadır. Kapalı mekanların havalandırılmasında belirli sıcaklık değerlerinde otomatik olarak açma/kapama şeklinde devreye giren havalandırma üniteleri bulunmaktadır. Bu üniteler çatıda veya bina cephelerinde yer alan özel havalandırma elemanları olarak tasarlanabilmektedirler (Ritter, 2007).

Işığa ve ısıya duyarlı EM kullanıldığı iki proje çalışması bulunmaktadır. 1996 yılında İskoçya'da İskoç sanatçı Peter Linnett ve mimar Toby Blunt tarafından Bath Festivali için tasarlanan Self Constructing Tower bunlardan biridir. Termohidrolik aktüatörler olarak tanımlanan genleşen akıllı malzemeler Avon Nehri kıyısında metruk bir deponun kemerlerine yerleştirilerek, rüzgâra, güneşe, hava sıcaklığına ve su seviyesine göre aynı bir çiçek gibi açılır veya kapanır olarak tasarlanmıştır. 6m uzunluğundaki aerofoil elemanın her biri, sıcaklığa duyarlı çalıştırma işlemleri aracılığıyla konumunu değiştirecek şekilde planlanmıştır. Ilıman günlerde yapı 15 m yüksekliğe kadar açılırken, soğuk gecelerde veya kötü havalarda pencere kemerine geri çekilmesi planlanmıştı.

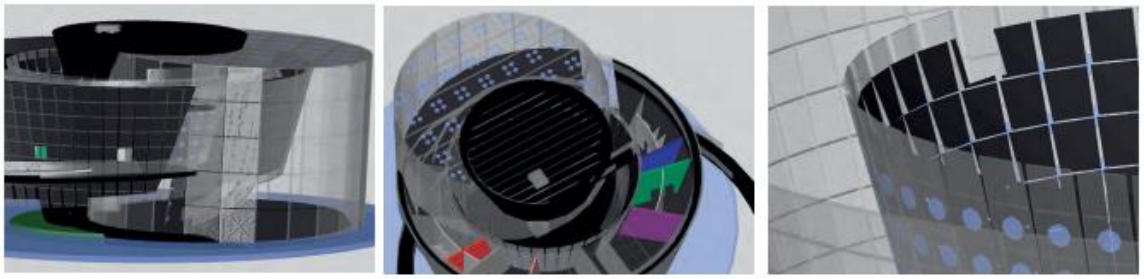
Güvenlik nedeniyle, yapının çevresinde en az 20 m'lik bir açık alan gerektirmekteydi. Çalışmanın görsellerine Şekil 29'da yer verilmiştir (Ritter, 2007).



Şekil 29. Self Constructing Tower, 6m uzunluğundaki aerofoil elemanlar (Ritter, 2007)

Işığa ve ısıya duyarlı EM kullanıldığı ikinci proje ise, 2004 yılında Almanya'nın Hinzert kentinde düzenlenen mimari proje yarışmasıdır. Proje eski toplanma kampı alanına yeni bir dökümantasyon ve toplantı merkezini kapsamaktadır. Hazırlanan proje tasarımı birbirini kucaklayan, bazıları konik olarak sivrilen ve açılı olarak kesilen dört halkadan oluşmaktadır. Dıştaki iki halka, kütüphane ve konferans odasını içerirken, bir diğeri iki sergi alanı yaratmak için halkaların içine yerleştirilmiş üç katlı bir cam silindir şeklini almaktadır. Aralarında yer alan kısmen açık alan fuaye görevi görmektedir. Fuayeyi oluşturan duvarlar, kinetik, değişken miktarlarda ışık ileten ve değişen derecelerde açılmak üzere dönen çapraz olarak bölünmüş paneller ile bir dış kaplamaya sahip çerçevesiz cam cephe konstrüksiyonundan oluşmaktadır. Yapıya ait görseller Şekil 30'da görülmektedir. Cephede ışık miktarını otomatik olarak kontrolünü sağlamak için genleşen akıllı malzemeler ile elektrik üreten akıllı malzeme olan ince film güneş pilleri birlikte kullanılmıştır. Genleşen akıllı malzemeler termal etkileri kontrol edebilmek adına ısı

yalıtımı ile kaplanmıştır. Ayrıca çatıda güneş enerjisi hücreleri ile enerji etkinliği tamamlanmıştır (Ritter, 2007).



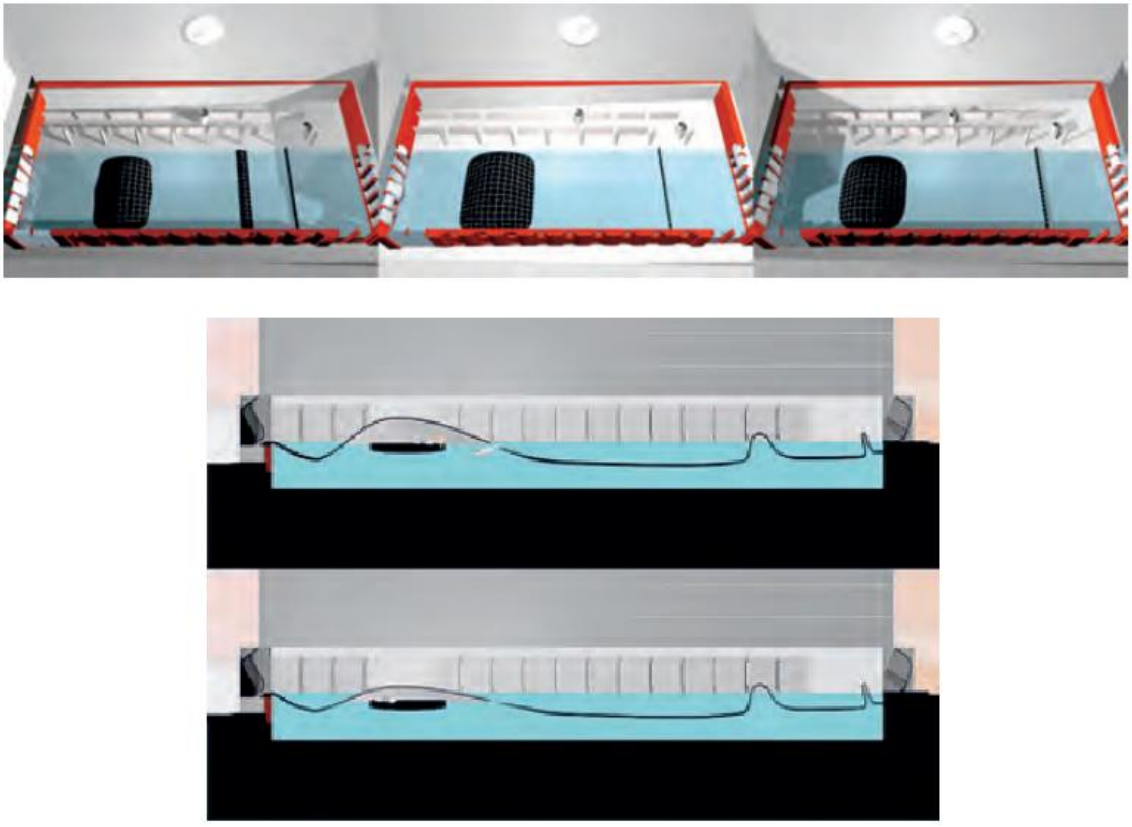
Şekil 30. Hinzert, Eski Toplama Kampındaki Dokümantasyon Merkezi perspektif-Üst görünüş ve kinetik cephe detayı (Ritter, 2007).

3.1.2.2 Elektroaktif akıllı malzemeler

Elektroaktif akıllı malzemeler de elektriksel uyaran ile karşılaştığında tepki vererek şekillerini değiştirmektedirler. Bu kategori elektrostriksif kâğıt, seramik, manyetostriktif etiketler ve manyetik şekil bellek alaşımlarını kapsamaktadır. Mimari alanda elektroaktif polimerler daha çok yer almaktadır. Elektrostriktif seramikler, piezoelektrik seramiklerin (PEC) bileşenlerinde de kullanılan ve polarize olmayan kurşun-magnezyum-niyobat (PMN) içermektedirler. Bu konuya piezoelektrik malzemelerde değinilecektir. Elektroaktif akıllı malzemelerin gelişimi 1880 yılında Röntgen ‘in elastik bantla yaptığı deneylere kadar uzanır. Bir ucundan sabitlenen diğer ucu ise bir ağırlığa bağlı olan bant, bir elektrik alanı tarafından elektrik yükü uygulandığında kısalır. 1925'te, doğru akım elektrik alanına tepki veren piezoelektrik polimerlerin gelişimi takip etmiştir. Daha sonra kimyasal, termal, pnömatik, optik veya manyetik etkilere tepki verebilen polimerlerin geliştirilmesi ile bu alanda gelişmeler devam etmiştir. 1949 gibi erken bir tarihte ilk polimerler, büzülmek ve genleşmek için asidik ve alkali çözeltilerle temas ettirilerek uyarılmıştır. Son 15 yılda yeni malzemelerin kullanımı ve artan başarı ile akıllı malzemeler sınıfında ilgi görmeye başlamıştır. Son yıllarda yapay kas denemelerinde de kullanılmıştır. (Ritter, 2007).

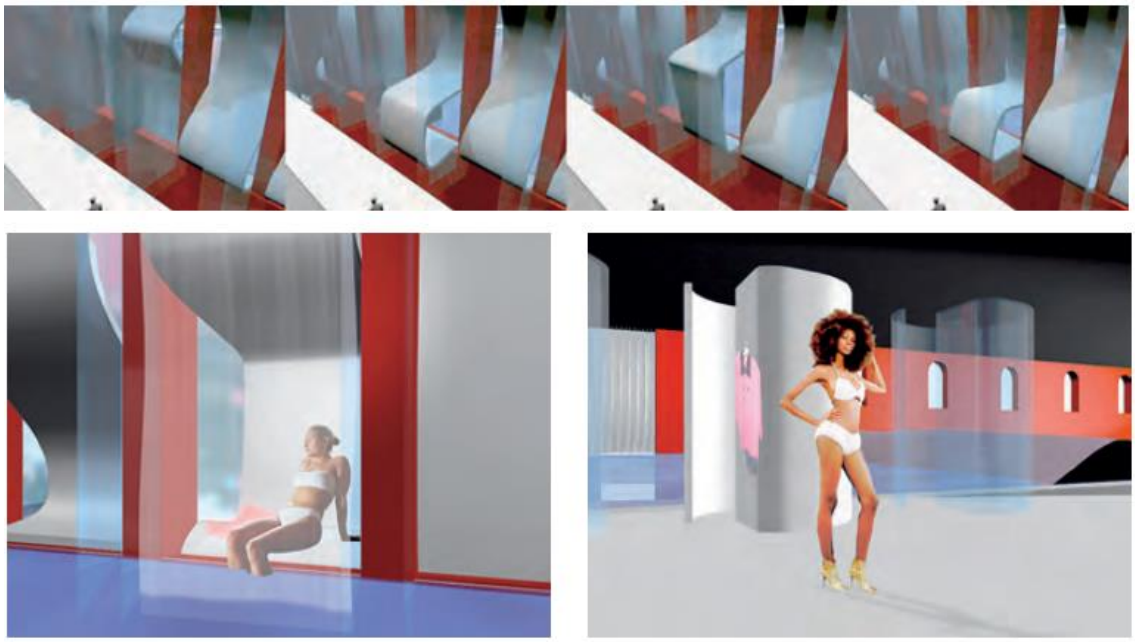
Elektroaktif polimerleri (EAP) içeren ürünler tüm dünyada geliştirilmektedir. Dielektrik EAP'lerin aktivasyonu için çok yüksek voltaj (kV) gerektirmeleri dezavantaj yaratmaktadır. Buna olası çözüm ise gelecekte, film kalınlığında bir azalma sağlanması

ile olabilecektir. Yine performanslarını artırmak için paralel veya seri olarak bağlantılar düzenlenebilir. Bununla birlikte mimarlık alanında yaygın olarak kullanılacak herhangi bir ürünün öngörülebilir bir süre içinde bulunamaması muhtemeldir. Öngörülen çalışmalar çerçevesinde elektroaktif polimerleri filmlerden duvar kaplamalarında veya duvar kâğıdında çeşitli dokular üretmek mümkün olabilecektir. Bu çalışmalardan biri de Elektromanyetik radyasyona tepki veren kinetik yapılar arasında yer almaktadır. Rhode Island Tasarım Okulu'nun özel bir bölümü olan Future Studio'da öğrenci olan Boyer, bir gün içinde gerçekleşen çeşitli etkinliklere dinamik olarak tepki verecek bir sensör ve aktüatör sistemi önererek Elektroaktif polimerleri kullanarak deforme olabilen duvarlar ve zeminler tasarlamıştır. Bu çalışmada yer alan havuzda günün saatine bağlı olarak, Elektroaktif polimer şeritlerinden oluşan ızgara içeren ara katın bir kısmında dalga formu alarak su yüzeyinin yukarısına farklı seviyelerde çıkarak girintili yapı oluşması sağlanmıştır. Şekil 31'de bu havuza ait kesit ve perspektif yer almaktadır.



Şekil 31. Neopren membranlı yüzme havuzunun yukarıdan perspektif görünümü ve kesit.

Havuzun dar kenarlarında yer alan duvarlarda yine elektroaktif polimerlerden oluşmaktadır ve gerçekleşecek etkinliklere göre, kişisel sauna alanları olarak kullanılabilen çeşitli boyutlarda niş oluşturmaktadırlar. Nişler, binanın dışında da görülebilmektedir. Şekil 32'de sokağa çıkıntı yapan deforme olmuş sauna duvarları yer almaktadır.



Şekil 32. Bryan Boyer tarafından 2003 yılında tasarlanan BalnaeNY' e ait Elektroaktif polimer şeritlerinden oluşan kinetik duvar yüzeylerinin görselleri (Ritter, 2007).

3.1.3 Adezyon değiştiren akıllı malzemeler

Akıllı malzemeler sınıflandırmasında Axel Ritter adezyon değiştiren akıllı malzemeleri özellik değiştiren akıllı malzemeler alt başlığında incelemektedir. Addington ve Schodek'in yaptığı sınıflandırmada ise yer almamaktadır.

Adezyon (yapışma) değiştiren akıllı malzemeler, bir uyarana yanıt olarak katı, sıvı veya gaz halindeki bir bileşenin bir atomunun veya molekülünün adsorpsiyonunun veya absorpsiyonunun çekim kuvvetlerini tersine çevirebilen malzeme ve ürünleri içermektedir. Değişim ışığın, sıcaklığın, bir elektrik alanının veya bir sıvının ve/veya biyolojik bileşenin etkisi nedeniyle gerçekleşebilir. Adezyon (yapışma), atomlar ve farklı

bileşenlerin molekülleri arasındaki çekim kuvvetlerini tanımlarken, kohezyon, aynı bileşenin atomları ve molekülleri arasındaki kuvvetlerin çekimidir (Ritter, 2007).

Süreçler genel olarak fiziksel, kimyasal ve mekanik adezyon olarak gerçekleşmektedir. İlgili uyarana bağlı olarak, adezyon değiştiren akıllı malzemeler şu şekilde ayırt edilebilir:

Fotoadesiv Akıllı Malzemeler; ışığa yanıt olarak katı, sıvı veya gaz halindeki bileşenlerin atomları veya molekülleri arası çekim kuvvetlerini değiştirmektedirler.

Termoadesiv Akıllı Malzemeler; Isıya yanıt olarak katı, sıvı veya gaz halindeki bileşenlerin atomları veya molekülleri arası çekim kuvvetlerini değiştirmektedirler. Termo plastikler, güçlü ısıl-adezyon özelliğe sahip akıllı malzemelere bir örnektir. Isıtıldıkları zaman eriyebilme ve yeniden şekillendirilebilme özelliğindeki polimerlerdir.

Elektroadesiv Akıllı Malzemeler; elektrik alanına yanıt olarak katı, sıvı veya gaz halindeki bileşenlerin atomları veya molekülleri arası çekim kuvvetlerini değiştirmektedirler. Uyarana yanıt olarak elektrostatik alan üretebilmektedirler bu özellikleri sayesinde havada yüzen iyonize parçacıklarla tersine bağlanabilmektedirler.

Hidroadesiv Akıllı Malzemeler; sıvı bileşenlere yanıt olarak katı, sıvı veya gaz halindeki bileşenlerin atomları veya molekülleri arası çekim kuvvetlerini değiştirmektedirler.

Biyoadesiv Akıllı Malzemeler; biyolojik bileşenlere yanıt olarak moleküller arası çekim kuvvetleri değiştirmektedir (Ergin, 2019).

Günümüzde mimarlık alanında özellikle fotoadesiv ve hidroadesiv akıllı malzemeler kullanılmaktadır (Ergin, 2019).

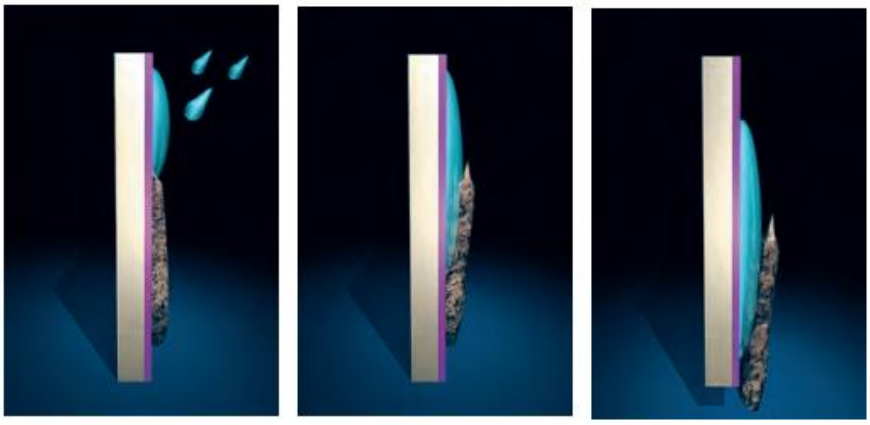
Mimaride fotoadezyon malzeme olarak Titanyum dioksit (TiO2) önemli yere sahiptir. Bu özelliği ilk olarak 1967'de Akira Fujishima tarafından Tokyo Üniversitesinde fark edilmiş, 1972 yılında 'Honda-Fujishima etkisi' olarak yayınlanmış günümüzde ise fotokatalitik etki olarak bilinmektedir (Orhon, 2014).

Fotoadesiv etkinin keşfedilmesinden sonra Japonlar 1995 yılında TiO2'yi seramik yüzey kaplamalarında kullanmada başarılı olmuşlardır. Son yıllarda yine fotokatalitik etkilere

sahip olan kâğıt ve membranları da geliştirmiştir. 2002 yılında Avrupa'da TiO2'li ilk kendi kendini temizleyen cam ortaya çıkmıştır (Ritter, 2007).

Özellikle Japonya'da ve Almanya'da titanyum dioksitin (TiO2) başarılı uygulama alanlarından biri, havada bulunan organik kirleticileri ve kokuları oksitleyerek bunları karbondioksit ve su gibi maddelere dönüştürebilmek için UV ışığını kullanan fotokatalitik kâğıtlardır. TiO2, güneş ışığının yardımıyla suyu arıtmak, örneğin pestisitleri ve farmasötik kalıntıları parçalamak için kullanılabilmektedir.

TiO2'den yapılmış yüzeylere sahip ürünlerin mimari alanda uygulamalarında son yıllarda geliştirilen en önemli ürünler, Japonya'da kendi kendini temizleyebilme özelliğinde ve kirletici gazları parçalayabilme özelliğinde seramik plakalar şeklinde geliştirilmiştir. Bundan sonra çeşitli uygulamalar için inşaat membranları, cam bölmeler ve diğer ürünler takip edilmiştir. Ayrıca piyasada sadece organik kirleticileri parçalamak için TiO2 kullanan çeşitli ürünler bulunmaktadır. Organik kirleticilerin fotokatalitik dönüşümünün illüstrasyonuna ait görseller Şekil 33'te gösterilmektedir. Kullanılan bileşenlerin seçimi ile ürünler genel olarak ışığa bağlı hidrofilik özelliklere sahip değildir, ancak kalıcı bir hidrofobik etki gösterir. Bazı fotokatalitik cephe boyalarında bu etkiyi elde etmek için silikonlar kullanılır. Fotokatalitik etkiye sahip diğer benzer ürünler iç boyalar ve sıvalardır (Ritter, 2007).



Şekil 33. Işıkla temas ettiğinde fotokatalitik özelliğin harekete geçmesi sağlanmış olur (Ritter, 2007).

TiO2'nin fotokatalitik yapı malzemeleri arasında geniş kullanıma sahip olma nedeni; Göreceli olarak ucuz olması yanında, güvenli, oluşu ve kimyasal olarak stabil olmasıdır. Diğer metal oksit malzemeler ile kıyaslandığında fotokatalitik aktiviteleri daha yüksektir. Orijinal performansında değişiklik göstermeksizin, geleneksel yapı malzemeleri ile (örn; çimento) uyumlu çalışmaktadır. Ayrıca atmosferik çevre koşullarında, düşük güneş ışınımı altında etkin olabilmektedir. Titanyum dioksit (TiO2) içerikli malzemeler toz veya ince film halinde kullanımlara da uygundur. Yapılan son çalışmalar fotokatalitik ince filmler üzerine yoğunlaşmaktadır (Ayvaz, 2019).

Sol-gel yöntemi kullanılarak TiO2 filmler, seramik, cam, metal ve polimer malzemeler üzerine kaplanabilmektedir. Uygulamalar yüzeylere daldırma tekniği, döndürme tekniği ve püskürtme teknikleriyle yapılabilmekte ve böylelikle materyal yüzeyleri fotokatalitik özelliğe sahip olmaktadır(Ayvaz, 2019).

TiO2 fotokatalitik yapı malzemesi olarak; kendi kendini temizleme, koku giderme, su kirliliği kontrolü, bakteri ve virüsleri yok etme, hava kirliliği kontrolü gibi görevler üstlenmektedir.

Aşağıda, mimari kullanımlarda kullanılmak üzere özel olarak geliştirilmiş ve UV ışığına yanıt olarak adezyonu tersine çevrilebilir şekilde değiştirme yeteneğine sahip bazı ürünler açıklanmaktadır:

TİO2'li Seramik levhalar

Fırınlanmış TiO2 yüzey kaplamalı seramik levhalar, cephe levhaları olarak (örneğin 592mm x 284mm x 15mm boyutlarında) ve duvar ve yer karoları olarak mevcut olan bu levhalar geleneksel cephe levhaları ve fayansları gibi işlenerek kullanılabilmektedirler.

Kendi kendini temizleme özelliklerinin ve organik kirleticileri parçalayarak hava kalitesini iyileştirme yeteneklerinin önemli olduğu yerlerde kullanılmak üzere tasarlanmışlardır.

Geleneksel cephe alt yapıları ile birlikte uygulanabilir olmaları, büyük ölçüde bakım gerektirmeyen, uzun ömürlü olmaları, geleneksel seramik plakalara kıyaslanabilecek uygun maliyetleri sebebiyle pazarda yer almalarını sağlamaktadır.

Bununla birlikte ciddi kirliliğinin olduğu yerlerde (örneğin kuş pisliği, katran) ilave temizlik ile reaktivasyona ihtiyaç duymaktadır (Ritter, 2007).

Fotokatalitik seramik panel cepheli kaplaması kullanılan yapılardan biri mimarı Albert Wimmer olan 77 metre yüksekliğindeki Monte Verde Tower'dır. Kulenin kuzey ve güneydeki dar uçları konvansiyonel cephelere sahipken, batıya ve doğuya bakan cepheler kendi kendini temizleyebilme özelliğindeki fotokatalitik cephe sistemine sahiptir. Burada kullanılan seramik cephe plakaları, üzerine titanyum oksit içeren "Hidrotekt" yüzey kaplaması sprey ile şeffaf olarak uygulanmış ve daha sonra pişirilerek özel mavi-yeşil bir sır kaplamaya sahiptir. Kaplamanın özelliklerine uygun olarak, cephe, hidrofilik bir yüzey oluşturmak için ışığı kullanmakta ve havadan biriken pas veya toz gibi kir parçacıklarını, yüzeyden akan yağmur suyu damlaları ile birlikte kolayca yıkanmasını sağlamaktadır.
Kendi kendini temizleme etkisine ek olarak, kaplamanın yüzeyinde oluşan serbest elektronlar tarafından üretilen aktif oksijen nedeniyle ışığa duyarlı bir hava temizleme etkisi de bulunmaktadır. Bilimsel araştırmalar, 1000m2 fotokatalitik kaplamalı cephe yüzeyinin 70 ağaca eşdeğer hava temizleme etkisi sağladığını göstermektedir. 6800 m2 seramik cepheye sahip Monte Verde, 476 ağaca oksijen üretimi sağlamaktadır. Bu da göstermektedir ki; şiddetli hava kirliliği olan şehirlerde fotokatalitik seramik cepheler hava kirliliğinin azaltılmasında fayda sağlayacaktır.

TİO2'li Yapı Membranları

TiO2 yüzey kaplamalı, tamamen plastik (örneğin PVC, PTFE-politetrafloroetilen) ile kaplanmış tekstil membranlar bu grupta yer almaktadır.

Avantajları; büyük miktarlarda yapılabilir, çok çeşitli uygulamalar için kullanılabilir ve çeşitli membran yapı tiplerine entegre edilebilir, büyük ölçüde bakım gerektirmez, uzun ömürlüdür.

Dezavantaj olarak ise ciddi kirliliğinin olduğu yerlerde (örneğin kuş pisliği, katran) ilave temizlik gerektirmektedir. Plastik bir kokuya sahip olabilmekte, yangın durumunda ise toksik bileşenlerin olası etkileri göz önünde bulundurulmalıdır (Ritter,2007).

Ocak 2001'de Japonya'da Osaka'da lüks bir otelin bahçesinde inşaa edilen şapelde konstrüksiyona yerleştirilen beyaz membran TiO2 içermekte ve kendi kendini temizleme özelliğindedir. Görseli Şekil 34'te yer almaktadır.



Şekil 34. Bahçe Şapeline ait gece ve gün ışığı altında görüntüsü (Ritter, 2007).

Fotokatalik membran uygulamasının bir örneği de; Brasilia Stadyumu (Brasília, Brezilya, Castro Mello) yapısındaki hareketli üst örtüde bulunmaktadır (Yağlı, 2019).

Fotokatalitik membranın kullanıldığı cephe kaplaması örneği ise; Dubai'de bulunan Burj Al Arab'ın 15,000 m2 büyüklüğünde PTFE (Politetrafloroetilen) kaplı cam elyaf kumaş membran uygulamasıdır. PTFE (Politetrafloroetilen), ETFE (Etilentetrafloroetilen) gibi malzemelerin yüzey kaplaması yaygın olarak uygulanmaktadır. Bu yüzeyler yağmurla kendini temizleme özelliği göstermekte ancak zamanla uzun dönemde üzerlerinde kir birikebilmektedir. Şekil 35'te yer alan yapının yelken görüntüsü veren yarı-saydam membran cephesi 200 metre yüksekliğindedir. Konumu itibariyle yüksek UV ışınlara, radyasyona, beraberinde büyük sıcaklık değişimlerine, kum fırtınalarına maruz kalmaktadır. Membran fotokatalitik özelliği sayesinde yağışın yoğunlaştığı aralık ve mart döneminde yağışla kendiliğinden temizlenmektedir (Orhon, 2014).



Şekil 35. Burj Al Arab PTFE (Politetrafloroetilen) kaplı cam elyaf kumaş membran uygulaması (ww.stylepark.com)

TİO2'li Cam paneller

Geleneksel cam paneller gibi müşterinin gereksinimlerine uyacak şekilde prefabrike edilebilmektedirler. Hava kalitesinin iyileştirilmesinin istendiği yerlerde kullanım için uygundurlar. Cam uygulaması Şekil 36'da Pilkington teknoloji tarafından geliştirilen TiO2 cam paneller görülmektedir.



Şekil 36. TiO2 ile cam konstrüksiyon görülmektedir (Ritter, 2007).

Büyük miktarlarda üretilebilir olmaları, geniş bir uygulama alana sahip olmaları, büyük ölçüde bakım gerektirmeyen ve uzun ömürlerinin yanında çerçeveli ve çerçevesiz yapı tiplerine entegre edilebilir olmaları avantaj sağlamaktadır (Ritter, 2007).

Fotokatalitik malzemeler hem yapı elemanı olarak duvarlarda, çatılarda, döşemelerde hem de beton, seramik, metal, cam, plastik, kiremit, tuğla, briket, sıva vb. yüzeylerde uygulanabilme şansına sahiptir. Japonya da HydroTect adıyla patent alan TiO 2 kaplamalı cam, seramik, metal vb. malzemeler geliştirilmiştir. Bu kaplamalar, cephe panelleri olarak dış cepheye uygulandığında yağmurla kendini temizleme özelliği yanında havayı da temizleyebilmektedir. Fotokatalitik alüminyum panel cepheli kullanılan Şekil 37'de görseli yer alan Bertram ve Judith Kohl binası da bunlara örnektir (Orhon, 2014).



Şekil 37. Fotokatalitik alüminyum panel cepheli Bertram ve Judith Kohl Binası (www.archdaily.com -f)

TiO2 pigment katkılı fotokatalitik çimento malzemelerin cephede kullanılan örneklerinden birisi de İtalya'da bulunan mimarı Richard Meier olan Jübile Kilisesi'dir. Yapının cephesine ait görsel Şekil 38'de yer almaktadır. Bu sayede yapının cephesi beyazlığını korumaktadır.



Şekil 38. Cephesinde TiO2 pigment katkılı fotokatalitik çimento malzeme kullanılan Jübile Kilisesi (stringfixer.com -b)

Cephesinde kendini ve havayı temizleme özelliğine sahip fotokatalitik beton kullanılan bir diğer yapı Meksika'da Manuel Gea Gonzalez Hastanesidir. Şekil 39'da görseli bulunan yapının beyaz geometrik desenli cephesi 2500 m2 büyüklüğündedir.



Şekil 39. Manuel Gea Gonzalez Hastanesi (inhabitat.com -a).

Çimento ve titanyum dioksit karışımı cephe tasarımı örneği olan Palazzo Italia, aynı büyüklükteki geleneksel bir binadan % 40 daha az enerji tüketmekte ve sıfır hava kirliliği yaymaktadır. Görseli Şekil 40'ta yer alan yapı, nitrojen oksit kirliliğini yakalayarak ve yağmur yağdığında duvarları kolayca yıkanmakta ve kir zararsız bir tuza dönüşmektedir (www.popsci.com).



Şekil 40. Mimar Michele Molè tasarımı Palazzo Italia (www.popsci.com).

Fotokatalitik malzemelerinden olan TiO2 avantajları

- Zehirli olmadıklarından birçok alanda kullanılmaktadır

- Fotokatalitik malzemeler geleneksel malzemelere göre daha uzun süreler temiz kalabildiklerinden daha az bakım ihtiyaçları bulunmaktadır. Örnek olarak geleneksel yüzey malzemeleri olarak kullanılan PTFE ve ETFE gibi membran malzemelerin yüzeyleri temiz kalabilmelerine rağmen tortu birikimi gözlenmekte ve kısa periyodlarda müdahaleye ihtiyaç duyulmaktadır.

- Kolay elde edilebilmeleri değerlendirildiğinde ise fayda-maliyet ekseninden diğer malzemelere göre daha ekonomiktirler.

- Fiziksel ve kimyasal özelliklerini değişime uğramadan uzun süre koruyabilmektedirler (Ayvaz,2019).

- Yapılan bilimsel çalışmalarda özellikle cephe yüzeyinde kullanımında 1000 m2 fotokatalitik cephe kaplamasının hava temizleme etkisi yaklaşık olarak 70 orta boy ağaca eş değer olduğunu göstermektedir. Bunun yanı sıra;

- Cephe temizliği için sarf edilecek su, deterjan vb. kullanımı dolayısıyla yapının çevre kirletici etkileri azalmaktadır.

- İşgücü ve sarf malzemesi kullanımının düşmesi nedeniyle yapının işletim masrafları azalmaktadır.

- Cephenin temiz görünmesi yapının estetik değerini arttırmaktadır (Orhon,2014).

Fotokatalitik malzemelerinden olan TiO2 dezavantajları ise;

- Temizleme işleminin gerçekleşmesi, güneş ışığı ve yağmur ile birlikte gerçekleşmektedir. Uzun süre yağışın olmadığı durumda camların su ile yıkanması ile kendi kendini temizleyebilmektedir.

- Organik kirlere karşı etkili olduğundan özellikle sahil kesiminde tuz tortularına karşı etkili değildirler (Ayvaz,20019). Fotokatalitik malzemelerin avantaj ve dezavantajları Tablo 12'de özetlenmiştir.

Tablo 12. Fotokatalitik Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları

Adezyon Değiştiren	Fotokatalitik Malzemeler	Isı ve Işık değişimi	Dış yapı elemanları (Beton-Membran-cephe panelleri) Yapı elemanları üzerine film ve boya kaplamaları	*Zehirli olmadıklarından birçok alanda kullanılmaktadır *Fotokatalitik malzemeler geleneksel malzemelere göre daha uzun süreler temiz kalmaktadırlar. *Fiziksel ve kimyasal özelliklerini değişime uğramadan uzun süre koruyabilmektedirler. *Cephe temizliği için sarf edilecek su, deterjan vb. kullanımı dolayısıyla yapının çevre kirletici etkileri azalmaktadır.	*Uzun süre yağışın olmadığı durumda camlar suyla yıkadıktan sonra kendi kendini temizlemektedir. *Organik kirlere karşı etkili olduğundan özellikle sahil kesiminde tuz tortularına karşı etkili değildirler

3.2 Enerji Alışverişi Yapan Akıllı Malzemeler

Enerji değişimi, "enerjinin korunması" yasasına dayanmaktadır. Enerji korunumu yasasına göre, izole edilmiş bir sistemde toplam enerjinin sabit kalacağı belirtilmektedir (Yağlı, 2019). Belirli bir malzemenin enerji durumu, çevresindeki ortamın enerji durumuna eşit olduğunda, o malzemenin dengede olduğu söylenir yani, hiçbir enerji değiş tokuş edilememektedir. Malzeme farklı bir enerji durumundaysa, enerji alışverişini sağlayan bir potansiyel oluşur. Örneğin, güneş radyasyonu bir fotovoltaik malzemeye çarptığında, foton enerjisi malzemenin atomları tarafından emilir. Enerjinin korunması gerektiğinden, atomlardaki fazla enerji atomu daha yüksek bir enerji seviyesine geçmeye zorlar. Bu seviyeyi sürdüremeyen atom, karşılık gelen miktarda enerji vermesi gerekir. Fotovoltaikler, yarı iletken malzemelerin kullanılması ile enerji salınımı yaparlar ve böylece elektrik üretebilirler. Hem geleneksel hem de akıllı malzemeler enerji tasarrufu yapması gerektiğinden, enerji girildiğinde veya eklendiğinde malzemenin enerji seviyesinin artması gerekir. Bununla birlikte, çoğu malzeme için, enerjideki bu artış, malzemenin iç enerjisini artırarak, çoğunlukla ısı şeklinde kendini göstermektedir. Enerji alışverişi yapan akıllı malzemeler, bu iç enerjiyi daha kullanışlı bir biçimde geri kazanma yeteneğine sahiptirler (Addington, Schodek, 2005).

Akıllı malzemeler sınıflandırmasında Adington ve Schodek ve Alex Ritter tarafından yapılan sınıflandırmaya ait karşılaştırmaya Tablo 13'de yer verilmiştir.

Tablo 13. Adington ve Schodek ve Alex Ritter Tarafından Yapılan Sınıflandırmaya Ait Karşılaştırma Tablosu

Addington ve Schodek' e Göre Akıllı Malzeme Sınıflandırması	**Alex Ritter'e Göre Akıllı Malzeme Sınıflandırması**
Özellik Değiştiren Akıllı Malzemeler	
Renk Değiştiren Malzemeler	**Renk ve Optik Değiştiren Malzemeler**
Fotokromikler	Fotokromikler
Termokromikler	Termokromikler
Elektrokromikler	Elektrokromikler
Faz Değiştiren Malzemeler	**Şekil Değiştiren Malzemeler**
İletken Polimerler	Termostiriktif
Akıllı Jeller	Elektroaktif
–	**Adezyon Değiştiren Malzemeler**
	Fotoadezyon
Enerji Alışverişi Yapan Akıllı Malzemeler	
Işık Yayan Malzemeler	**Işık Yayan Malzemeler**
Fotolüminesans	Fotolüminesans
Elektrolüminesans	Elektrolüminesans
Lüminesans	
Enerji Alışverişi Yapan Malzemeler	**Elektrik Üreten Malzemeler**
Fotovoltaikler	Fotoelektrik
Ledler	Termoelektrik
Piezzoelektrik	Piezzoelektrik
Şekil Hafızalı Alaşımlar ve Polimerler	**Faz Değiştiren Akıllı Malzemeler**
Şekil Hafızalı Polimerler	Isı depolayan

Tabloda Işık yayan akıllı malzemeler her iki sınıflandırmada ortak başlık altında yer alırken, Addington ve Schodek Enerji alışverişi yapan Akıllı malzemeleri Fotovoltaikler, ledler ve Piezzoelektrik alt başlıklarında yer vermektedir. Alex Ritter ise elektrik üreten akıllı malzemeler başlığı altında Fotoelektrik, Termoelektrik, Piezzoelektrik olarak alt başlıklarda incelemektedir. Enerji alışverişi yapan akıllı malzemelerin altında yer alan

şekil hafızalı Polimerler Addington ve Schodek tarafından bu başlıkta sınıflandırılırken, Alex Ritter Faz değiştiren akıllı malzemelere bu başlık altında yer vermektedir.

Bu bölümde yapı cephesinde kullanım olanağına sahip olan Fotolüminesans, Elektrolüminesans Fotovoltaikler, LED'ler, Fotoelektrik, Termoelektrik ve Piezzoelektrik malzemeler incelenerek örneklerine yer verilecektir.

3.2.1 Işık yayan akıllı malzemeler

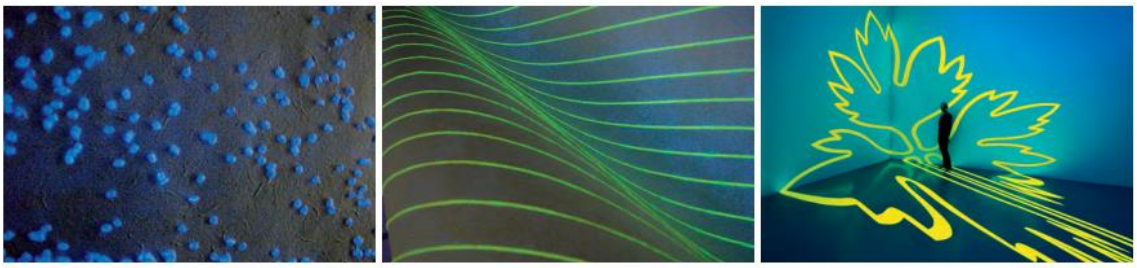
Işık yayan akıllı malzemeler, enerjinin etkisiyle, örneğin ışık veya bir elektrik alanının etkisi ile ışık yayma özelliği gösteren malzemeleri içermektedir (Addington, Schodek, 2005). Mimari alanda yaygın uygulamalar fotolüminesans ve elektrolüminesans malzemelerdir (Ritter, 2007).

3.2.1.1 Fotolüminesans akıllı malzemeler

Fotolüminesan malzemeler, Axel Ritter tarafından zamana göre aydınlık davranış özelliklerine bağlı olarak floresan veya fosforlu olarak sınıflandırılmaktadır.

Addington ve Schodek fotolüminesansı harici bir ışık kaynağından gelen enerjinin, daha sonra ışığı daha düşük bir enerji seviyesinde yeniden yayması sonucunda meydana gelen bir tür ışıldama olarak tanımlamaktadır. Tipik floresan lambaların da çalışma prensibi fotolüminesan etkilere dayanmaktadır. Lambanın içi, ultraviyole cıva radyasyonu tarafından uyarılan fosfor ile kaplanmaktadır.

Floresan malzemelerin mimari uygulamalarda, özellikle iç mekânlarda kullanımı bulunmaktadır. Floresan malzemeler özellikle alçı yüzeyler üzerine uygulanan duvar boyaları, fayanslar, zemin kaplamaları, metal kaplamalar, parlak filmler olarak uygulamalarda yer almaktadır. Kaplama örneklerine şekil 41'de yer verilmiştir. Floresan kaplamalarda uzun vadede yaz ve kış aylarında maruz kaldığı radyasyon sebebiyle geri dönüşü olmayan işlev kayıpları meydana gelmektedir. Bu sebeple malzemenin gün ışığına direkt maruziyetinden kaçınılarak kullanılması gerekmektedir (Ritter, 2007).



Şekil 41. Mavi floresan granüllü kağıt, kağıt üzerine yeşil floresan iplik uygulaması ve floresan film kaplamalı duvar (Ritter,2007)

Floresan malzemeler dış mekan kullanımının yaratacağı sorunlar sebebiyle bu malzemenin cephe kullanımı yeterli etkinlikte olamamaktadır.

Kalıcı olarak ışık yayma yeteneğine sahip malzemeler veya bileşenler fosfor olarak tanımlanır. Işıldama sonrası ışıldama işleminin uzunluğuna bağlı olarak, fosforlu malzemeler veya bileşenler ayrılabilmektedirler. Bu malzemeler veya bileşenler gün ışığında bulunan ultraviyole radyasyonu emip ışık olarak yaydıklarından, çok fazla ışık olmadığı veya yetersiz kaldığı günlerde bile, yeterli lüminesans devam edebilmektedir. Fosforlu boyalar mimaride, kaçış yollarının yön işaretlenmesinde veya merdivenlerin ön kenarlarında görünürlük ve güvenlikle ilgili uygulamalar da ağırlıklı olarak kullanılmaktadır (Ritter, 2007).

Cephe uygulamalarında fotolüminesans akıllı malzemeler yer bulamamaktadır.

3.2.1.2 Elektrolüminesans akıllı malzemeler

Elektrik alanındaki elektronların etkisiyle bir molekülün ışık yaydığı optik malzemeler elektrolüminesans malzemelerdir (Ritter, 2007).

Elektrominesanslı malzemelerde uyaran, voltaj veya elektrik alandır. Voltaj sonrası gerekli enerji sağlanmaktadır. Elektrominesans malzemelerin kullanımına ışık şeritleri ve panellerin içerisinde rastlanmaktadır. Renkler, seçilen aktif iyonlara bağlı olarak değişmektedir. Daha ucuz sistemlerde ise renkli kullanım amaçlandığında renkli filtreler kullanılmaktadır. Bu sistemler pil ile çalıştırılabilmektedirler. Özellikle elektrolüminesans lambaların avantajları az güç harcamaları ve ısı üretmemeleridir (Addington, Scohodek, 2005).

Aşağıda kullanım olarak yer bulan enjeksiyonlu elektrolüminesans(LED'ler) , kalın filmli ve polimer / küçük moleküllü elektrolüminesans malzemeler (OLED'ler) kısaca ele alınmaktadır (Ritter, 2007).

-Enjeksiyonlu elektrolüminesans Işık yayan diyot (LED)

Enerji Alışverişi Yapan Akıllı Malzemeler sınıfında bulunan ışık yayan diyot (LED) teknolojisi, diğer aydınlatma kaynaklarından ayırt edilebilir özellik olarak cam veya gazlı bileşik içermemektedir. Bütün bileşenleri katı halde olan aydınlatma kaynaklarına göre kırılgan değildir (Kasım, 2017).

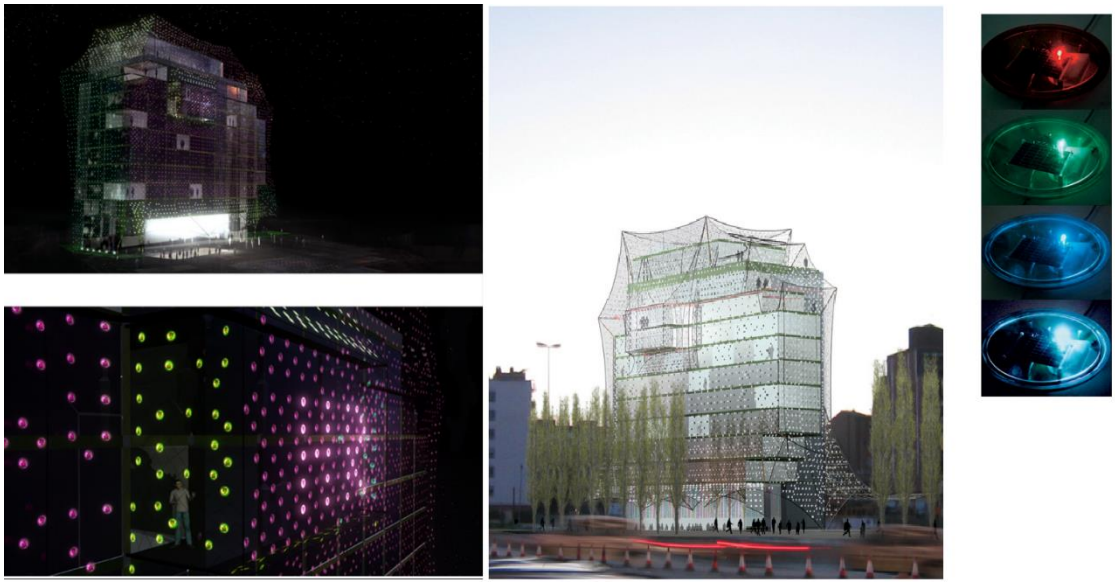
Elektrolüminesans 1936 yılında Fransız bilim adamı Georges Destriau tarafından keşfedilmiş olmasına rağmen 1960'ların sonuna doğru kullanılmaya başlanmıştır. Akkor ampullere alternatif ışık kaynağı olarak ışık yayan diyotlar (LED) mimaride kullanımı artarak devam etmektedir. Günümüzde mimari alanda görev aydınlatması, tabela, cephe aydınlatması, trafik sinyalleri, büyük panel ekranlarda kullanılmaktadır. LED'ler fiber optiğin 'Akıllı' versiyonu olarak düşünülebilir, özellikle küçük boyutlarının yanı sıra, ışığın spektral nitelikleri, hem kızılötesi radyasyonu ortadan kaldırarak kontrol edilebilir olmaları ve yüksek verimlilikleri sebebiyle aydınlatma ürünü olarak kullanımda avantaj sağlamaktadır (Addington, Schodek, 2005).

Peter Marino ve Associates Architects tasarım ekibi tarafından Tokyo'da LED sistemi kullanılarak tasarlanan Chanel Ginza binası, 10 katlı medya duvarı ile LED teknolojisinin cam duvara entegre edilerek kullanımının ilk mimari örneğidir. Cephe hem led media cephe özelliği taşırken, aynı zamanda günışığının mekanda kullanımını kısıtlamamasına dikkat edilmiştir. Şekil 42'de cephenin gündüz ve gece görünümüne yer verilmiştir. Bunun için katmanlı bir sistem oluşturulmuştur. LED duvara iç kısımda elektrokromik cam entegre edilmiş, bu sayede gün boyunca şeffaf olan cam ile gün ışığı kontrolü sağlanırken geceleri yarı saydam hale gelerek bina yüzeyini aydınlatan cephe ekrana dönüşmektedir (www.architectmagazine.com).



Şekil 42. Chanel Ginza Bina cephesinin gündüz ve gece görünümü (commons.wikimedia.org).

İspanyol mimar Ruiz-Geli tarafından tasarlanan otel projesi olan CLOUD 9, üzeri paslanmaz çelik bir ağ ile kaplanmış, geleneksel bir cam cepheye sahiptir. Binaya ait görseller Şekil 43'te görülmektedir. Işık ve yazılıma bağlı renk ve ışık değişimleri ile ağaç görüntüsü oluşturarak 'odanız ağaçta' konsepti ile, birbirinden 57 cm mesafe ile yerleştirilen 5000 adet 25 cm çapında yaprağın her biri bir güneş pili ile donatılmıştır. Gün boyunca oluşturulan elektrik akımı geçici olarak bir akümülatörde saklanır ve bir işlemci (CPU) tarafından geceleri bir, iki veya üç RGB LED'e yönlendirilerek ışık kaynağı görevi görmektedir. Mevsime ve enerjik koşullara bağlı olarak, geceleri bina cephesi farklı renklerde aydınlatılmış giysi gibi otomatik olarak değişmesi planlanmıştır (Ritter, 2007).



Şekil 43. Ruiz-Geli tarafından tasarlanan Hotel Habitat H&R: ışıklı modelleri ve / Yapay prototip güneş pili, RGB LED'ler (www.ruiz-geli.com)

Renkli ışık yayan diyot (LED) sistem kullanılarak oluşturulan bir diğer medya duvarı da Pekin'de bulunan GreenPix medya duvarıdır. Proje, New York merkezli bir ofis olan Simone Giostra ve Partners tarafından tasarlanmış, Londra ve Pekin'deki Arup tarafından uygulanmıştır. 24.000 renkli (RGB) led kullanılan cephe yaklaşık olarak 2.200 m2'lik dinamik ekran oluşturmaktadır. Cephe aynı zamanda fotovoltaik sistemin entegre edilmesi ile oluşturulan cephe özelliğini taşımaktadır. Şekil 44'te görsellerine yer verilen cephe sistemi gündüz güneş enerjisini depolayan ve havanın kararması ile ekranı aydınlatmak için kullanılan, bu sayede kendi kendine yeten bir sistem olarak çalışmaktadır. Fotovoltaik hücreler, perde duvarının camı içinde değişen yoğunluklarda lamine edilmiştir. Yoğunluk paterni, binanın performansını artırarak, iç mekanda gerekliliğe göre doğal ışığa izin verirken, ısı kazancını azaltmakta ve aşırı güneş radyasyonunu da duvar için enerjiye dönüştürmektedir (www.mediaarchitecture.org).



Şekil 44. Green Pix medya duvarı PV ve LED’ in birlikte kullanımı ile oluşturulan cephe (www.archdaily.com –g).

Organik ışık yayan diyotlar (OLED)

LED'lerin aksine alan ışığı yayma, daha fazla parlaklık gibi avantajları sayesinde, birçok alanda uygulamaların geliştirilmesinde olanak sağlamıştır. OLED’lerde her piksel tamamen adreslenebilir olduğundan, özellikle ekranlarda kullanılmaktadır.

OLED'ler filmlerin esnek olmaları sebebiyle ekranlar, televizyon ekranlarında kullanılmaktadır. OLED’lerin cephede kullanım örneğine Şekil 45’te yer verilmiştir. SmartWrap, öğrenciler ve ortak şirketlerle birlikte Kieran Timber Lake Associates tarafından iki katmandan oluşan bir kaplama sistemi olarak geliştirilmiştir. Dış cephe kaplamasını oluşturan dış tabaka, elektronik akıllı malzemeden oluşurken, iç tabaka ısı yalıtımını ve ısı depolama malzemelerini desteklenmektedir. Bu yenilikçi katmanlı sistemde dış kaplama, güneş ışığını toplamak ve dönüştürmek için organik fotovoltaik hücrelerle, elektrik enerjisini depolamak için ince film pillerle, elektriği dağıtmak ve işlevleri kontrol etmek için iletken, baskılı devreler ve organik ince film transistörleri, aydınlatma ve elektronik ekranlar için polimer bazlı OLED' lerle donatılmıştır (Ritter, 2007).



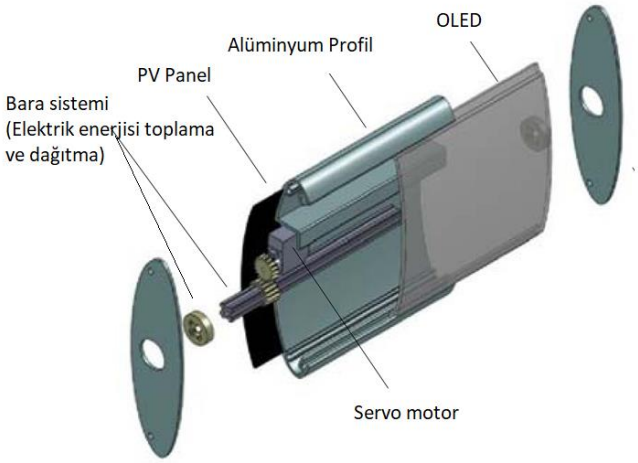
Şekil 45. Paviliona ait görseller ile OLED ince film ve organik fotovoltaik hücrelerle cephe oluşturan katman arasından görünüş (Ritter, 2007).

OLED kullanılarak tasarlanan bir diğer proje ise Şekil 46'da yer verilen, gündüz enerji toplayarak geceleri bu enerji ile özel grafik görsel yaratarak aydınlatan Urban Tiles ile yüksek yapıları sıfır enerjili ışık gösterilerine dönüştürebilmesini sağlamak hedeflenmiştir (inhabitat.com –b).



Şekil 46. Meidad Marzan tarafından tasarlanan OLED ve güneş panellerinin beraber kullanıldığı cephe tasarımı (inhabitat.com –b).

Cephede yer alan karo konsepti endüstriyel tasarımcı Meidad Marzan tarafından Bezalel Sanat ve Tasarım Akademisi'ndeki mezuniyet projesi için geliştirilmiştir. Çift taraflı bağlantı karoları ile kaplanan bina cephesi ve aydınlatmalı grafikler oluşturmak için dışa bakan güneş panellerin OLED panellerine dönüşmesi üzerine oluşturulmuştur. Teknolojisinin hızlı gelişimi düşünüldüğünde, bu konsept gelecekte gerçeklikten çok uzak görünmemektedir. Karoların tasarımına Şekil 47'de yer verilmiştir (hinhabitat.com –b).



Şekil 47. Cephede kullanılan karoların bir yüzü PV panel diğer yüzü OLED olarak tasarlanmıştır (inhabitat.com –b).

3.2.2 Elektrik üreten akıllı malzemeler

Akıllı malzemelerin bu sınıfında Axel Ritter tarafından elektrik üreten akıllı malzemeler alt başlığında fotoelektrik, termoelektrik ve Piezzo elektrik akıllı malzemeler ele alınmaktadır. Addington ve Schodek ise fotovoltaikler (fotoelektrik), piezzoelektrik malzemeleri Enerji alışverişi yapan akıllı malzemeler alt başlığında incelemektedir. Addington ve Schodek aynı zamanda bu sınıfta LED'lere de yer vermektedir.
Elektrik üreten akıllı malzemeler, dış etkenlerin (ışığın etkisinden veya sıcaklık ve / veya basınçtaki) değişikliğin sebep olduğu bir veya daha çok uyarana yanıt olarak elektrik akımı üretebilen malzemeleri ve ürünleri içermektedir. Elektrik üreten akıllı malzemeler, uyaranlarına göre aşağıda Tablo 14'te verildiği gibi ayırt edilebilmektedir (Ritter, 2007).

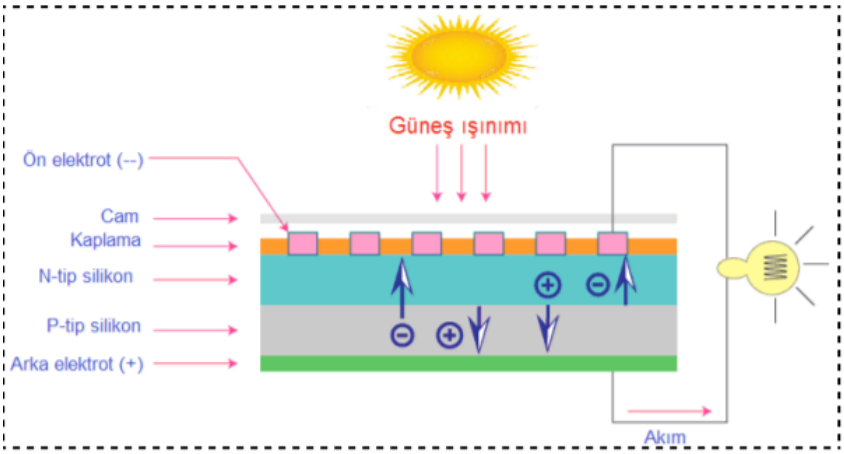
Tablo 14. Elektrik üreten akıllı malzemelerin Axel Ritter'e göre uyaranlara verdiği tepkiler listelenmektedir.

Akıllı malzeme	Uyaran	Değişim
Fotoelektrik	Işık ve elektromanyetik enerji	Elektrik akımı
Termoelektrik	Sıcaklık ve Isı enerjisi	Elektrik akımı
Piezzoelektrik	Basınç gerilmesi	Elektrik akımı

3.2.2.1 Fotoelektrik akıllı malzemeler

Yaygın olarak kullanılan birçok cihazın temeli yarı iletken teknolojisidir (Addington ve Schodek, 2005). Fotovoltaik Yunancada, ışık anlamına gelen photo ve gerilim anlamına gelen voltaic kelimelerinin birleşmesi ile oluşmaktadır. Fotovoltaik hücreler, ilk kez Becquerel tarafından 1839 yılında araştırılmıştır. İlk önce sıvı içinde fark edilen fotovoltaik etki, 1876 yılında ise katı maddelerden selenyum kristalleri üzerinde rastlanmıştır. 1914 yılında ise %1 verimli piller üretilmiş ancak tam anlamıyla elektrik üretimi sağlanamamıştır. %6 verim ile elektrik üretimi sağlayan pillerin üretimi ise1956 yılında Chaplin ve Fuller 'in çalışmaları ile yapılmıştır (Sayın, Koç, 2011). Güneş ışınımı elektromanyetik parçacıklar olan fotonların bir akışı olarak anlatılabilir. Fotonlar vasıtasıyla elektromanyetik radyasyon enerjisi taşınır ve iletilir. Fotonlar aynı zamanda yarı iletkenlerdeki elektronların iletkenliğini tetiklemeleri ile güneş ışığının elektriğe dönüşmesini sağlamaktadırlar. Güneşten gelen fotonların fotovoltaik malzeme tarafından

soğurulması ile fotoakımın ve gerilimin üretilmesi sonrasında PV hücreden elektriksel güç elde edilebilmektedir. Fotonların silikon gibi yarı iletken malzemelerin yüzeyine çarpması sonucunda, atomlardan elektronları serbest bırakmaktadırlar. Çalışma prensibi Şekil 48'de yer almaktadır. Fotovoltaik hücre üzerine gelen fotonların bir kısmı hücre tarafından soğurulmakta, bir kısmı yansımakta, kalan kısım ise hücre içinden geçmektedir. Elektrik üretimi, fotovoltaik hücre tarafından soğurulan fotonlar ile olmaktadır (Öztürk, 2017).



Şekil 48. PV hücreler PV etkiye bağlı olarak çalışmaktadırlar. PV hücresinin yapısı (Öztürk, 2017).

Fotoelektrik akıllı malzemelerin günümüzdeki mimari alanda en yaygın uygulaması güneş enerjisinden (Işık) elektrik üreten fotovoltaik (PV) yapı elemanlarıdır. Fotoelektrik akıllı malzeme kökenli fotovoltaik paneller binalarda giderek yaygınlaşmakta ve kullanımları çeşitlenmektedir (Orhon, 2013).

PV paneller daha çok açık alanlara yerleştirilerek elektrik üretmek amacıyla kullanılırken, yapılara entegre edilerek kullanılmasına 1981 yılından itibaren başlamıştır. PV panellerin yapılara entegre olarak kullanımına çatılarda kullanılarak başlanmış, PV paneller önceleri mevcut çatılara eklenti olarak uygulanırken, ilerleyen zamanlarda doğrudan çatı kaplaması olarak kullanılabilen PV panellerin üretilmiştir. Yapılan araştırmalar sonucu PV panellerin bina cephesinde kullanımının etkin olabileceğini göstermesi ile 1992 yılı itibariyle bina kabuğunda kullanılmaya başlanmıştır (Çelebi, 2002). Özellikle yapı kabuğuna yapılan uygulamalarda yüksek katlı ofis binaları ile otellerin cepheleri, fabrika

binalarının çatıları PV modüllerin kullanımı adına uygun yüzeyler yaratmaktadır. Özellikle depolama maliyetinin yüksek olması sebebiyle, bu tür yapılarda enerji tüketiminin gün içinde yoğun olması sebebiyle depolama ihtiyacı diğer yapı tiplerine göre az olmaktadır. Konutlarda uygulanan PV sistemler şebeke bağlantısının olmadığı yerlerde ekonomik olmakla birlikte, akşam saatlerinde kullanımda depolama gerektirdiğinden depolanmasının maliyeti yüksek olmaktadır (Sayın, Koç, 2011).

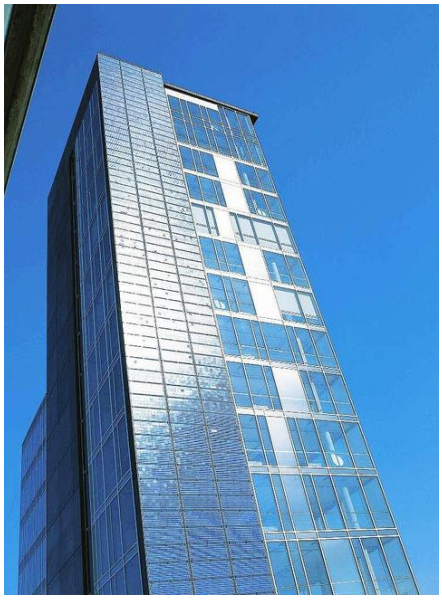
İnce film PV modülleri, geleneksel modüllere kıyasla esnek ve hafif olmaları, yapılan son araştırmalarda geleneksel modülerle benzer verimlilik sağlamaları sebebiyle avantaj sağlamaktadır. Bu özellikleri ile, ince film PV sistemleri, binaya entegre fotovoltaik sistemler (BIPV) için özellikle bina kabuğuna entegrasyondaki avantajı sayesinde kullanımı arttırmaktadır. Bu tür cephe PV sistemleri, çatı ve zemin kurulumlarından daha az ışıma almasına rağmen, daha düşük günlük ve mevsimsel değişimler sunarlar ve bu nedenle elektrik üretimine önemli ölçüde katkıda bulunabilmektedirler (Nagy, Z., Svetozarevic, B., Jayathissa, P., Begle, M., Hofer, J., Lydon, G. ve Schlueter, A. 2016). PV paneller binalarda maksimum ışınımdan yararlanmak üzere çatılara yerleştirilirken, yapılan araştırmalarda panellerde oluşan aşırı ısınma ile oluşan performans kayıpları sebebiyle, 1990 yılından sonra yapıların cephelerinde kullanımının gündeme gelmesini sağlamıştır (Çelebi, 2002). PV panellerin cephede kullanıldığı ilk örneklerden biri Fox ve Fowle mimarları ile Kiss ve Cathcart mimarlarının ortak tasarımı olan 1990 yılında New York'ta Durst Şirketine ait gökdelen cephesidir. Yapının cephesinde 37. kattan 43. kata kadar ince film teknolojisi kullanılarak gerçekleştirilen uygulama ile yılda 13.800kWh elektrik üretileceği öngörülmüştür. Bu cephe kaplaması gökdelenin duvarını oluşturmaktadır (Güneş, 2019).

159 metre yüksekliği ile Almanya'nın en yüksek yapısı olan Westendgate Binası 1976 yılında inşa edilmiştir. 2008-2010 yılları arasında ise bina yenilenirken enerji konusunda da köklü yenilemeler yapılmıştır. Yenileme sırasında kulelerin güneybatı cephesine, PV modüller yerleştirilmiştir. Şekil 49'da bina cephesine yerleştirilen PV paneller yer almaktadır. PV paneller sayesinde güneş ışınımı ile gündüz saatlerinde üretilerek depolanan enerji, gece LED aydınlatma bantlarında kullanılarak binanın enerji tüketiminde ve beraberinde karbon salınımında %36'lık bir azalma sağlarken, aynı zamanda binaya görsel zenginlik kazandırmaktadır (Altın, 2013).



Şekil 49. Yenileme sonrası bina cephesine yerleştirilen PV paneller (www.archdaily.com -h)

Bir diğer PV cephe örneği Almanya'nın Freiburg şehrinde 1999 yılında tamamlanıp kullanılmaya başlanan ofis binasıdır. PV panellerin yerleşimi Şekil 50'de yer verilen binada 19 kata yayılan ve 327 m2 'lik PV cephe sistemi ile yılda 24.000 kWh enerji üretimi gerçekleşmektedir. Bununla birlikte CO2 salınımını önlemektedir (Gündüz, İlerisoy, 2021).



Şekil 50. Solar Tower, Hauptbahnhof Freiburg (bz-ticket.de).

CF Møller Mimarlık tarafından tasarlanan Kopenhag Uluslararası Okulu 12.000'den fazla güneş paneliyle kaplanmış cepheye sahiptir. Şekil 51'de Danimarka'da yer alan

Kopenhag Uluslararası Okulunun Cephesi ve Şekil 52'de ise cephe panel detayına yer verilmiştir.



Şekil 51. Kopenhag Uluslararası Okulu Cephede yer alan PV paneller (architizer.com).

Cephe panellerinin tasarımında estetik kaygılardan yola çıkılarak görsel etkisine önem verilmiştir. Cephede yer alan PV paneller üç veya dört farklı tonla kaplanmış gibi görünmekle birlikte, aslında tüm paneller aynı renktedir. Bu görüntü sadece panelin açısına ve güneşin kendi yüzeyine nasıl çarptığına bağlı olarak değişmektedir. Mimarlar, bu görsel etkiyi yaratmak için panelleri dört farklı yönden birbiriyle 5 derecelik bir açı yaratacak şekilde yerleştirilmiştir (architizer.com).



Şekil 52. Kopenhag Uluslararası Okulu PV panelleri (architizer.com).

PV panellerin cephe kullanımında özellikle ince film PV paneller esnek ve ince yapıda oluşları ile esnek yapı formları oluşturulmasına imkan vermektedir. Aynı zamanda bu malzemelerin hafif oluşu cephe kullanımında bina yükünün azalmasına katkıda bulunarak avantaj sağlamaktadır (Ayçam, Kanan, 2009). Kurulumlarında sonra uzun yıllar boyunca sorunsuz olarak çalışmaktadır. Herhangi bir fosil yakıt tüketimi olmadan bağımsız bir şekilde enerji üretilebilmektedir. Modüler sisteme sahip olduklarından artan enerji ihtiyacı karşısında sisteme eklemeler yapılabilmektedir (Özdoğan, 2005). Bunun yanı sıra PV panellerin boyutu tasarımda sınırlayıcı olabilmektedir. Özellikle ince film PV'lerin maliyeti yüksek olabilmektedir. Onarım ve denetim işlemleri için yeterli teknik servis elemanının bilgi ve uygulama alanında yetiştirilebilmesi uzun yıllar alabilecek olması ise dezavantaj olarak görülmektedir (Ayçam, Kanan, 2009). PV paneller Elektrik enerjisi üretimi için geniş alıcı yüzeylerin yaratılması gerekmektedir. Fotovoltaik malzemeler geri dönüşümü olmayan malzemelerdir. Bu nedenle ömrünü tamamlayan malzemenin değiştirilmesi sırasında türlerine göre ayrıştırılarak imha edilmeleri gerekmektedir (Özdoğan, 2005).

3.2.2.2 Piezoelektrik akıllı malzemeler

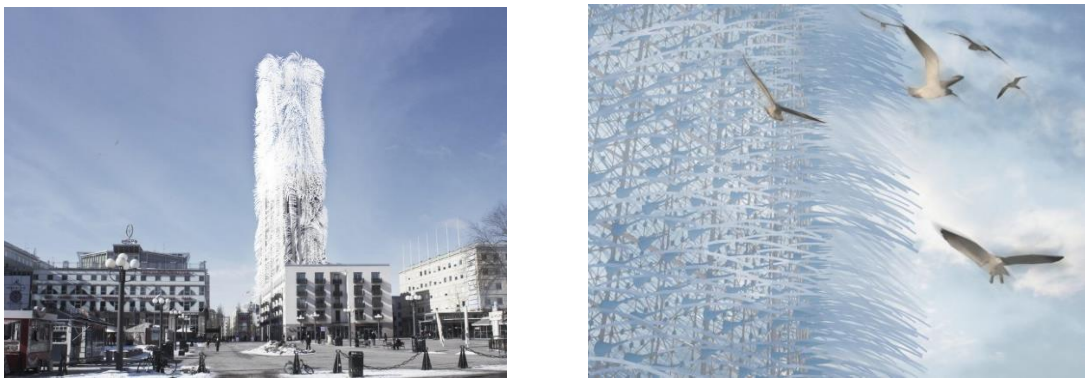
Enerji alışverişi yapan akıllı malzemeler sınıfında yer alan bir diğer akıllı malzeme Piezoelektrik malzemelerdir. Piezoelektrik malzemeler, mekanik enerjiyi elektrik

enerjisine çevirerek elektrik üreten malzemelerdir. Piezoelektrik etki ilk olarak Pierre ve Jacques Curie kardeşler tarafından 1880'de gözlemlenmiştir. Curie kardeşler polarize bir kristale bir basınç uygulandığında, indüklenen mekanik deformasyonun bir elektrik yükü ile sonuçlandığını gözlemlediler. Bu etki, moleküllerin parçalarının pozitif yüklü olduğu ve diğer parçaların negatif yüklü olduğu kalıcı polarize malzemelerde doğal olarak meydana gelen elektriksel ve mekanik formlar arasındaki geri dönüşümlü bir enerji dönüşümüne dayanmaktadır (Addington, Schodek, 2005).

Piezoelektrik etki birçok farklı cihazda uzun süredir kullanılmaktadır. Bir basıncın bir voltaj ürettiği bu özellik birçok farklı şekilde kullanılmaktadır. Bazı mikrofon ve hoparlör türleri, kapı zili iticileri ve sonsuz sayıda konum sensörü ve küçük aktüatörler bir dizi piezo tabanlı cihazdır (Addington, Schodek, 2005).

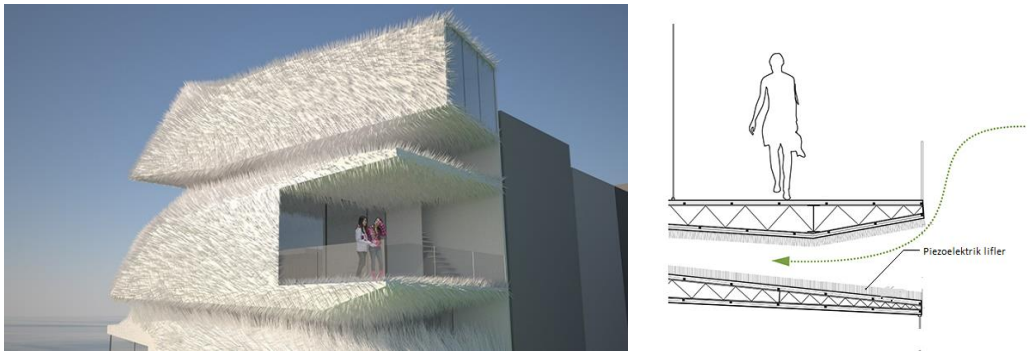
Axel Ritter mimarların ilgisini çeken piezoelektrik malzemeleri; Piezoelektrik seramikler, polimerler ve monokristaller olarak aktarmaktadır. Piezoelektrik monokristaller, örneğin, iyi piezoelektrik özelliklere sahip olan ancak teknik uygulamalarında yalnızca ikincil öneme sahip kristallerini içermektedir. Günümüzde ağırlıklı olarak sensör ve aktüatör teknolojisi için kullanılan polikristalin seramikler ve polimerlerdir. Mimarlari alandaki uygulamalarda, rüzgârın veya insanların hareketinin neden olduğu titreşimlerinden faydalanarak elektrik üretebilecek kullanımlar tasarlamak cazip gelmektedir (Ritter, 2007).

2013 yılında tasarım önerisi olarak sunulan Strawscraper Stockholm gökdeleni ile Piezoelektrik teknolojisini kullanarak, çok sayıda ince çubuk sayesinde rüzgârın etkisi ile elektrik üretilmesi planlanmıştır. Projeye ait görsellere Şekil 53'te yer verilmiştir. Proje ile rüzgâr enerjisi kullanılarak binaların nasıl enerji üretebileceğine dair imkânları göstermektedir. Bu teknik sayesinde yeni ve eski tüm bina yüzeyleri enerji üreten cephelere dönüştürülebilir. Ayrıca, cephedeki tüylerin sürekli hareketi cephelerde dalgalı bir görüntü oluşmasını sağlaması istenmiştir. Cephe, hareketi elektrik enerjisine dönüştürebilen piezoelektrik özelliklere sahip kompozit malzemeden oluşması planlanmıştır. Geleneksel rüzgâr türbinlerine kıyasla sessiz olmaları avantaj yaratmaktadır. Tüylerin enerji üretmesi için sadece hafif bir esinti yeterli olduğundan, düşük rüzgâr hızında çalışabilmektedir (belatchew.com).



Şekil 53. Strawscraper Stockholm gökdeleni (belatchew.com).

Piezoelektrik teknolojisini kullanarak tasarlanan bir diğer proje ise Mimar Bradley Edwards' a ait Fuzz.Box evleridir. Şekil 54'te görülen konuta ait görseller yer almaktadır. Amsterdam'daki Borneo-Sporenberg yarımadasında planlanan proje, 23 kilometrelik ortalama sabit rüzgâr hızı ile rüzgâr enerjisi sağlamaya uygundur. Fuzz.Box, piezoelektrik fiberlerle kaplı bir dizi rüzgar tünelinden oluşmaktadır. Piezoelektrik elyaf teknolojisi kullanılarak küçük ölçekli enerji hasadı sağlamakta kullanılması hedeflenmektedir. Her lif günde bir watt'a kadar enerji üretebilecektir. Liflerin hareketi ne kadar çok olursa, o kadar fazla elektrik üretilebilmektedir. Fuzz.Box, binanın yüzeyini kaplayan toplam 5.610.000 fiber ile günde 2244 kWh yani yaklaşık altmış dört eve yetecek enerji üretilebilecektir (www.ozarkmodern.com).



Şekil 54. Fuzz.Box evleri Piezoelektrik lifler (www.ozarkmodern.com).

Piezoelektrik malzemeler; Çalışma koşulları açısından ani ve şiddetli darbe ve titreşimler ile geniş bir sıcaklık aralığını kapsarlar. İstikrarlı sürekli ve uzun soluklu temiz enerji sağlamaktadırlar. Kolay şekillendirilebiliyor olmaları ve yüksek mekanik dayanım özelliğine sahip olmaları, aynı zamanda, esnek, hafif, düşük yoğunlukta olmaları avantaj

sağlamaktadır. Bunun yanında statik uygulamalar için uygun olmamaları yanında elektromanyetik etkileşim sorunları bulunmaktadır. Piezoelektrik aktüatörlerin hassas kontrolünün zor olması dezavantaj sağlamaktadır (Ayvaz, 2019).

3.2.2.3 Termoelektrik (Piroelektrik) akıllı malzemeler

Termoelektrik malzemeler, her iki yüzü arasındaki ısı farkı sayesinde elektrik potansiyeli oluşturan malzemelerdir. Yapı kabuklarında iç mekân ve dış mekân arasında doğal olarak bulunan ısı farkı sayesinde kullanılacak termoelektrik malzeme ile yapı kabuklarında elektrik üretimi mümkün olabilmektedir (Orhon, 2012). Çalışma prensibine bakıldığında kullanım verimliliği açısından, günlük ısı farkının yüksek olduğu iklimler termoelektrik malzemelerin kullanımında tercih edilebilecektir. Ülkemizde günlük ısı farklarının fazla olduğu Konya ve Erzincan gibi karasal iklim bölgeleri çalışmalar için uygun olabilecektir. Dünya ölçeğinde bakıldığında aynı nedenler ile çöl bölgeleri termoelektrik malzeme kullanımında tercih edilebilecektir (Topal, Arpacıoğlu, 2022). Termoelektrik akıllı malzemeler sınıfında yer alan malzemelerden en bilineni olan termojenaratör veya termal jeneratörlerdir. Mimari alanda, termoelektrik jeneratörlerin kullanımı mümkün görünmekle birlikte, günümüzde bina kabuğunda elektrik akımı üretmek için termoelektrik jeneratörlerin kullanıldığı bilinen bir uygulama bulunmamaktadır (Ritter, 2007).

3.2.3 Faz değiştiren malzemeler

Termal enerjiyi depolayabilen sistemlerde elektrik enerjisine ve fosil yakıt kullanıma duyulan ihtiyaç azalmakta bu sayede tüketim azalmakta beraberinde çevreye verilen zarar azalmaktadır. Bu sistemlerde özellikle yapılarda ısıtma ve soğutma ihtiyacının karşılanması sırasında ozon tabakasına zarar veren kloroflorokarbonlara (CFC) ihtiyaç duymadan konfor ısısını sağlayabilmektedir. Termal Enerji Depolamada mevcut 2 yöntem bulunmaktadır. Bunlar ısıl yöntem ve kimyasal yöntemlerdir. Isıl yöntem duyulur ısı ve gizli ısıdan oluşmaktadır. Kimyasal yöntem ise tepkime ısısı, kimyasal ısı pompası ve termokimyasal ısı pompasından oluşmaktadır. Faz Değiştiren Malzemeler (FDM, Phase Change Material) termal enerjiyi gizli ısı şeklinde depolayan malzemelerdir (Konuklu, Paksoy, 2011). Enerji alışverişi yapan akıllı malzemeler sınıfında yer alan malzemeler hem duyulur hem de gizli enerjiyi depolayabilen malzemelerdir. Bu

malzemeler içinde yer alan faz değiştiren akıllı malzemeler ışık, ısı, elektrik veya hidrojen şeklinde olup en azından bir miktar tersinirlik özelliği de taşımaktadırlar (Ritter, 2007). Işık depolayan akıllı malzemelerin bir kısmı ışık yayan akıllı malzemeler olarak bölüm 3.2.2 de alt başlıkta incelenmiştir. Elektrik depolayan akıllı malzemeler şu anda yeterince geliştirilmemiştir ve bunlarla ilgili çok az bilgi bulunmaktadır. Metal hidratlar, hidrojen depolayan malzemeler olarak kullanım için özellikle uygundur, ancak geri dönüşümlü olmadıkları için akıllı malzemeler olarak sınıflandırılamamaktadır (Ritter, 2007).
Bu bölümde sadece ısı depolayan akıllı malzemelerden olan FDM'ler ele alınmıştır.

FDM'ler faz geçişi özellikleri ile kendi iç ısılarını arttırmadan ısıyı absorbe eden veya salan malzemelerdir. FDM'ler mekândaki sıcaklık malzemenin erime noktasını aştığında, ısıyı kullanarak faz değiştirmeye başlayarak erirler. Isının düşmeye başlaması ile ise katı formlarına geri dönerler ve bu esnada depoladıkları ısı açığa çıkar. Böylece mekân ısısı konfor aralığında sabitlenmiş olur (Bayram, Orhon, 2020). Faz değişimi gösteren malzemelerde bu değişim; katı-katı, katı-sıvı, katı-gaz ve sıvı-gaz şeklinde gerçekleşebilmektedir. Yapılan çalışmalar yüksek entalpiye sahip değişimlerin sıvı-gaz veya katı-gaz şeklinde olduğunu göstermektedir. Yapı elemanlarında kullanılabilecek FDM'lerde faz değişim sıcaklığı önem taşımaktadır. Kullanılan FDM'de faz değişim sıcaklığının çok yüksek olması durumunda depolanan güneş enerjisi miktarı gündüz saatlerinde daha azdır. Buna karşılık faz değişim sıcaklığının çok düşük olması durumunda, gece boyunca iç mekânda konfor sıcaklığını sağlamak konusunda sorun yaşanmaktadır. Bu nedenle FDM'lerin seçiminde faz değişim sıcaklığı; yapı tipi ve iklim önem taşımaktadır (Tokuç, 2013).

Son yıllarda mimariye yönelik nispeten çok sayıda ürün geliştirilmiş ve pazara sunulmuştur. Mimaride yoğunlukla duvar ve tavan bileşeni olarak pasif iklimlendirme için kullanım olanağı sunmaktadır (Ritter, 2007). Yapının daha az enerji tüketimini hedefleyen harç ve dolgu malzemelerine katılan faz değiştiren malzeme katkıları (Ticari ismi: Mikronal) ya da cephe sistemleri olarak kullanılan (Ticari ismi: GlassX) uygulamalar faz değiştiren akıllı malzemelerin mimari kullanımına örnek teşkil etmektedir. Faz değiştiren akıllı malzemelerden olan GlassX cephe sistemlerinde gündüz güneş radyasyonu ile gelen ısıyı faz değişimiyle depolamakta malzeme faz değişiminin başladığı 27°C'ın altına düştüğünde depoladığı ısıyı mekâna vererek mekânın ısı

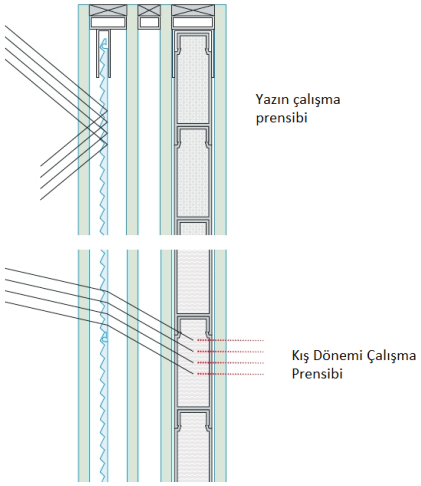
konforunu düzenlemektedir (Ritter, 2007). Cam yüzeyler ve gölgeleme elemanları bina enerji tüketimi üzerinde önemli bir role sahip olduğundan faz değiştiren akıllı malzemelerin kullanımı ve binaya entegrasyonları ile binaların cam yüzeylerinde termal performansının iyileşmesini sağlayacaktır. Cam yüzeyler için geliştirilen faz değiştiren malzemeyle doldurulmuş çift camlı pencereler buna örnektir. Yapılan araştırmalar faz değiştiren akıllı malzemelerin konfigürasyonunun güneye bakan cephedeki ısı kayıplarını yaklaşık %30 ve güneş kazanımlarını yaklaşık %50 azaltabileceğini göstermektedir (Ahmed, Radwan, Serageldin, Memon, Katsura, Nagano, 2020).

FDM kullanımının örneklerinden biri olan Güney Almanya'da Freiburg'un güneydoğu eteklerinde yer alan Sonnenschiff binası 2004 yılında inşa edilmiştir. Yapıya ait görsel Şekil 55'de görülmektedir. Yapıda kullanılan mikrokapsüllü parafin bazlı cephe panelleridir. Parafinin yüksek yanıcılık özelliğinden dolayı, kısa bir süre sonra tuz hidrat kullanılarak cam sistemi geliştirilmiştir (Ritter, 2007).



Şekil 55. FDM'lerin kullanıldığı Sonnenschiff binası (Ritter,2007).

GlassX cephe sisteminde faz değişimi yapan akıllı malzemeler, dar bir sıcaklık aralığında katıdan sıvıya (eriyik) faz değiştirirken çok fazla ısı depolamaktadır. Sonrasında soğudukça bu ısıyı serbest bırakmaktadırlar. GlassX'te kullanılan tuz hidrat, 26-30 °C sıcaklık aralığında erir ve donar. Doğrudan ışık iletimi malzeme sıvı olduğunda% 45'e ve kristalleştiğinde% 28'e kadardır. Şekil 56'da yüksek ve düşük ısıda çalışma prensibi aktarılmıştır (www.buildinggreen.com).



Şekil 56. GlassX cephe sisteminde faz değiştiren malzeme kullanımının yaz ve kış konumunda gün ışığı kontrolünü göstermektedir (www.buildinggreen.com).

İsviçreli mimar Dietrich Schwarz, 2004 yılında binanın güney cephesinde, 148 m2'lik yüzey alanında tuz hidrat ile doldurulmuş ısı depolayan cam sistemini kurgulamıştır. GLASSXcrystal olarak adlandırılan 78 mm genişliğindeki sistem, sıradan bir üçlü yalıtım cam ünitesi gibi inşa edilmiştir, ancak dışta ışık yönlendirici bir prizma panel ve içte polikarbonattan oluşan +26°C ila +28°C arasında ısıyı depolayan tuz hidrat karışımı faz değişimi yapan akıllı malzeme paneli bulunmaktadır. Binaya ait görsellere Şekil 57'de yer verilmiştir.

Yaz aylarında güneş radyasyonu prizmatik paneller tarafından dışarıya geri yansıtılırken, kış aylarında ise engelsiz geçmesine izin verir. Oda sıcaklığı +26 ° C'nin altına düşmesi ile örneğin; geceleri veya bulutlu günlerde, tuz hidrat kristalleşerek depolanan ısı enerjisini mekâna bırakmaktadır. Bu gizli ısı depolayan cam cephenin yük durumu, optik görünümünden doğrudan gözlemlenebilmektedir (Ritter, 2007).



Şekil 57. Örnekte FDM pencerelerde iki cam panel arasında kullanılmaktadır. Faz değişimi ile camlar arasında kullanılan polikarbonat ayırıcılar, pencerelere jaluzi görünümü vermektedir (Ritter, 2007).

Bina yapı elemanlarında ve yapı kabuğunda güneş enerjisinden yararlanarak binaların ısıtılıp, soğutulması sırasında en önemli sorun enerji sürekliliğinin sağlanamaması ve depolanamamasıdır. FDM' lerin yapı elemanlarına entegre edilmesi ile bu sorunun çözümüne yönelik alternatifler geliştirmek ve binaların ısıl kapasitelerinde artış sağlanırken iç ortamda ısı değişimlerinin azaltılması mümkün olabilecektir. Böylelikle iç mekân konforunda da artış sağlanabilecektir. FDM' lerin yapılarda kullanımında iklim özellikleri, FDM' lerin enerji depolama kapasiteleri, kullanım şekli gibi kriterler göz önüne alınmalıdır. Yapının kullanımının gece veya gündüz oluşu, ısıtma veya soğutma ihtiyacı kararı beraberinde seçilecek malzemelerde faz değişim sıcaklığı iç mekân kullanıcı konfor ısısının 1 ila 3˚C üzerinde olacak şekilde seçim yapılmaktadır (Tokuç, 2013).

FDM'ler yapı elemanlarına çeşitli yöntemler ile entegre edilerek kullanılabilir. Örneğin doğrudan birleştirme ile yapı malzemesinin üretimi esnasında sıvı veya toz halindeki yapı malzemesine karıştırılabilmektedir. Bu yöntemde ekonomikliği belirleyen kullanılan donanımdır. Bu yöntemde düzgün yayılımın sağlanamaması yanında FDM'nin erime fazında yapı malzemesinden dışarı sızma sorunu yaşanabilmektedir (Tokuç, 2013). Bir diğer teknik olan daldırma tekniğinde, gözenekli yapıda olan alçı levha, tuğla veya beton blok gibi yapı malzemeleri, erimiş FDM' nin içerisine daldırılarak gözeneklerine nüfuz etmesi sağlanmaktadır. Bu tekniğin avantajı daldırma işleminin her yerde her zaman yapılabilmesidir. Kapsülleme tekniğinde ise FDM' lerin çevre ile zararlı etkileşimlerden

korunması, ısı transferi için yeterli yüzey alanı sağlanması, yapısal dayanıklılık ve kolay kullanım olanağı sağlamaktadır (Canım, Kalfa, 2020).

FDM' lerin yapı kabuğunda kullanımı farklı iklim bölgelerinde değerlendirildiğinde, soğuk iklim bölgelerinde çok soğuk aylarda etkili olmamasına rağmen yıl bazında ortalama %20 verim alınabildiği görülmektedir. Ilıman iklimlerde yani gece ve gündüz farkının fazla olmadığı bölgelerde FDM' lerin yapı kabuğunda iç tarafta kullanılmasının iç makanda ısı dalgalanmalarını azaltması açısından daha yararlı olduğu belirtilmektedir. Bunun yanında gece ve gündüz ısı farkının fazla olduğu iklim bölgeleri için cephe kabuğunun dışında kullanımı uygun olmaktadır. Bu sayede gündüz FDM' lerin depoladığı ısı geceleri hava soğuduğunda kullanılmasını sağlayacaktır. Sıcak iklim bölgeleri için ise gece havalandırması ile desteklendiğinde FDM' lerin depoladıkları ısıyı ortama vermesi desteklenerek çalışma döngüsü sağlanmış olacaktır (Canım, Kalfa, 2020). FDM' lerin yapıda kullanımında malzemelere göre bazı avantaj ve dezavantajları aşağıda iletilmiştir.

Faz değiştiren malzemeler organik ve inorganik bileşikler olarak iki sınıf olarak incelenmektedir. Organik bazlı sınıfta yer alan parafin malzemeler 19-24°C faz değişimi sıcaklık aralığına sahiptirler. Bu özellikleri ile yapılarda en yaygın kullanılan FDM'lerdir. Bu malzemenin dezavantajı yanıcı olmalarıdır. Bir diğer organik bazlı FDM olan BioPCM' ler Parafine alternatif olarak geliştirilmişlerdir. Gıda endüstrisi atık ürünlerinin kullanımı ile geliştirilmiş BioPCM' ler yeni bir FDM çeşididir. Hammaddesinin petrol olmaması sebebiyle maliyeti daha düşüktür. Ayrıca Parafin gibi yanıcı değildir. Bozulmaya uğramadan binlerce kere faz değişimi geçirebilmeleri atık ürün olması sebebiyle çevreci ve sürdürülebilir oluşu sebebiyle avantaj sağlamaktadır. Kullanımı yaygın olan bir diğer FDM de inorganik bileşiklerden olan tuz hidratlarıdır. İnorganik bileşikler yüksek gizli ısıya sahip olmaları, yüksek ısıl iletkenlikleri ve nispeten ekonomik oluşları avantaj sağlamaktadır. Ayrıca yanıcı olmamaları nedeniyle Parafin malzemeye alternatif olmaktadırlar. Çok yüksek hacim değişimi göstermeleri, katı-sıvı geçiş sırasında süper soğuma özellikleri ve tekrarlanan döngülerde çekirdekleşmelerinde yardımcı ajana olan gereksinimleri dezavantaj yaratmaktadır (Tokuç, 2013; Canım, Kalfa, 2020).

3.2.4 Şekil hafızalı akıllı malzemeler

Addington ve Schodek tarafından yapılan sınıflandırmada Şekil Hafızalı Polimer ve alaşımlar (ŞHA) Enerji Alışverişi Yapan Akıllı Malzemeler sınıfının alt başlığında yer almaktadır. Axel Ritter ise Özellik Değiştiren Akıllı malzemeler sınıfında yer alan Şekil değiştiren akıllı malzemelerin alt başlığında Şekil Hafızalı malzemelere yer vermektedir. Karşılaştırma tablosunda hem Addigton ve Schodek hem de Ritter'in tablosunda Şekil Hafızalı alaşımların yer aldığı gruplar görülmektedir. Tablo 15'te verilmiştir. Şekil Hafızalı Alaşım ve Polimerlere bu bölümde yer verilmiştir.

Tablo 15. Axel Ritter ile Addington ve Schodek'in sınıflandırmasında Şekil Değiştiren Malzemeler ve Şekil Hafızalı Alaşım ve Polimerler gösterilmiştir.

Addington ve Schodek' e Göre Akıllı Malzeme Sınıflandırması	**Alex Ritter'e Göre Akıllı Malzeme Sınıflandırması**
Özellik Değiştiren Akıllı Malzemeler	
Renk Değiştiren Malzemeler	**Renk ve Optik Değiştiren Malzemeler**
Fotokromikler	Fotokromikler
Termokromikler	Termokromikler
Elektrokromikler	Elektrokromikler
Faz Değiştiren Malzemeler	**Şekil Değiştiren Malzemeler**
İletken Polimerler	Termostiriktif
Akıllı Jeller	Elektroaktif
–	**Adezyon Değiştiren Malzemeler**
	Fotoadezyon

Enerji Alışverişi Yapan Akıllı Malzemeler	
Işık Yayan Malzemeler	**Işık Yayan Malzemeler**
Fotolüminesans	Fotolüminesans
Elektrolüminesans	Elektrolüminesans
Lüminesans	
Enerji Alışverişi Yapan Malzemeler	**Elektrik Üreten Malzemeler**
Fotovoltaikler	Fotoelektrik
Ledler	Termoelektrik
Piezzoelektrik	Piezzoelektrik
Şekil Hafızalı Alaşımlar ve Polimerler	**Faz Değiştiren Akıllı Malzemeler**
Şekil Hafızalı Polimerler	Isı depolayan

Addington ve Schodek'e göre Şekil Hafızalı Alaşımlar (ŞHA) sıcaklık, manyetik, UV ışık, pH gibi bir dış uyaran etkisi ile şeklini, geçici olarak orijinal halinden, önceden programlanmış hallerine, kontrollü bir biçimde değiştirilebilen malzemeleri kapsamaktadır. Nikel-titanyum (NiTi) alaşımları, şekil hafızalı uygulamalarda yaygın olarak kullanılmakla birlikte birçok alaşım türü de şekil hafızalı etkiler sergilemektedir (Addington, Schodek, 2005).

Şekil hafıza etkisi, ilk olarak 1932 ve 1951 yıllarında altın-kadmiyum (Au-Cd) alaşım malzemelerde, daha sonra ise 1938 yılında pirinç (bakır çinko) alaşım malzemede gözlenmiştir. 1962 yılında ise Buehler ve arkadaşlarının ABD donanma savaş gereçleri laboratuvarında nikel-titanyum (NiTi) alaşımın şekil hafıza etkisini keşfetmeleri ile devam etmiştir. Şekil hafızalı malzemelerin sınıflandırması bileşenlerine göre organik veya inorganik olarak ikiye ayrılır. Organik yapıdaki şekil hafızalı malzemeler polimerler ve jelleri kapsamaktadır. İnorganik şekil hafızalı malzemeler, ise metal alaşımlar, seramikler ve camları kapsamaktadır. Şekil hafızalı alaşımlar ve şekil hafızalı polimerler en çok kullanılan malzemelerdir. Bu malzemeler sahip oldukları özellikler nedeniyle bazen beraber de kullanılabilmektedir (Bedeloğlu, 2011).

Şekil hafızalı alaşımlar (ŞHA) daha eski geçmişe ve daha geniş ticari uygulama alanına sahiptirler. Bunun yanında seramik malzemeler, polimerler ve jeller daha kısa bir geçmişe sahiptirler. Organik şekil hafızalı malzemeler olan polimerler ve jeller, inorganik malzemeler ile karşılaştırıldığında büyük geri dönüş deformasyonuna, kolayca ayarlanabilir sıcaklığa ve düşük maliyete sahiptir. Bu avantajları sebebiyle, şekil hafızalı polimerler ve jeller, uygulamalarda tercih edilmektedirler. Polimerlere göre ise jellerin zayıf mekanik özellikleri uygulama alanlarını kısıtlamaktadır (Bedeloğlu, 2011).

Şekil hafızalı alaşımlar (ŞHA) diğer akıllı malzemelerde olduğu gibi bir dış uyaranın etkisi (uygun ısıl işlem karşısında veya mekanik deformasyon) ile önceden tanımlı şekline veya boyutuna dönebilme özelliği gösteren malzemelerdir. ŞHA' lar; diş telleri, stentler ve ortopedik ürünler olarak sağlık sektöründe, otomotiv endüstrisinde, havacılık ve uzay çalışmalarında, robotik teknolojide ve bina alt yapı gibi alanlarda kullanılmaktadır (Çakmak, Kaya, 2017). ŞHA üç farklı yöntemle ısıtılabilmektedir.

Elektrik akımı geçirmek; bu yöntem küçük çaplı bir ŞHA teli veya yay kullanıldığında uygulanabilmektedir. Avantajı basit olmasıdır. Diğer yöntem, ŞHA elemanı etrafına sarılan yüksek dirençli bir tel veya bant içinden elektrik akımı geçirmek yoluyla ısıtılmasıdır. Bu yöntem ŞHA çubuklar veya tüpler için kullanılabilir. Son olarak ek ısıtma gerektirmeyen ŞHA elemanının termal radyasyona maruz bırakılması yoluyla ısıtılmasıdır. Bu yöntemde yapıyı geri çekmek zor olabilmektedir (Ergin, Girgin, 2019).

Şekil hafızalı alaşımlardan en fazla uygulama ve ticari değere sahip olanlar Ni-Ti alaşımları ve bakır esaslı alaşımlar sistemleridir. Birbirinden oldukça farklı olan bu sistemler bazı avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Bakır esaslı alaşımlarda şekil hafıza gerinim değeri % 4-5 iken, Ni-Ti alaşımlarda yaklaşık %8'dir. Ayrıca Ni-Ti alaşımları, çok iyi bir korozyon direncine ve çok daha yüksek sünekliğe sahipken bakır esaslı alaşımlar gerilmeli korozyona karşı hassastırlar (Ayvaz, 2019).

Şekil hafızalı polimerler (SHP'ler), uygun sıcaklık, manyetik, UV ışık, pH gibi bir dış uyaranın etkisiyle yanıt olarak şekillerini önceden tanımlanmış şekillerde değiştirebilen ve gelişmekte olan bir akıllı polimerler sınıfıdır. 1941 de Vernon ve arkadaşları polimerlerde "şekil hafızasını" keşfetmiştir. 1960'larda, kovalent olarak çapraz bağlanmış polietilenlerin (PE'ler) ısıyla daralan boru ve filmlerde kullanılması, SHP'lerin geliştirilmesinde bir başka dönüm noktası olmuştur. Özellikle Japonya ve ABD'de yeni uygulama çalışmalarına devam edilmektedir. Şekil hafızalı alaşımlarla (SHA'lar) karşılaştırıldığında, SHP'ler yüksek elastik deformasyonları, düşük maliyetleri, düşük yoğunlukları ve potansiyel biyouyumluluk ve biyobozunurluk avantajlarına sahiptirler. Ayrıca çok çeşitli özelleştirilebilir uygulama sıcaklıkları ve ayarlanabilir sertlikleri sebebiyle kolayca işlenebilmektedirler (Li, Duan, Zhang ve Wang, 2018). Polimerler farklı biçimde kolayca üretilebildiğinden, uygulamalar ilgi çekicidir. Sadece mimari değil örneğin tıbbi uygulamalarda, cerrahi operasyonlarda kendi kendine bağlanan düğümler olarak kullanılacak şekil hafızalı polimer şeritlerin geliştirilmesini de içermektedir (Addigton, Schodek,2005).

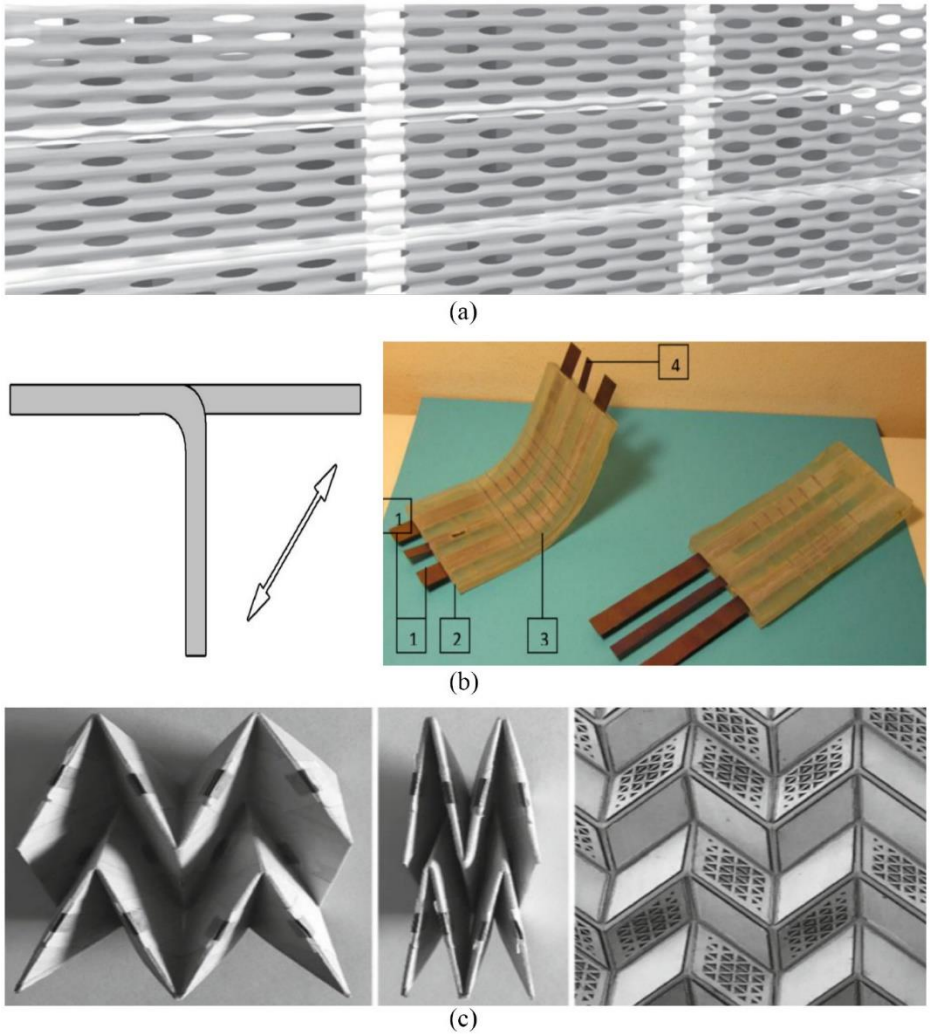
Tablo 16’da Şekil Hafızalı malzemelerin organik ve inorganik sınıflandırması ve bu sınıflandırmada yer alan malzemelerin avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır.

Tablo 16. Şekil hafızalı malzemelerin sınıflandırması ve avantaj ve dezavantajları

			Avantajları	Dezavantajları
ŞEKİL HAFIZALI AKILLI	**ORGANİK**	**Polimerler, Jeller** **Polimerler(daha yaygın ve avantajlı kullanım)**	*Büyük geri dönüş deformasyonu *kolayca ayarlanabilir sıcaklık *düşük maliyet *Kolay işlenebilirlik	Alaşımlara Göre daha az uzama performansı Jellerde zayıf mekanik özellikler
	İNORGANİK	**Metal Alaşımlar Seramikler ve camlar** Uygulama açısından yaygın kullanılanlar **NiTi Alaşımlar (daha yaygın ve avantajlı kullanım** Bakır esaslı alaşımlar	*%8 Uzama performansı	*geri dönüş deformasyonu düşük oluşu *Yüksek maliyet

Şekil Hafızalı Malzemeler ile mimari alanda bir çok uygulama ve prototip çalışması bulunmaktadır.

Bu örneklerden birinde Yunanistan'ın Atina kentindeki Pire Kulesi için bir prototip cephe tanımlamıştır. Bunun için modellenen cephedeki açıklıklar, aktivasyon sıcaklığı 35°C–40°C olan Şekil Hafızalı Alaşımlar kullanılarak kontrol edilmektedir. Bu cephe tasarımı sayesinde hava akışı ve dolayısıyla doğal havalandırma sağlanırken, aynı zamanda ışık maruziyeti düzenlenmesi ile ısı değişimi kontrolü sağlanabilecektir. Cephe prototipine ait çalışmalar Şekil 58'de görülmektedir (Sobczyk, Wiesenhütter, Noennig ve Wallmersperger, 2022).



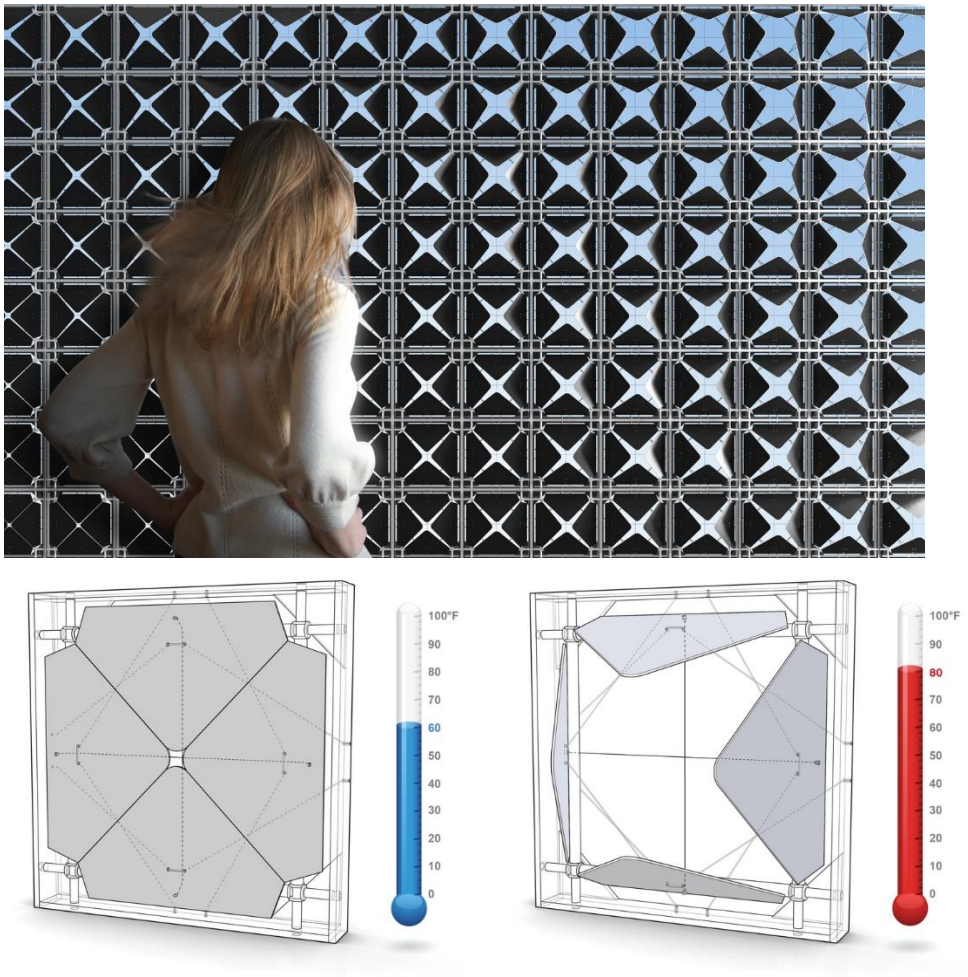
Şekil 58. Cephe prototipine ait görsel(a), cephede kullanılan ŞHA çalışma ilkesi(b) ve Prototipin 1mm ahşap kontrplaktan yapılan prototipi (c) görülmektedir (Sobczyk, Wiesenhütter, Noennig ve Wallmersperger, 2022).

Elektrik aktivasyonlu ŞHA Nitinol ve çinkonun beraber kullanımı ile gerçekleştirilen bir diğeri ise, SELF Adaptive Membrane örneğidir. Gonzalez ve More tarafından, 2015 yılında tasarlanan prototip ile sürdürülebilir bir geleceği şekillendirmek hedeflenmiştir. Prototipe ait görsel Şekil 59' da görülmektedir. Mekanik iklimlendirmeye ihtiyaç duymayan sistem geliştirmeyi amaçlayan çalışmada güneş ışınımı ile cephe geometrisini değiştiren sistem geliştirilmiştir. ŞHA Nitinol, çinko ile birlikte kullanılarak oluşturulan ve elektrikle aktive edilen kinetik motor sistemidir (Ergin, Girgin, 2019). Sistemde sıcaklık ve elektrik etkisi ile uzayan Nitinol ve çinko yayları kullanılmıştır. Bu yaylar sayesinde hareketli kabuk sistemi oluşturulmaktadır (www.designboom.com).



Şekil 59. Elektrik aktivasyonlu ŞHA Nitinol ve çinkonun beraber kullanımı ile gerçekleştirilen prototip (www.designboom.com).

LIFT mimarlık tarafından hazırlanan The Air Flow-er'in projesi ile güç kaynağına gerek duyulmaksızın, hava akışını sağlanması ile iç ortam kalitesinin dengede tutulması amaçlanmıştır. Kavramsal olarak Air Flow(er), sarıçiğdem çiçeğinin termonastik tepkisine dayanmaktadır. Sistemde aktif bileşen olarak, Şekil Hafızalı Alaşım (ŞHA) teli kullanılmıştır. Bir ŞHA daha düşük sıcaklıktayken, kolayca yeni bir şekle deforme olabilir. Dört kanatlı prototip, doğal havalandırmalı çift cidarlı bir cephe sisteminin hem dış hem de iç yüzünde çalıştırılabilir panjur veya gölgelik olarak kullanılabilmektedir. Prototipe ait görsel ve çalışma sıcaklıkları Şekil 60' ta verilmiştir. Çift cidarlı bir cephenin ana avantajı, çevre bölgesi ile dış ortam arasındaki termal/akışkan alışverişi üzerinde daha fazla kontrol sağlamasıdır. Yaz aylarında, iç ve dış kaplama arasındaki boşluk, Air Flow-er'in artan sıcaklıklara otomatik tepkisi yoluyla binanın dışına havalandırılabilmektedir. Güneş enerjisi kazanımı azaltılır ve binanın mekanik ekipmanı üzerindeki soğutma yükü azaltılır. Kışın, çift cidarlı bir cephe, boşluğu kapatmak için Air Flow-er'ı kullanarak ve cephe ısı kaybını en aza indirmek için emilen radyasyonu kullanarak pasif bir güneş enerjisi ısıtıcısı görevi görebilir (www.liftarchitects.com).



Şekil 60. Çift cidarlı bir cephe sistemi olarak ŞHA tel kullanılarak tasarlanan The Air Flow-er projesi prototipi (www.liftarchitects.com).

ŞHA' ların mimari alandaki uygulamaları her ne kadar prototip olarak kalsa da güç kaynaklarına minimum düzeyde veya hiç ihtiyaç göstermemeleri sebebiyle gelecek için önemli bir potansiyel taşımaktadır (Ergin, Girgin, 2019).

Enerji Alışverişi yapan akıllı malzemeler sınıfında yer alan malzemelerin avantaj ve dezavantajlarını içeren tabloya Tablo 17'de yer verilmiştir.

Tablo 17. Enerji Alışverişi Yapan Akıllı Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları Tablosu

Akıllı Malzeme Sınıfı		Akıllı Malzeme	Dış Uyaran	**Yapıda Uygulama Alanı**	**Avantajları**	**Dezavantajları**
Enerji Alışverişi Yapan Akıllı Malzemeler	**Işık Yayan Malzemeler**	Fotolümünesans	Işık	Florosan ve Fosflorasan Boya ve filmler ile parlama özellikli yapı bileşenleri	*Işığı direk olarak yayar, bu nedenle verimlidir. *Kızılötesi, UV radyasyonu yoktur, çevresel zararları yoktur. *Isı üretmezler	* Normal kullanılan lambaların aksine nominal akım değerlerinde çalışır. * Lambalar gibi yönlü ışık olacak şekilde kullanılması için, ekstradan filitre veya optik tasarım gerektirir * Dış ortam koşullarına dayanıklı değildirler bu sebeple dış mekanda kullanımları yoktur.
		Elektrolüminesans	Elektrik	Işık Yayan Diyot (LED) ve Organik ışık yayan Diyot(OLED)	*Ledler ile aynı özellikte tşırken LED lere göre daha parlak ışık yayarlar *Çok az enerji tüketir. *Uzun ömürlüdür. *Işığı direk olarak yayar, bu nedenle verimlidir. *Isı üretmezler *Farklı renk seçenekleri ile geniş kullanım alanları bulunmaktadır. *Esnek ince ve hafiftirler	*İlk etepta yüksek olan maliyetleri kullanımı yaygınlaştıkça düşmaktadir.
	Elektrik Üreten Malzemeler	Fotoelektrik	Işık enerjisi	Fotovoltaik paneller olarak Bina çatıları, Bina cephe kaplaması, giydirme cephe veya güneş kırıcı	*Enerji üretimi ile binanın enerji tüketimine katkı sağlar * Esnek ve ince yapıda oluşları ile esnek yapı formları oluşumuna imkan vermektedir. *Özellikle ince film PV ler hafif olmaları ile binaya yükü azaltmaktadır.	*PV panellerin boyutu tasarımda sınırlayıcı olabilmektedir. *Özellikle ince film PV lerin maliyeti yüksek olabilmektedir. *Onarım ve denetim işlemleri çin yeterli teknik servis elemanının bilgi ve uygulama alanında yetiştiirilebilmesii uzun yıllar alabilecektir. *Elektrik enerjisi üretimi için geniş alıcı yüzeylere ihtiyaç duyulmaktadır

		Piezoelektrik	Kuvvet (mekanik enerji	Elektrik üreten rüzgar tüyleri(Teorik)	*Çalışma koşulları geniş bir sıcaklık aralığını ve ani ve şiddetli darbe ve titreşimleri kapsarlar. *Sürekli, istikrarlı ve uzun soluklu temiz enerji sağlarlar. *Kolay şekillendirilebilme, yüksek mekanik dayanım özelliğindedirler. * Esnek, hafif, düşük yoğunluğa sahiptirler	*Statik uygulamalar için uygun olmamaları *Elektromanyetik etkileşim sorunlarının bulunması *Aktüatörlerin hassas kullanımının zor olması
		Termoelektrik	Malzeme yüzeyleri arasındaki ısı farkı	Elektrik üreten Yapı Kabukları (teorik)	Uygulanmış örneği bulunmamaktadır.	Uygulanmış örneği bulunmamaktadır.
	Isı Depolayan Malzemeler	Faz değiştiren Malzemeler	Sıcaklık Farkı	Isı yalıtımı sağlayan harç dolgu ve katkılar Isı depolayan akıllı cepheler	*FDM' lerin uygulamaları binaların ekolojik ayak izlerinin azaltılmasına destek verirler *Geleneksel malzemelere göre ısı depolama açısından oldukça avantajlıdırlar. *Özellikle BioPCM'ler Bozulmaya uğramadan binlerce kere faz değişimi geçirebilmeleri	*Organik bileşenli parafinler yanıcı olabilmaktadir. *İnorganik bazlı tuz hidratlar çok yüksek hacim değişimi gösterebilmektedir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tarihsel süreç içinde yapı cephelerinden beklentiler zamanla ve teknolojideki gelişmelerle birlikte değişiklik göstermiştir. Cepheler önceleri sadece iç mekan ile dış ortamı ayırarak sınırlayıcı ve koruyucu görevine sahipken günümüzde çevre ile uyum sağlayarak, enerji tüketiminin azaltılmasına katkı sağlayan, enerji üretebilen parçaları haline gelmiştir. Yapıların cephesinde kullanım alanı bulan malzeme tercihinde, tasarımın her aşamasında estetik kaygıların yanında birçok farklı etken bulunmaktadır. Tasarımı etkileyen bu etkenler iklimsel etkenler, kullanıcı konfor ihtiyaçları ile sürdürülebilirlik ve dolayısıyla enerji tüketiminin azaltılması olarak sıralanabilir. Kullanıcı konforu sağlanırken kullanılan malzemelerin yapılarda enerji tüketimini azaltmaya yönelik seçimler yapılması, yapıların çevreye yapacağı olumsuz etkilerin minimum seviyelerde tutulmaya çalışılması gerekmektedir.

Mimari tasarımlarda akıllı malzemelerin kullanılmaya başlaması ile birlikte yapı cepheleri pasif birer yapı elemanından aktif yani çevre ve kullanıcı ihtiyaçları ile uyumlu yapı elemanlarına dönüşmektedirler. Bu sayede de enerji tüketimine olumlu katkı sağlamaktadırlar. Yüksek yapı cephelerinin kat alanına göre cephe yüzey alanlarının fazla olması sebebiyle ısı kayıp ve kazançları da fazla olmaktadır. Yüksek yapı cephelerinde akıllı malzemelerin kullanımı sayesinde çevreye duyarlı, uzun ömürlü, bakım maliyetlerini azaltan, kendi enerjisini üreten, ısı korunumu sağlayan, gün ışığından gerektiği gibi faydalanan böylece enerji ve kaynak tüketiminin azaltarak enerji etkinliğine katkı sağlamak mümkün olabilecektir. Aşağıda Tablo 18'de daha önce 2. Bölümde 2.4 Yüksek Yapılarda Enerji Etkin Cephe Tasarımı ve Enerji Performansına Etkisi alt başlığında belirlenen enerji etkinliği kriterleri doğrultusunda akıllı malzemelerin özellikle yapı cephesinde kullanım olanakları ve enerji etkinliğine katkıları özetlenmiştir. Tabloda;

Termal Konfor: Kullanılan akıllı malzemenin kullanıcının termal gereksinimlerine cevap verebilmesini ifade etmektedir.

Görsel Konfor: Kullanılan akıllı malzemenin kontrollü ışık geçirgenliğini ifade etmektedir.

Gün Işığından Yararlanma: Kullanılan akıllı malzemenin gölgeleme elemanına ihtiyaç duymadan gün ışığı ihtiyacını karşılayabilmeyi ifade etmektedir.

Enerji tasarrufu: 1-Kullanılan akıllı malzemenin ısıtma soğutma ve iklimlendirme sistemlerine ihtiyacının azaltılmasını ifade etmektedir.

2- Kullanılan akıllı malzemenin yapay aydınlatma sistemlerine ihtiyacının azaltılmasını ifade etmektedir.

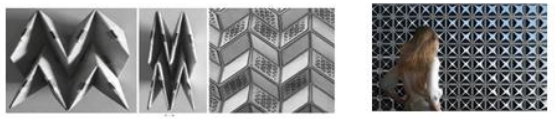
Enerji Üretimi: Kullanılan akıllı malzemenin yapının ihtiyaç duyduğu enerjinin bir bölümünü karşılayabilecek enerjiyi üretebilmeyi ifade etmektedir.

Bakım, onarım: Kullanılan akıllı malzemenin yapının kullanımı esnasında bakım ve onarım gereksinimini, kullanım ömrü ve dış etkilere dayanımını ifade etmektedir.

Bu kriterler doğrultusunda değerlendirmede sıfır ‘0’ değeri kullanılan akıllı malzemenin bu özelliğinin bulunmadığını, bir ‘1’ değeri ise kullanılan akıllı malzemenin bu kriteri sağladığını ifade etmektedir.

Tablo 18. Akıllı Malzemeler ve Enerji Etkinliğine Katkıları

Akıllı Malzeme Sınıfı		Akıllı Malzeme	ENERJİ ETKİNLİĞİ İÇİN BELİRLENEN KRİTERLER								ÖRNEKLERE AİT GÖRSELLER
			TERMAL KONFOR	GÖRSEL KONFOR	GÜN IŞIĞINDAN YARARLANMA	ENERJİ TASARRUFU-İklimlendirme	ENERJİ TASARRUFU-Aydınlatma	ENERJİ ÜRETİMİ SAĞLAMA	TEMİZLİK VE BAKIM İHTİYACI İÇİN ENERJİ TÜKETİMİ	HAVA KALİTESİNİ İYİLEŞTİRME	
Özellik Değiştiren Akıllı Malzemeler	Renk ve Optik Değiştiren Malzemeler	Fotokromik Malzemeler	1	0	0	1	0	0	1	0	
		Termokromik Malzemeler	1	0	0	1	0	0	1	0	
		Elektrokromik Malzemeler	1	1	0	1	1	0	0	0	
	Adezyon Değiştiren	Fotokatalitik Malzemeler	0	0	0	0	0	0	1	1	

Akıllı Malzeme Sınıfı		Akıllı Malzeme	ENERJİ ETKİNLİĞİ İÇİN BELİRLENEN KRİTERLER								ÖRNEKLERE AİT GÖRSELLER
			TERMAL KONFOR	GÖRSEL KONFOR	GÜNI ŞIĞINDAN YARARLANMA	ENERJİ TASARRUFU-İklimlendirme	ENERJİ TASARRUFU-Aydınlatma	ENERJİ ÜRETİMİ SAĞLAMA	TEMİZLİK VE BAKIM İHTİYACI İÇİN ENERJİ TÜKETİMİ	HAVA KALİTESİNİ İYİLEŞTİRME	
Enerji Alışverişi Yapan Akıllı Malzemeler	Işık Yayan Malzemeler	Fotolümünesans	0	0	0	0	1	0	0	0	Malzemeler dış mekan kullanımının yaratacağı sorunlar sebebiyle bu malzemenin cephe kullanımı yeterli etkinlikte olamamaktadır.
		Elektrolümines	0	0	0	1	1	0	0	0	
	Elektrik Üreten Malzemeler	Fotoelektrik	0	0	0	1	1	1	0	0	
		Piezoelektrik	0	1	0	1	1	1	0	0	
	Isı Depolayan Malzemeler	Faz değiştiren Malzemeler	1	0	0	1	0	0	0	0	
	Şekil Hafızalı Malzemeler		1	1	1	1	1	0	0	0	

Fotokromik camlar; ışık etkisi ile koyulaştığından soğutma için harcanan enerjiden sağladığı tasarruf ısıtma ve aydınlatma enerjisinden sağlanan tasarrufa olan katkısından daha fazladır. Bunun nedeni cam koyulaştığında, ısı ile birlikte günışığı geçişi de azaltmaktadır. Bu sebeple ısıtma ve aydınlatma sitemine duyulan ihtiyaç artmaktadır. Bu bakımdan özellikle yazın termal konforun artmasını sağlamaktadırlar bununla birlikte günışığından faydalanmada etkileri bulunmamakta ve yapay aydınlatmaya ihtiyaç artmaktadır.

Termokromik camlar; ısıya duyarlı olduklarından fotokromik cama göre daha fazla soğutma enerjisi tasarrufu sağlamaktadırlar. Ayrıca cam üzerinde biriken ısıyı fotovoltaik katmanlar aracılığı ile enerjiye dönüştürebilecek sistemlerle entegre edilmeleri halinde enerji tasarrufu anlamında daha da yararlı hale geleceklerdir.

Elektrokromik camlar; diğer sistemlere göre daha avantajlıdır. Ayrıca isteğe göre ayarlanabilir olması ve otomasyon sistemiyle tam kontrolünün sağlanabilmesi avantaj sağlamaktadır. Bakım gereksiniminin fazla olması, yüzey alanı büyüdükçe elektrik alanın azalması ve yüksek maliyetli oluşları dezavantajıdır.

Fotokatalitik malzemeler; yapı cephelerinde yapı elemanı olarak duvarlarda kullanılabileceği gibi, beton, seramik, metal, cam, plastik, tuğla, briket, sıva gibi yüzeylere uygulanabilmektedir. Bu kaplamaların kullanımı ile oluşturulacak cephelerde yağmurla kendini temizleme özelliği yanında havayı da temizleyebilmekte ve hava kalitesinde artış sağlamaktadır. Cam yüzeylerde kullanımında ayrıca görsel konfor sağlamakta diğer akıllı malzemeler ile beraber kullanılmaları ile tabloda yer alan termal konfor, enerji tasarrufu ve enerji üretimi gibi kriterlerinde sağlanması mümkün olabilecektir.

Fotolüminesans malzemeler; gün ışığında bulunan ultraviyole radyasyonu emip ışık olarak yaymaktadırlar, ancak çok fazla ışığın olmadığı veya yetersiz kaldığı günlerde görünürlük ve güvenlik aydınlatması sağlayabilmekte bu sayede aydınlatmada enerji korunumu sağlamaktadırlar. Ancak bu malzemelerin dış ortam koşullarına dayanımları yetersiz olduğundan, cephe uygulamalarında yer bulamamaktadırlar.

-Elektrolüminesans Akıllı Malzemeler; LED'ler mimari alanda enerji tüketimini azaltan en bilinen ve yaygın kullanımı aydınlatma ürünleridir. Aydınlatmanın yanı sıra medya ekranı olarak kullanımları bulunmaktadır. Ayrıca PV ile entegre olarak kullanılan

örnekleri ile tüketimlerinin az olması ısı yaymamaları yanında kullandıkları enerjiyi kendilerinin üretmesini sağlamak da mümkün olabilmektedir.

OLED'ler ise daha fazla parlaklık sağlamaları, her bir pikselin adreslenebilir olması ve daha ince olmaları gibi avantajları sayesinde ekran olarak da kullanılmaktadırlar. Yine PV' ler ile entegre kullanımları sayesinde cephede kullanımlarında enerji verimliliklerini arttırmak mümkün olmaktadır.

Fotoelektrik Akıllı Malzemeler; İnce film PV modülleri, geleneksel modüllere kıyasla esnek ve hafif olmaları, yapılan son araştırmalarda geleneksel modülerle benzer verimlilik sağlamaları sebebiyle yapı cephelerine yük yaratmamaları sebebiyle avantaj sağlamaktadır. Yapı cephelerine yapılan uygulamalarda gündüz kullanımının yoğun olduğu yüksek katlı ofis binaları ile otellerin cepheleri, özellikle depolama maliyetinin yüksek olması sebebiyle, depolama ihtiyacına gerek kalmadan kullanılmasını sağlayacak ve depolama maliyetleri ortadan kalkacaktır.

Piezoelektrik malzemeler; cephe yüzeyini kaplayan piezoelektrik lifler sayesinde elektrik enerjisi üretebilmektedir. Üretilen elektriğin miktarı, liflerin hareket hızı ile orantılı olurken cephede görsel konfora destek sağlayabilmektedirler. Enerji üretimi ile yapılarda iklimlendirme ve aydınlatmada enerji tüketimine olumlu katkı sağlayabilmektedirler.

Faz değiştiren akıllı malzemelerin cephede kullanımları ile yapılarda termal konforun artması ve beraberinde özellikle iklimlendirme sistemlerine duyulan ihtiyacın azaltılması ile enerji korunumu sağlanması mümkün olabilmektedir.

Şekil hafızalı alaşımlar yapı cephelerinde gölgeleme elemanı olarak kullanılabilmektedir. Isı ile kontrol edilebildikleri gibi elektrik aktivasyonlu ŞHA'lar ile kullanıcı konforuna uygun kontrol sağlandığında kışın gün ışığından faydalanmak hem de yazın günışığının ısıl etkilerine karşı korunmak mümkün olabilecektir. Sisteme entegre edilebilecek PV paneller ile enerji üretiminin sağlanması da mümkün olabilecektir.

Akıllı malzemelerin cephelerde kullanımında her bir malzemenin kendi içinde enerji etkinliğine katkı sağladığı görülmektedir. Bu malzeme ve sistemlerin birlikte kullanımları ile enerji etkinliği konusunda akıllı malzemelerden maksimum faydanın sağlanması da mümkün olabilecektir.

Bu çalışma ile akıllı malzemelerin kullanımı ile enerji etkin yapılar oluşturulurken bu malzemeler ile cephelerde farklı kullanım alanları örnekler ile incelenmiştir. Akıllı malzemelerin ve sistemlerin enerji etkin cephe uygulamalarında yaygınlaşması adına potansiyelin varlığına dikkat çekmek hedeflenmiştir. Son dönemde mimaride doğal çevre ile uyumlu enerji etkin cephe tasarımları ile ilgili alternatif çalışmalar yapılsa da uygulamada geleneksel olarak adlandırılan yapı malzemelerin kullanımının dışına çıkılmamaktadır. Akıllı malzemelerin bir kısmında uygulamalar daha yaygınken bir kısmı hala çalışma aşamasındadır. Akıllı malzemelerin enerji etkinliğinde önemli bir yere sahip olması göz önüne alındığında çok daha fazla malzemenin kullanılabilirliğinin önünün açılması ve bu konuda çalışmalara devam edilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Abdullah, Y. S., Al-Alwan, H. A. S.(2019). Smart material systems and adaptiveness in architecture. *Ain Shams Engineering Journal.* 10(3), 623-638.

Açıksarı, C, Karasu, B. (2018). Akıllı camlar ve teknolojik gelişimleri. *El-Cezeri*. 5(2), 437-457.

Addington, M., Schodek, D. (2005). *Smart materials and new technologies for architecture and design professions*. New York: Harvard University, Architectural Press, Elsevier.

Ahmed, M., Radwan, A., Serageldin, A., Memon, S., Katsura, T., Nagano, K. (2020). Vakum yalıtımı, fotovoltaik ve faz değiştirme malzemesi ile entegre yeni kayar akıllı pencerenin termal analizi. *Sürdürülebilirlik*. 12(19), 7846.

Altın, M. (2013). Sürdürülebilir bina kabuğu tasarımı ve fotovoltaik paneller. *11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi,* İzmir. Erişim Tarihi: 11 Kasım 2022. http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/9c483c7a1f7488c_ek.pdf

Arch 365 internet sitesi (2017). Mimari Makineler, Arap Enstitüsü, Jean Nouvel. Erişim tarihi: 10 Temmuz 2021. http://arch365bilgi.blogspot.com/2017/05/mimari-makineler-arap-enstitusu-jean.html adresinden alındı.

Archdaily internet sitesi. Woolworth Binası. Erişim tarihi: 28 Ağustos 2021. https://www.archdaily.com/477187/ad-classics-woolworth-building-cass-gilbert/52fabd6de8e44ecb2c0000ca-ad-classics-woolworth-building-cass-gilbert-image adresinden alındı.

Archdaily İnternet Sitesi. Chrysler Binası. Erişim tarihi: 28 Eylül 2021. https://www.archdaily.com/98222/ad-classics-chrysler-building-william-van-alen/5037f20f28ba0d599b0005cf-ad-classics-chrysler-building-william-van-alen-photo?next_project=no adresinden alındı.

Archdaily İnternet Sitesi. Empire State Binası. Erişim tarihi: 28 Eylül 2021. https://www.archdaily.com/797767/ad-classics-empire-state-building-shreve-lamb-harmon/58415a46e58ece9e190003c1-ad-classics-empire-state-building-shreve-lamb-harmon-photo adresinden alındı.

Archdaily İnternet Sitesi. Seagram Binası. Erişim tarihi: 30 Eylül 2021. https://www.archdaily.com/59412/ad-classics-seagram-building-mies-van-der-rohe adresinden alındı.

Archdaily İnternet Sitesi. Marina City / Bertrand Goldberg. Erişim tarihi: 5 Aralık 2021. https://www.archdaily.com/87408/ad-classics-marina-city-bertrand-goldberg adresinden alındı.

Archdaily İnternet Sitesi . The Bertram and Judith Kohl building. Erişim tarihi: 20 şubat 2022. https://www.archdaily.com/442453/the-bertram-and-judith-kohl-building-westlake-reed-leskosky/526936b4e8e44ef4c2000411-the-bertram-and-judith-kohl-building-westlake-reed-leskosky-photo?next_project=no adresinden alındı.

Archdaily İnternet Sitesi. Greenpix zero energy media Wall. Erişim tarihi: 4 Nisan 2022. https://www.archdaily.com/245/greenpix-zero-energy-media-wall adresinden alındı.

Archdaily İnternet Sitesi. Westendgate just Burgeff. Erişim tarihi:14 Nisan 2022. https://www.archdaily.com/175519/westendgate-just-burgeff-architekten-a3lab/50160d5528ba0d15980008ec-westendgate-just-burgeff-architekten-a3lab-image?next_project=no adresinden alındı.

Architizer İnternet Sitesi. How to create truly solar-powered architecture. Erişim tarihi: 17 Nisan 2022. https://architizer.com/blog/inspiration/stories/cf-moller-solar-tiles/ adresinden alındı.

Atay, B. (2015). *Seramik uygulamalarına yönelik fotokromik malzemelerin geliştirilmesi*. (Yayın no: 310335). [Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi]. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp

Ayçam İ. (2011). Enerji etkin ofis binalarında gelişmiş cephe sistemlerinin incelenmesi. *Teskon Kütüphanesi*. http://mmoteskon.org/teskon2011/2011-102/ (Erişim tarihi: Ağustos 2021)

Ayçam İ., Güner C. (2018). Geleceğin kentlerinde enerji etkin binalarda cephe malzemelerindeki değişimin dinamik ve akıllı yapı kabuğuna etkisi. *Uluslararası Kentleşme ve Çevre Sorunları Sempozyumu: Değişim/Dönüşüm/Özgünlük*, Eskişehir. Erişim Tarihi: 20 Haziran 2022. https://www.researchgate.net/publication/338356706_Gelecegin_Kentlerinde_Enerji_Etkin_Binalarda_Cephe_Malzemelerindeki_Degisimin_Dinamik_ve_Akilli_Yapi_Kabuguna_Etkisi_The_impact_of_the_changes_in_the_facade_materials_on_the_dynamic_and_intelligent_bu

Ayçam, İ., Kanan, N. Ö. (2009). Ekolojik mimarlık kapsamında bina bütünleşik nano-pv malzemenin incelenmesi. *V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu 2009,* Diyarbakır. Erişim Tarihi: 26 Mayıs 2021. https://www.emo.org.tr/etkinlikler/yeksem/etkinlik_bildirileri_detay.php?etkinlikkod=100&bilkod=4754

Bal, C. (2003). *Yüksek bina yapım sistemlerinin tasarım kısıtlamaları üzerine bir araştırma*. (Yayın no:142636). [Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü]. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp

Begeç H. (2011). Sürdürülebilir yüksek yapı tasarımında yönelimler. *Ege Mimarlık Dergisi*. Nisan, 30-34

Belatchew İnternet Sitesi. Strawscraper-an urban power plant. Erişim tarihi: 17 Nisan 2022. https://belatchew.com/en/projekt/strawscraper/ adresinden alındı.

Boduroğlu Ş., Seçer K. F., Sarıman E. (2010). Geçmişten günümüze yapı tasarımında kullanılan malzemelerin enerji verimliliği açısından incelenmesi. *2.Uluslararası Yapı ve Yaşam Kongresi,* Bursa. Erişim Tarihi 20 Ağustos 2021. https://www.researchgate.net/publication/330425779 adresinden alındı.

Bradley Edwards Architect İnternet Sitesi. Fuzzbox. Erişim tarihi: 20 Nisan 2022. http://www.ozarkmodern.com/fuzzbox adresinden alındı.

Buildinggreen internet sitesi. high-tech glazing with phase-change material. Erişim tarihi: 20 Nisan 2022. https://www.buildinggreen.com/news-article/high-tech-glazing-phase-change-material adresinden alındı.

Building with concrete internet sitesi. The riddle of ancient Roman concrete. Erişim tarihi: 10 Ekim 2021. https://www.djc.com/news/co/11133038.html adresinden alındı.

Canım, D. S., Kalfa, S. M. (2021). faz değiştiren malzemelerin bina kabuğunda kullanımı. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*. 12(2), 355-371.

Centerfordiagonality İnternet Sitesi. Commercial bank. Erişim tarihi: 5 Ocak 2023. https://centerfordiagonality.org/national-commercial-bank-2/ adresinden alındı.

Çakır, G. (2011). *Sürdürülebilir mimarlık bağlamında yüksek yapıların incelenmesi*. (Yayın no: yok). [Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Üniversitesi]. (Erişim Tarihi: 15 Kasım 2022). https://www.researchgate.net/publication/328450527_Yuksek_Yapi_Tasarimında_Surdurulebilir_Yapim_Sistemlerinin_Incelenmesi

Çakmak, A. (2021). Yapı malzemelerinin tarihsel gelişimi ve mimarlığa etkileri. *ATA Planlama ve Tasarım Dergisi*. 5(1), 41-54.

Çelebi G. (2002). Bina düşey kabuğunda fotovoltaik panellerinin kullanım ilkeleri. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 17(3), 17 - 33.

Çiftçi, E., Balyemez, S. (2020). Enerji verimliliği açısından yüksek yapılar ve sürdürülebilirlik. *Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi*. 15(58), 127-141.

Designboom İnternet Sitesi. Self-adaptive membrane. Erişim tarihi 2 Eylül 2022. https://www.designboom.com/architecture/self-adaptive-membrane-nohelia-gonzalez-shreyas-more-iaac-11-13-2015/ adresinden alındı.

Digitalmatter internet sitesi. Chromatic skins. Erişim tarihi: 5 Şubat 2022. http://digitalmatter.io/?project_post=chromaticskins adresinden alındı.

Dikmen, Ç. B. (2011). Enerji etkin yapı tasarım ölçütlerinin örneklenmesi. *Politeknik Dergisi.* 14(2), 121-134.

Enric Ruiz-Gell İnternet Sitesi. Forest Hotel. Erişim tarihi: 22 mart 2022. https://www.ruiz-geli.com/projects/inprogress/forest-hotel adresinden alındı.

Erdoğan, K. (2007). *Yüksek yapılarda kullanılan cephe sistemlerinin analizi ve İstanbul'daki örnekler üzerine bir araştırma*. (Yayın no: yok). [Yüksek Lisans Tezi, Haliç Üniversitesi, İstanbul]. Erişim tarihi: 10 şubat 2022. https://acikbilim.yok.gov.tr/bitstream/handle/20.500.12812/89294/yokAcikBilim_9007159.pdf?sequence=-1&isAllowed=y

Ergin, Ö. (2019). *Uyarlanabilir cephe sistemlerinde güncel yaklaşımlar ve akıllı malzemelerin kullanımı.* (Yayın no: 606170). [Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul]. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp

Erkol, E., Sayın, S. (2021). Akıllı cam cephe sistemleri ve teknolojileri. *Online Journal of Art and Design*. 9(1).

Erol H. (2017). *Yüksek binalarda enerji etkin mimari tasarım yaklaşımları ve uygulama örneklerinin incelenmesi.* (Yayın no:523029). [Yüksek Lisans Tezi, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı] https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp

Erturan, B. (2010). *Akıllı cephe tasarım ilkeleri ve uygulama örneklerinin incelenmesi*. (Yayın no: 276724). [Yüksek Lisans Tezi, MSGSÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul] https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp

Ferrara, M., Bengisu, M. (2014). *Materials that change color materials that change color, smart materials, intelligent design.* (pp. 9-60). New York: Springer.

Gezer, H. (2011). Malzemenin gizil güçlerinin mimariye katkısı. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. 10 (20), 97-118 .

Glassworks İnternet Sitesi. Glassworks Office Victoria. Erişim tarihi: 5 Şubat 2022. https://www.glassworksaust.com/glassworks-office-victoria/ adresinden alındı.

Gökgün Z. (2019). Akıllı Malzemeler. Erişim tarihi: 5 Temmuz 2021. https://prezi.com/p/forntoo_oyih/smart-materials/ adresinden alındı.

Göksal Özbalta T. (2014). Enerji etkin tasarımda yeni yaklaşımlar. *Teskon Kütüphane*. Erişim tarihi: Ağustos 2021. http://mmoteskon.org/wp-content/uploads/2014/12/2011-95.pdf adresinden alındı.

Great Buildings internet sitesi. Hancock Center. Erişim tarihi: 6 Aralık 2021. http://www.greatbuildings.com/cgi-bin/gbi.cgi/John_Hancock_Center.html/cid_1112341008_DSCN0709.html adresinden alındı.

Güneş, O. (2019). *Binaya ekleme fotovoltaik sistemlerin bir konut binası çatısında uygulaması*. (Yayın no: 574172). [Doktora Tezi, Enerji Enstitüsü]. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp

Gündoğdu, E. (2020). *Cephe sistemlerinin enerji etkinliği üzerine biyomimetik bir değerlendirme*. (Yayın no: 629159). [Doktora Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi]. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp

Gündüz, A., İlerisoy, Z. (2021). Fotovoltaik panel sistemlerin yüksek yapılarda cephe uygulamaları üzerinden değerlendirilmesi. *Middle East International Conference On Contemporary Scientific Studıes-V.*

Gür, N. V., Aygün, M. (2009). Mimaride sürdürülebilirlik kapsamında değişken yapı kabukları için bir tasarım destek sistemi. *İtüdergisi/a*. 7(1), 74-82.

Hamidabad, D. B., Begeç, H. (2015). Enerji etkin tasarım anlayışının yüksek yapılarda incelenmesi. *Ulusal Yapı Kongresi ve Sergisi Yapı Üretimi, Kullanımı ve Koruma Süreçleri*, Ankara. Erişim Tarihi 3 Mart 2022. https://www.researchgate.net/profile/Darioush-Bashiri-Hamidabad-2/publication/279191927_Enerji_etkin_tasarim_anlayisinin_yuksek_yapilarda_incelenmesi_isimli_duzeltmeli/links/558d7c4408aed6ec4bf354f9/Enerji-etkin-tasarim-anlayisinin-yueksek-yapilarda-incelenmesi-isimli-duezeltmeli.pdf?origin=publication_list adresinden alındı.

Inhabitat İnternet Sitesi. Mexico City's Manuel Gea Gonzalez hospital. Erişim tarihi 30 Mart 2022. https://inhabitat.com/mexico-citys-manuel-gea-gonzalez-hospital-has-an-ornate-double-skin-that-filters-air-pollution adresinden alındı.

Inhabitat İnternet Sitesi. Solar Oled tiles transform skscrapers. Erişim tarihi: 8 Nisan 2022. https://inhabitat.com/solar-oled-tiles-transform-skscrapers-into-zero-energy-displays/oled-tiles3/ adresinden alındı.

İlerisoy, Z. Y., Başgül, M. (2019). Yapılarda yükselme ve başkent Ankara örnekleri üzerinden tarihsel incelenmesi. *Online Journal of Art and Design*, 7(2).

John Desmond Limited İnternet Sitesi. Glass overview chapter 3:A simple question a city without glass. Erişim tarihi: 5 Şubat 2022. https://www.johndesmond.com/blog/products/glass-overview-chapter-3-a-simple-question-a-city-without-glass/ adresinden alındı.

Karamanlıoğlu, Ş. (2011). *Enerji etkin bina cephe sistemlerine yönelik yaklaşımların irdelenmesi*. (Yayın no: 297905) [Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü]. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp

Katuk, Ö. S. (2014). *Yüksek yapılarda sürdürülebilir enerji*. (Yayın no: 389627). [Yüksek Lisans Tezi, Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü]. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp

Kayılı, M. T. (2020). Akıllı malzemelerin kamu yapılarında uygulama önerileri: Karabük örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 18, 805-817.

Kıasıf, Ç. G., Selçuk, E., (2016). Yüksek yapı tasarımında sürdürülebilir yapım sistemlerinin incelenmesi. *4. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi,* Eskişehir. Erişim Tarihi 10 Ağustos 2022. https://www.researchgate.net/publication/328450527_Yuksek_Yapi_Tasarimında_Surdurulebilir_Yapim_Sistemlerinin_Incelenmesi adresinden alındı.

Kızıltoprak, S. (2019). *Akıllı yapı kabuğunda cephe bileşeni olarak kullanılan akıllı camların seçimi için sistem önerisi*. (Yayın no: 553962). [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul]. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp

Kolarevic B. (2015). Bina Kaplamalarında Yeni Özellik: Uyarlanabilirlik. Erişim tarihi: 10 Temmuz 2021. https://www.academia.edu/30255278/Performancebased_building_design_and_retrofit_optimization_The_SEMERY_approach adresinden alındı.

Leed Spotlight İnternet Sitesi. Hope College. Erişim tarihi: 10 Şubat 2021. https://www.usgbcwm.org/blog/wp-content/uploads/2017/11/Hope-College-LEED-4.pdf adresinden alındı.

Lift Architects İnternet Sitesi. The air flower. Erişim tarihi: 15 Eylül 2022. http://www.liftarchitects.com/air-flower adresinden alındı.

Lotfabadi, P. (2014). High-rise buildings and environmental factors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 285-295.

Materiability Reserch Group İnternet Sitesi. Chromatic skins. Erişim tarihi: 5 Şubat 2022. http://materiability.com/chromatic-skins/ adresinden alındı.

Media Architecture Institute İnternet Sitesi. Greenpix zero energy media wall. Erişim tarihi: 27 mart 2022. https://www.mediaarchitecture.org/greenpix-zero-energy-media-wall-beijing/ adresinden alındı.

Nagy, Z., Svetozarevic, B., Jayathissa, P., Begle, M., Hofer, J., Lydon, G., Schlueter, A. (2016). The Adaptive Solar Facade: From concept to prototypes. *Frontiers of Architectural Research.* 5(2), 143-256.

Nihalani, S., Joshi, U., Meeruty, A. (2019). Smart materials for sustainable and smart infrastructure. *Materials Science Forum*. 969, 278-283.

Orbay, A. (2019). *Binalarda cephe sistemlerinin incelenmesi ve performans kriterlerinin belirlenmesi.* (Yayın no: 600682). [Yüksek Lisans Tezi, Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü]. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp

Oldfield, P., Trabucco, D., Wood, A. (2009). Five energy generations of tall buildings: an historical analysis of energy consumption in high-rise buildings. *The Journal of Architecture*. 14(5), 591-613

Okay, O. (2003). Polimerik malzemelerin bugünü ve yarını. *İstanbul Teknik Üniversitesi.*

Orhon, A.V. (2012). Akıllı malzemelerin mimarlıkta kullanımı. *Ege Mimarlık*. 82, 18-21.

Orhon, A. V. (2013). Akıllı yapı kabukları. *11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir. (Erişim Tarihi 26 Aralık 2021). http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/e0400074e4b8022_ek.pdf

Orhon, A. V. (2014). Kendini temizleyen cephe sistemleri. *7. Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu*. (Erişim Tarihi 20 Eylül 2022). http://www.catider.org.tr/pdf/sempozyum7/16_%20Bildiri%20Orhon.pdf

Özdoğan, H. P. (2005). *Ekolojik binalarda bina kabuğunda kullanılan fotovoltaik panellerin tasarımı bağlamında incelenmesi*. (Yayın no: 198944). [Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, F.B.E Mimarlık Anabilim Dalı Mimari Tasarım Programı]. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp

Öztürk, H. (2017). Güneş enerjisinden fotovoltaik yöntemle elektrik üretiminde güç dönüşüm verimi ve etkili etmenler. *V. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi*,

İzmir. (Erişim Tarihi: 21 Mayıs 2022). https://www.emo.org.tr/ekler/3a921ffad054cb0_ek.pdf

Pehlivan E, Tepehan G. (2007). Titanyum dioksit katkılı niobyum pentoksit filmlerin optik, yapısal ve elektrokromik özellikleri. *İTÜ Dergisi Seri C: Fen Bilimleri*. 5(1), 49.

Popular Science İnternet Sitesi. A building that eats smoke. Erişim tarihi 30 Mart 2022. https://www.popsci.com/building-eats-smog adresinden alındı.

Preservation Chicago İnternet Sitesi. Tacoma-building. Erişim tarihi: 20 Eylül 2021. https://preservationchicago.org/newsletter_posts/tacoma-building-by-holabird-roche-built-1888-demolished-1929/ adresinden alındı.

Resmi gazete (3 Temmuz 2017). Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği. (Sayı : 30113). Erişim Tarihi 20 Temmuz 2022. https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/07/20170703-8.htm adresinden alındı.

Ritter, A. (2007). *Smart Materials in Architecture, Interior Architecture and Design*. Switzerland: Birkhauser.

Sağlam, S. (2018). Üniversite öğrencilerinin çok katlı bina ve gökdelenler hakkındaki düşünceleri. *Third Sector Social Economic Review*. 53(3), 1323.

Sayın, S., Koç, İ. (2011). Güneş enerjisinden aktif olarak yararlanmada kullanılan fotovoltaik (PV) sistemler ve yapılarda kullanım biçimleri. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 26, (3), 89-106.

Sev, A., Başarır, B. (2011). Geçmişten geleceğe enerji etkin yüksek yapılar ve uygulama örnekleri. *X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Nisan*, İzmir. (Erişim Tarihi 11 Kasım 2020). http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/132a155576cc29c_ek.pdf

Shower Talk İnternet Sitesi. Crystal palace. Erişim tarihi: 20 Aralık 2022. https://blog.inoxstyle.com/en/crystal-palace/ adresinden alındı.

Spaces4learning İnternet Sitesi. Hope College: The Jack H. Miller Center for Musical Arts. Erişim tarihi: 12 Şubat 2021. https://spaces4learning.com/Articles/2017/10/01/Hope-College.aspx adresinden alındı.

Springfixer İnternet Sitesi. Jubilee Church. Erişim tarihi: 14 Mart 2022. https://stringfixer.com/tr/Jubilee_Church adresinden alındı.

Stringfixer İnternet Sitesi. Monadnock binası. Erişim tarihi: 25 Eylül 2021. https://stringfixer.com/tr/Monadnock_Building adresinden alındı.

Stylepark İnternet Sitesi. PTFE-coated glass fabric, Burj Al Arab. Erişim tarihi: 22 şubat 2022. https://www.stylepark.com/en/hightex/ptfe-coated-glass-fabric-burj-al-arab adresinden alındı.

Tanaçan, L. (2010). 21. Yüzyıldan geleceğe malzeme. *Teknoloji ve Mimarlık, Mimarlıkta Malzeme*, 15, 28-33.

Tatar E. (2013). Sürdürülebilir mimarlık kapsamında çalışma mekanlarında gün ışığı kullanımı için bir öneri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 17(1), 147-162.

The journal of the American İnstitute of Architects. Chanel Ginza, Tokyo. Erişim tarihi 30 Mart 2022. https://www.architectmagazine.com/technology/lighting/chanel-ginza-tokyo_o adresinden alındı.

The vintage news İnternet Sitesi. Insurance building Chicago. Erişim tarihi: 15 Ağustos 2021. https://www.thevintagenews.com/2016/07/15/constructed-1884-home-insurance-building-chicago-worlds-first-skyscraper/ adresinden alındı.

Tipps Termine Tickets İnternet Sitesi. Solartower. Erişim tarihi 15 Nisan 2022. https://bz-ticket.de/solartower-freiburg adresinden alındı.

Tokuç, A. (2013). *Faz değişim malzemelerinin ısıl enerji depolama amacıyla yapı elemanlarında kullanılması*. (Yayın no:328326). [Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Bölümü, Yapı Bilgisi Anabilim Dalı]. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp

Toprakal, F. (2008). *Yüksek yapıların gelişimi ve İstanbul'daki yüksek yapıların tipolojik analizi*. (yayın no: 243627). [Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi]. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.js

Ulusoy Şenyurt S., Altın M.(2014). Enerji etkin tasarımın çatı ve cephelere yansıması. *7. Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu*. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul. (Erişim Tarihi 28 Aralık 2022) http://catider.org.tr/pdf/sempozyum7/9_%20Bildiri%20Uslusoy%20Alt_n.pdf

Ulutaş, Ö. O. (2018). *Yüksek binaların kent imajı üzerindeki etkisinin marka değeri bağlamında değerlendirilmesi örnek: Bursa, Nilüfer*. (Yayın no:521953). [Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi]. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp

Ungo internet sitesi (2021). Asansörün icadı ve tarihi hikâyesi. Erişim tarihi: 20 Ağustos 2021. https://ungo.com.tr/2021/02/asansorun-icadi/ adresinden alındı.

Ürkmez, B. (2019). *Use of smart materials in the design of dynamic intelligent surfaces*.(Yayın no:559274). [Yüksek Lisans Tezi, Istanbul Technical University, Architectural Design Computing Programme, İstanbul] https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp

Wikimedia Commons İnternet Sitesi. Chanel Ginza. Erişim tarihi: 22 mart 2022. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chanel-Ginza.jpg adresinden alındı.

Wikipedia İnternet Sitesi (2021). Babil Kulesi. Erişim tarihi: 20 Ağustos 2021. https://tr.wikipedia.org adresinden alındı.

Wikipedia İnternet Sitesi. Flatiron binası. Erişim tarihi 25 Ağustos 2021. https://tr.wikipedia.org/wiki/Flatiron_Binas%C4%B1 adresinden alındı.

Wikipedia İnternet Sitesi (2021). Giza pyramid complex. Erişim tarihi: 20 Ağustos 2021. https://en.wikipedia.org/wiki/Giza_pyramid_complex adresinden alındı.

Wikipedia İnternet Sitesi. Ulm Katedrali. Erişim tarihi: 10 Ekim 2021. https://tr.wikipedia.org/wiki/Ulm_Katedrali adresinden alındı.

Wood, A. (2007). Sustainability: a new high-rise vernacular? *The structural design of tall and special buildings.* 16(4), 401-410.

Yağlı, S. (2019). *Teknolojik gelişmelerin etkisi ile yüzeylerde malzeme kullanımı: Akıllı malzemeler*.(Yayın no: 537623). [Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü]. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp

Yaman, T. (1998). *Yüksek yapılarda cephe gelişimi ve giydirme cepheler*. (Yayın no: 79268). [Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul]. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp

Yao, N. Z.(2012). Evaluation of indoor thermal environmental, energy and daylighting performance of thermotropic Windows. *Build. Environ*. 49, 283-290

Yaşar, Y., Pehlevan, A., Maçka Kalfa, S. (2010). Akıllı camlar ve mimaride kullanımı. *5.Ulusal Yapı Kongresi ve Sergisi*. Kasım, 29-43. Erişim Tarihi:14 Nisan 2022. https://avesis.ktu.edu.tr/yayin/87e327ad-3872-455c-9a5a-5a4fc6a9f42a/akilli-camlar-ve-mimaride-kullanimi adresinden alındı.

Yapı Mimarlık Tasarım Kültür Sanat Dergisi internet sitesi. Optik özelliği ve rengi değişebilen akıllı malzemelerin mimarlıkta kullanım olanakları. Erişim tarihi: 14 Nisan 202. H https://yapidergisi.com/optik-ozelligi-ve-rengi-degisebilen-akilli-malzemelerin-mimarlikta-kullanim-olanaklari/ adresinden alındı.

Yeşilli, G. (2016). *Gelişmiş cephe sistemlerinin ekolojik enerji etkin tasarım çerçevesinde incelenmesi, iklim verilerine göre değişimi ve geleceğe yönelik öngörüler.* (Yayın no: 431121). [Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara]. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp

Yıldız, H. A. (2021). *Yüksek binalarda yangın güvenliği ve korunma yöntemleri.* (Yayın no:657699). [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Rumeli Üniversitesi]. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp

Yüksel Ayvaz, Ö. (2019). *Akıllı malzemelerin mimaride kullanım olanakları*. (Yayın no: 558721). [Yüksek Lisans tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü]. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp

Zhigulina, A. Y., Ponomarenko, A. M. (2018). Energy efficiency of high-rise buildings. *E3S Web of Conferences 33*, Russia. Erişim Tarihi: 30 Mart 2022. https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2018/08/e3sconf_hrc2018_02003/e3sconf_hrc2018_02003.html adresinden alındı.

ÖZGEÇMİŞ

Özlem SEVİNÇ

Eğitim

1997 Mimar Sinan Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü

İş/İstihdam (Varsa)

Ekim 2016-Ağustos 2018- Promedis Medikal Firması Proje Müdürü

Mayıs 2017- Garanti Koza Firması Sofia Square sinema proje tasarımı ve Spor kompleksi proje danışmanlığı

Ekim 2016- Maltepe Üniversitesi Mimarlık ve Tasarım Fakültesi - Mimarlık ve İç Mimarlık Bölümü DSÜ Öğr. Görevlisi

Ekim 2016- İstanbul Okan Üniversitesi Sanat Tasarım ve Mimarlık Fakültesi -İç Mimarlık Bölümü DSÜ Öğr. Görevlisi

Şubat 2002-Ekim 2016- Mars Entertainment Group- Proje Tasarım Müdürü

Ocak 1998-Ekim 2001- Tezyin Mimarlık Danışmanlık Ve Dek. Ltd. Şti – Proje Yöneticisi

Aralık 1995-Aralık 1997- Profis Mimarlık (Mimar Tülin Hadi-Cem İlhan)– Proje Sorumlusu

Eylül 1993-Mart 1994: Prof. Dr. Doğan Kuban Danışmanlığında, Restoratör Mimar Nazan Güçlü ile oluşturulan Mimari Proje Grubu ile İstanbul Eyüp'te Kültür Bakanlığı ve Büyükşehir Belediyesi için hazırlanan Eyüp bölgesi Rölöve ve Restorasyon Projesi ve Çevre Düzenleme Çalışmaları

Kişisel Projeler:

1998: Bursa Ali Paşa Camii Rölöve ve Restorasyon Projesi

1997: Bursa Hoca Taşkın Camii Rölöve ve Restorasyon Projesi

1996: Bursa Karabaş Tekkesi Rölöve ve Restorasyon Projesi

Yayınlar:

Sevinç Ö., Altın E. (2021). Gün Işığı ile Aydınlatmanın Önemi ve Işık Tüplerinin Yapılarda Etkin Kullanımı. *Online Journal of Art and Design*. 9(2).