

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**





KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORCID : - - -

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

ORCID : - - -

Trabzon

ÖNSÖZ

“Güneş Etkileşimli Akıllı Malzemelerin Yapı Kabuğunda Kullanımı” adlı yüksek lisans tez çalışması, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Bilgisi Bilim Dalı, Yüksek Lisans Programı’nda hazırlanmıştır.

Yüksek Lisans tez sürecim boyunca anlayış ve sabrı ile beni yönlendiren, bilgi ve tecrübeleri ile bana yol gösteren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Nihan ENGİN’e teşekkür ederim. Yüksek lisans eğitimim sırasında bilgi ve birikimleri ile beni yetiştiren KTÜ Mimarlık Bölümü hocalarıma ve bu süreçte bana destek olan Kırklareli Mimarlık Bölümü hocalarıma teşekkür ederim.

Bu süreçte tüm mesafelere rağmen ilgi ve desteklerini esirgemeyen sevgili annem Hatice ALBAYRAK ve babam Salih ALBAYRAK’a ve motivasyonları ile yanımda olan arkadaşlarıma teşekkürler eder, minnetimi sunarım.

Nihansu Banu ALBAYRAK

Trabzon 2020

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Güneş Etkileşimli Akıllı Malzemelerin Yapı Kabuğunda Kullanımı” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Nihan ENGİN’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 28/08/2020

Nihansu Banu ALBAYRAK



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XIV
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	3
1.3. Çalışmanın Yöntemi.....	3
1.3. Mimarlık ve Güneş Enerjisi.....	4
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	7
2.1. Yapı Kabuğu ve Güneş Enerji.....	7
2.1.1. Yapı Kabuğu ve Özellikleri.....	7
2.1.2. Yapı Kabuğu ve Enerji İlişkisi.....	9
2.1.3. Yapı Kabuğu ve Kullanıcı Konforu İlişkisi.....	10
2.1.3.1. Isıl (Termal) Konfor.....	10
2.1.3.2. Görsel Konfor.....	12
2.1.3.3. Hava Kalitesine Bağlı Konfor.....	13
2.2. Yapı Kabuğundaki Güneş Etkileşimli Akıllı Malzemelerin Konfor ve Enerji ile İlişkisi.....	14
2.2.1. Akıllı Malzeme.....	14

2.2.2.	Akıllı Malzemelerin Sınıflandırılması.....	18
2.2.3.	Güneş Etkileşimli Akıllı Malzemelerin Konfor ve Enerjiye Yönelik Sınıflandırması.....	23
2.2.4.	Örnek Yapıların Seçimi ve Analiz Tablolarının Oluşturulması.....	27
2.2.	Güneş Etkileşimli Akıllı Malzemeler ve Örnek Analizleri.....	31
2.3.1.	Özellik Değiştiren Akıllı Malzemeler.....	32
2.3.1.1.	Elektrokromik Malzemeler (EC/Electrocromics).....	32
2.3.1.2.	Asıntı Taneciklere Sahip Malzeme (SPD/Suspended Partical Device) (Asıntı Parçacıklı Cihaz) (Elektrooptik).....	45
2.3.1.3.	Polimer İçerisine Dağılmış Sıvı Kristal İçeren Malzemeler (PDLC/Polymer Distributed Liquid Crystal).....	51
2.3.1.4.	Fotokromik Malzemeler (PC/Photocromics).....	52
2.3.1.5.	Termokromik Malzemeler (TC/Thermocromics).....	59
2.3.1.6.	Gazokromik Malzemeler (GC/Gasocromics).....	72
2.3.1.7.	Şekil Hafızalı Alaşım Malzemeler (SMA/Shape Memory Alloy).....	77
2.3.1.8.	Fotokatalitik Malzemeler (Fotoadezyon) (PCA).....	82
2.3.2.	Enerji Alışverişi Yapan Akıllı Malzemeler.....	100
2.3.2.1.	Fotolüminesan Malzemeler (PL).....	100
2.3.2.2.	Fotoelektrik Malzemeler (PV).....	105
2.3.2.3.	Termoelektrik Malzemeler (Thermoelectric) (TE).....	125
2.3.2.4.	Piroelektrik Malzemeler (Pyroelectric) (PE).....	126
2.3.2.5.	Faz Değiştiren Akıllı Malzemeler (Isı Depolayan) (PCM/Phase Change Material) ..	128
3.	BULGULAR VE İRDELEMELER.....	140
3.1.	Elektrokromik Malzemeler.....	140
3.2.	Asıntı Taneciklere Sahip Malzemeler.....	143
3.3.	Polimer İçerisine Dağılmış Sıvı Kristal İçeren Malzemeler.....	146
3.4.	Fotokromik Malzemeler.....	148
3.5.	Termokromik Malzemeler.....	150
3.6.	Gazokromik Malzemeler.....	153

3.7.	Şekil Hafızalı Alaşım Malzemeler.....	155
3.8.	Fotokatalitik Malzemeler.....	157
3.9.	Fotoluminesan Malzemeler.....	159
3.10.	Fotoelektrik Malzemeler.....	161
3.11.	Termoelektrik Malzemeler.....	164
3.12.	Piroelektrik Malzemeler.....	166
3.13.	Faz Değişiren Malzemeler.....	168
3.14.	Genel Bulgular ve İrdellemeler.....	170
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	174
4.1.	Güneş Etkileşimli Akıllı Malzemelerin Yapı Kabuğunda Kullanımı İle İlgili Sonuçlar.....	174
4.2.	Genel Sonuçlar.....	176
4.3.	Öneriler.....	177
5.	KAYNAKLAR.....	179
ÖZGEÇMİŞ		

ÖZET

GÜNEŞ ETKİLEŞİMLİ AKILLI MALZEMELERİN YAPI KABUĞUNDA KULLANIMI

Nihansu Banu ALBAYRAK

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Nihan ENGİN
2020, 211 Sayfa

Dünyada enerji kaynaklarının azalması birçok disiplinde olduğu gibi mimarlıkta da çözülmesi gereken bir problem olarak güncelliğini korumaktadır. Her geçen gün gelişen teknoloji ile ortaya çıkan yeni çözümler mimarlıkta da yansıma bulmaktadır. Gelişen teknoloji ve süregelen araştırmaların kullanıma sunduğu bir grup akıllı malzeme, yenilebilir enerji kaynaklarını kullanarak çözüme katkı sağlamak ve aynı zamanda kullanıcı konfor koşullarının optimumuna ulaşmasına yardımcı olmaktadır. Ancak, akıllı malzeme kullanımı henüz yeterince yaygın bir kullanıma sahip değildir.

Yapılan çalışmanın amacı, Türkiye için de büyük potansiyele sahip yenilebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisinin değerlendirme biçimlerini akıllı malzeme üzerinden göstermek, bu anlamdaki kullanımını tasarımcı için kolaylaştırmaya ve yaygınlaştırmaya katkı sağlamaktır. Bu amaçla güneş etkileşimli akıllı malzemeler, yapı kabuğu üzerinden ele alınarak incelenmiş, kullanım olanakları, amaçları ve özellikleri değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında yapı kabuğunda akıllı malzeme kullanımı tespit edilen farklı özellik ve büyüklükte 59 yapı analiz edilmiş, kullanıcının konfor koşullarına uygun olarak yapıya sağlanan enerji katkısı değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda güneş etkileşimli akıllı malzemelerin yapı kabuğunda kullanılarak, kullanıcı için termal ve görsel konfor koşulları ile hava kalitesini artırırken aynı zamanda enerji üretim ve korunumuna katkı sağladığı belirlenmiştir. Sonuç olarak, yenilenebilir bir enerji kaynağı olan güneş enerjisi yönünden yüksek potansiyele sahip olan Türkiye’de, mevcut ya da yeni yapılarda akıllı malzeme kullanımını arttırmak, enerji etkinliğine ve konfor koşullarına da katkısı düşünülerek yaygınlaşmalı ve tasarımcılar bu bağlamda teşvik edilmelidir.

Anahtar Kelimeler: enerji etkinliği, yapı kabuğu, akıllı malzeme, güneş etkileşimi

Master Thesis

SUMMARY

THE USE OF SOLAR INTERACTIVE SMART MATERIALS IN BUILDING SHELL

Nihansu Banu ALBAYRAK

Karadeniz Technical University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Architectural Graduate Program
Supervisor: Assoc. Doc. Dr. Nihan ENGİN
2020, 211 Pages

Decreasing amount of non-renewable energy sources in the world remains as a current problem that must be solved in architecture as in many disciplines. New solutions emerging with the developing technology also find a reflection in architecture. However, a group of smart materials have been invented by developing technology and ongoing research helping to optimize user comfort by using renewable energy sources despite decreasing non-renewable energy sources. Even though, smart materials have not yet reached widespread use, it is expected that, with the increasing knowledge and recognition on architects and designers, usage of smart materials will become prevalent.

The aim of the study is to show the importance of the solar interaction of smart materials by evaluating the smart materials on the building envelope as they obtain energy from sun and provide solar control. In this context, the types and properties of smart materials activated by solar energy on building envelope are examined and the potential of smart materials is investigated. In addition, due to its edible energy potential, especially the ways of using solar interactive smart materials are introduced. Thus, it is aimed to guide local designers on usage and selection of smart materials.

In this scope, 59 sample buildings using smart materials were examined. Besides, the effect of smart materials on energy consumption and user comfort was evaluated. It has been observed that the use of these materials on building envelope contributes to energy efficiency, energy production and energy conservation. It has also been determined that smart materials improve thermal and visual comfort conditions for the user and improves the air quality. As a result, use of smart materials on existing and projected buildings should be increased due to contribution to energy efficiency and comfort conditions, besides designers should be encouraged in this context since Turkey has a great potential on renewable solar energy sources.

Keywords: energy efficiency, building envelope, smart material, solar interaction

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. Institut du Monde Arabe yapısının uyarlanabilir cephesi (Şensan, 2009).....	2
Şekil 2. 2016 itibariyle birincil enerji kaynakları ve küresel tüketim oranı (Koç vd., 2018).	5
Şekil 3. Operatif sıcaklık ve nem için kabul edilebilir aralıklar (Atmaca ve Yiğit, 2011).11	
Şekil 4. Elektrokromik cam kesiti ve çalışma prensibi (Tavil, 2004).....	33
Şekil 5. Elektrokromik cam uygulanmış bir çatı penceresi (URL-4, 2020).....	33
Şekil 6. Elektrokromik camlar (Addington ve Schodek, 2005).....	34
Şekil 7. Elektrokromik camların 4 aşamalı renk durumu (URL-5, 2020).....	35
Şekil 8. Elektrokromik camda elektriksel alan uygulaması ile meydana gelen değişiklikler (Yağlı, 2019).....	36
Şekil 9. Asıntı tanecikler içeren akıllı cam (a) voltaj uygulanmamış, (b) voltaj uygulanmış (Açıksarı ve Karasu, 2018).....	45
Şekil 10. Yapılarda uygulanan PDLC örneği (A) voltaj uygulanmamış, (B) voltaj uygulanmış.....	51
Şekil 11. Polimer içerisine dağılmış sıvı kristal içeren akıllı cam bölümünün şematik görünümü: KAPALI- voltaj uygulanmış, AÇIK voltaj uygulanmamış (Açıksarı ve Karasu, 2018).....	52
Şekil 12. Fotokromik pigmentlerin uyaran ışık ile renk değiştirmesinin aşamaları.....	53
Şekil 13. Cam koyulaşma ve saydamlaşma süreçleri şematik gösterimi (Kreidl, 1970).....	54
Şekil 14. Farklı sektörlerde fotokromik cam örnekleri (Mohammed, 2017).....	54
Şekil 15. Fotokromik özelliğin uygulandığı kumaş ve cam malzemeler (Ritter, 2007).....	56
Şekil 16. Orproject ve Laura Micalizzi tarafından Or2 isimli strüktür (fotokromik boya kullanılarak tasarlanmıştır) (URL-25, 2020).....	56
Şekil 17. Fotokromik camdan yapılmış bir yapı kabuğu modeli: Becker Gewers Kühn & Kühn mimarlık tarafından tasarlanmış Modern Sanat Müzesi, 1992, Münih (Ritter, 2007).....	57
Şekil 18. Akıllı cam kaplaması olarak uygulanmış termokromik malzemenin şematik gösterimi (Addington ve Schodek, 2005).....	60
Şekil 19. Isıya duyarlı camın ısıtıldıktan önce ve sonra normal ve termografik görünümleri termokromik camın değişik durumlarda görünümleri (Inoue vd., 2008).....	60
Şekil 20. Termokromik cam uygulaması (Al-Baldawi, 2015).....	61
Şekil 21. Juergen Mayer tarafından tasarlanmış termokromik mobilya (Süyük Makaklı, 2017).....	62
Şekil 22. MIT mezunları tarafından patentlenen termokromik çatı kiremiti Thermeleon ve çalışma prensibi (URL-27 ve 28, 2020).....	63
Şekil 23. Gazokromik camların renk değişim tepkimesi (Casini, 2017a).....	72
Şekil 24. Gazokromik camın oluşumu (Yaşar vd., 2010).....	72

Şekil 25. Gazokromik cam kesiti (Demir, 2011).....	73
Şekil 26. Gazokromik camların şematik gösterimi (Casini, 2017a).....	73
Şekil 27. Gazokromik cam bileşenleri (Çakmaklı vd., 2015).....	74
Şekil 28. Ni-Ti alaşımlı kancaların uyarılması ile değişen şekilleri (Ritter, 2007).....	77
Şekil 29. Şekil hafıza olayı ve mekanizması (Çakmak ve Kaya, 2017).....	78
Şekil 30. Kendiliğinden montaj yapan mobilya (URL-51, 2020).....	79
Şekil 31. Doris Sung'un Los Angeles'deki Bloom kanopisi binlerce bimetallik bileşenden oluşmaktadır (Kolarevic, 2015).....	80
Şekil 32. Fotolüminesan katkılu tuğlalar (URL-85, 2020).....	101
Şekil 33. Van Gogh bisiklet yolu (Casini, 2016).....	101
Şekil 34. İç ortamda fotolüminesan kullanımı (URL- 86, 2020).....	102
Şekil 35. Fotoelektrik hücre, modül ve dizi (Addington & Schodek, 2005).....	106
Şekil 36. Kristal silikon glass-glass photovoltaik modüller (Casini, 2016).....	107
Şekil 37. Renkli fotovoltaik hücreler (Casini, 2016).....	108
Şekil 38. Yarı saydam amorf silikon ince film fotovoltaik bölme (Casini, 2016).....	109
Şekil 39. Avustralya'da bir yapının dış cephede boya güneş pili uygulaması (Ritter, 2007).	110
Şekil 40. Piroelektrik malzeme çalışma prensibi (Zhang, 2011).....	127
Şekil 41. Faz değiştiren malzemeler çalışma prensibi (Sarı A. , 2011).....	128
Şekil 42. Enerji depolayan malzemeler (Zalba, Marin, Cabeza, & Mehling, 2003).....	129

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. Konfor koşullarının sağlanmasında etkili olan değişkenler (Gazioğlu, 2012).....	6
Tablo 2. Minimum aydınlık düzeyinin EN 12464-1 2011 standardına göre tanımlanması (Ateş, 2018).....	13
Tablo 3. İç hava kalitesinin EN 13779 standardına göre sınıflandırılması.....	14
Tablo 4. Dış hava kalitesinin EN 13779 standardına göre sınıflandırılması.....	14
Tablo 5. Akıllı sistemlerin sınıflandırılması (Addington ve Schodek, 2005).....	15
Tablo 6. Yapı malzemelerinin gelişim süreci (Mohammed 2017).....	17
Tablo 7. Yapı tasarımında sistem ilişkileri (Mohammed, 2017).....	17
Tablo 8. Akıllı malzemelerin sınıflandırılması (Addington ve Schoedek, 2005).....	19
Tablo 9. Akıllı malzemelerin sınıflandırması (Addington ve Schodek, 2005).....	19
Tablo 10. Akıllı malzemelerin sınıflandırılması (Ritter, 2007).....	21
Tablo 11. Akıllı malzemeler sınıflandırması (Casini, 2016).....	21
Tablo 12. Potansiyel Olarak Uygulanabilir Akıllı Malzemelerle İlişkili Tipik Yapı Sistemi Tasarım İhtiyaçlarının Haritalanması (Addington ve Schodek, 2005).....	24
Tablo 13. Akıllı malzemeler sınıflandırması (Ritter, 2007; Addigton ve Schodek, 2005)..	25
Tablo 14. Tez kapsamında incelenecek akıllı malzemelerin sınıflandırması.....	26
Tablo 15. Yapı künye şablonu.....	28
Tablo 16. Genel olarak kullanılan elektrokromik malzemeler ve bileşenler (Ritter, 2007).	34
Tablo 17. Yapı künye örnek 1 (URL-6 ve 7, 2020).....	37
Tablo 18. Yapı künye örnek 2 (URL-8 ve 9, 2020).....	38
Tablo 19. Yapı künye örnek 3 (URL-10, 2020).....	39
Tablo 20. Yapı künye örnek 4 (URL-11, 12 ve 13, 2020).....	40
Tablo 21. Yapı künye örnek 5 (URL-14 ve 15, 2020).....	41
Tablo 22. Yapı künye örnek 6 (URL-16 ve 17, 2020).....	42
Tablo 23. Yapı künye örnek 7 (URL-18, 2020).....	43
Tablo 24. Yapı künye örnek 8 (URL-19, 2020).....	44
Tablo 25. Yapı künye örnek 9 (URL-20, 2020; Ritter, 2007).....	47
Tablo 26. Yapı künye örnek 10 (URL-21, 2020).....	48
Tablo 27. Yapı künye örnek 11 (URL-22, 2020).....	49
Tablo 28. Yapı künye örnek 12 (URL-23 ve 24, 2020).....	50

Tablo 29. Yapı künye örnek 13 (URL-26, 2020).....	58
Tablo 30. Yapı künye örnek 14 (URL-29 ve 30, 2020).....	65
Tablo 31. Yapı künye örnek 15 (URL-31, 32 ve 33, 2020).....	66
Tablo 32. Yapı künye örnek 16 (URL-34, 35, 36 ve 37, 2020).....	67
Tablo 33. Yapı künye örnek 17 (URL-38, 39, 40, 41 ve 42, 2020).....	68
Tablo 34. Yapı künye örnek 18 (URL-43,44 ve 45, 2020).....	69
Tablo 35. Yapı künye örnek 19 (URL-46 ve 47, 2020).....	70
Tablo 36. Yapı künye örnek 20 (Nitz & Hartwig, 2005).....	71
Tablo 37. Yapı künye örnek 21 (URL-48 ve 49).....	75
Tablo 38. Yapı künye örnek 22 (Yaşar, vd., 2010).....	76
Tablo 39. Yapı künye örnek 23 (URL-52, 53, 54 ve 55, 2020).....	81
Tablo 40. Yapı künye örnek 24 (URL-56 ve 56, 2020).....	85
Tablo 41. Yapı künye örnek 25 (URL-58, 2020).....	86
Tablo 42. Yapı künye örnek 26 (URL-59, 60, 61 ve 62, 2020).....	87
Tablo 43. Yapı künye örnek 27 (URL-63 ve 64, 2020).....	88
Tablo 44. Yapı künye örnek 28 (URL 65 ve 66, 2020).....	89
Tablo 45. Yapı künye örnek 29 (URL-67 ve 68, 2020).....	90
Tablo 46. Yapı künye örnek 30 (Ritter, 2007).....	91
Tablo 47. Yapı künye örnek 31 (URL-69 ve 70, 2020).....	92
Tablo 48. Yapı künye örnek 32 (URL-71 ve 72, 2020).....	93
Tablo 49. Yapı künye örnek 33 (URL-73, 74 ve 75, 2020).....	94
Tablo 50. Yapı künye örnek 34 (URL-76 ve 77, 2020).....	95
Tablo 51. Yapı künye örnek 35 (URL-78 ve 79, 2020).....	96
Tablo 52. Yapı künye örnek 36 (URL-80 ve 81, 2020).....	97
Tablo 53. Yapı künye örnek 37 (URL-82, 2020).....	98
Tablo 54. Yapı künye örnek 38 (URL-83 ve 84, 2020).....	99
Tablo 55. Yapı künye örnek 39 (URL-87 ve 88, 2020).....	103
Tablo 56. Yapı künye örnek 40 (URL-89, 2020).....	104
Tablo 57. Kristalin silikon güneş hücrelerinde maksimum verimlilik (Casini, 2016).....	111
Tablo 58. İnce film güneş hücrelerinde maksimum verimlilik (Casini, 2016).....	111
Tablo 59. Yapı künye örnek 41 (URL-91 ve 92, 2020).....	112
Tablo 60. Yapı künye örnek 42 (Ritter, 2007; Yağlı, 2019).....	113
Tablo 61. Yapı künye örnek 43 (Loonen, 2010).....	114

Tablo 62. Yapı künye örnek 44 (URL-93, 2020).....	115
Tablo 63. Yapı künye örnek 45 (URL-94, 2020).....	116
Tablo 64. Yapı künye örnek 46 (URL-95, 2020).....	117
Tablo 65. Yapı künye örnek 47 (URL-96 ve 97, 2020).....	118
Tablo 66. Yapı künye örnek 48 (URL-98 ve 99, 2020).....	119
Tablo 67. Yapı künye örnek 49 (URL-100, 2020).....	120
Tablo 68. Yapı künye örnek 50 (URL-101, 2020).....	121
Tablo 69. Yapı künye örnek 51 (URL 102, 2020).....	122
Tablo 70. Yapı künye örnek 52 (URL-103, 2020).....	123
Tablo 71. Yapı künye örnek 53 (URL-104, 2020).....	124
Tablo 72. Faz değiştiren malzemelerin karşılaştırılması (Koşan & Aktaş, 2018).....	130
Tablo 73. Organik ve inorganik malzemelerde ısı depolamanın karşılaştırılması (Zalba, Marın, Cabeza, & Mehling, 2003).....	131
Tablo 74. Enerji depolayan malzemelerin belirgin özellikleri (Zalba, Marın, Cabeza, & Mehling, 2003).....	132
Tablo 75. Yapı künye örnek 54 (URL-109, 110 ve 111, 2020).....	134
Tablo 76. Yapı künye örnek 55 (URL-112 ve 113, 2020).....	135
Tablo 77. Yapı künye örnek 56 (URL-114, 115 ve 116 2020).....	136
Tablo 78. Yapı künye örnek 57 (URL-115, 116, 117 ve 118, 2020).....	137
Tablo 79. Yapı künye örnek 58 (URL-119 ve 120, 2020).....	138
Tablo 80. Yapı künye örnek 59 (URL-121 ve 122, 2020).....	139
Tablo 81. Elektrokromik malzemeye ait bilgiler matrisi.....	140
Tablo 82. Asıntı taneciklere sahip malzemeye ait bilgiler matrisi.....	143
Tablo 83. Polimer içerisine dağılmış sıvı kristal içeren malzemeye ait bilgiler matrisi....	146
Tablo 84. Fotokromik malzemeye ait bilgiler matrisi.....	148
Tablo 85. Termokromik malzemeye ait bilgiler matrisi.....	150
Tablo 86. Gazokromik malzemeye ait bilgiler matrisi.....	153
Tablo 87. Şekil hafızalı alaşım malzemeye ait bilgiler matrisi.....	155
Tablo 88. Fotokatalitik malzemeye ait bilgiler matrisi.....	157
Tablo 89. Fotolüminesan malzemeye ait bilgiler matrisi.....	159
Tablo 90. Fotoelektrik malzemeye ait bilgiler matrisi.....	161
Tablo 91. Termoelektrik malzemeye ait bilgiler matrisi.....	164
Tablo 92. Piroelektrik malzemeye ait bilgiler matrisi.....	166
Tablo 93. Faz değiştiren malzemeye ait bilgiler matrisi.....	168

Tablo 94. Yapılarda kullanılan tüm akıllı malzemelere ait matris..... 173



SEMBOLLER DİZİNİ

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
DOE	: Department of Energy
EC	: Elektrokromik
FDM, PCM	: Faz Değiştiren Malzeme
GC	: Gazokromik
H	: Hidrojen
MIT	: Massachusetts Institute of Technology
PC	: Fotokromik
PCA	: Fotokatalitik Malzeme
PDLC	: Polimer İçerisine Dağılmış Sıvı Kristal İçeren Malzemeler
PE	: Piroelektrik Malzeme
PL	: Fotolüminesan Malzeme
PV	: Fotoelektrik Malzeme
SMA, SHA	: Şekil Hafızalı Alaşım
SPD	: Asıntı Taneciklere Sahip Malzeme
TC	: Termokromik
TE	: Termoelektrik Malzeme

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Enerji krizinden bu yana yenilenemez enerji kaynaklarının kullanımı tartışma konusu olmuşken, günümüz araştırmaları yakın gelecekte tükenecek bu kaynaklara bağlılığının devam etmesinin sürdürülebilir olmadığını göstermektedir. Tükenecek beklenen bu yenilenemez enerji kaynakları her sektörde enerji etkin kullanımı ve enerji tasarrufunu gündeme getirmiştir (Güncü ve Kurnuç, 2013).

Tasarım aşamasında alınan önlemlerle daha az enerjiye ihtiyaç duyan, ihtiyaç duyduğu enerjiyi yenilenebilir kaynaklardan karşılayan, sağlanan enerjiyi en verimli şekilde kullanarak minimum salınım yapan yapı enerji etkin olarak tanımlanabilir (URL-1, 2020). Bu durumun yapı sektöründe yansımalarından biri yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisinin kullanımına yönelik çalışmaların organizasyonu olmuştur. Yapıda güneş enerjisinden faydalanmaya yönelik yaklaşım söz konusu olduğunda güneş ile etkileşimi en yoğun olan yapı kabuğu önem kazanmaktadır (Güncü ve Kurnuç, 2013).

Enerji etkin kabuk tasarım anlayışı yeni cephe sistem ve malzemelerinin araştırılması ve geliştirilmesine neden olmaktadır (Kanan, 2014). Enerji etkin cephe sistemleri temelde, enerji korunumu sağlamak ve enerji üretmek gibi görevler üstlenmektedir. Yapı kabuğunda kullanılacak akıllı camlar, fotovoltaik piller, faz değiştiren malzemeler gibi yeni nesil malzemeler, yapının ihtiyaç duyduğu enerjiyi kısmen ya da tamamen karşılarken aynı zamanda tüketilen enerjide etkinlik sağlayacak, klasik malzeme anlayışından farklı olarak güneş enerjisine tepki veren bu malzemeler yeni tasarım imkanları doğuracaktır (Addington ve Schodek, 2005; Orhon ve Altın, 2014; Sayın, 2006).

Akıllı malzemelerle ilgili ilk araştırma Arne Olander¹ tarafından 1938'de başlatılmış daha sonra 1960'lara kadar önemli bir gelişme gerçekleşmemiştir (Bedeloğlu, 2011). 1970'li yıllarda NASA havacılıkta kullanılabilecek sıcaklık, basınç gibi koşulları algılayan

¹ Gustav Arne Olander, metal alaşımlarındaki şekil hafızası etkisini keşfetmesiyle tanınan İsveçli bir kimyagerdir. 1929 yılında Stockholm Üniversitesi'nde fizikokimya profesörü olarak çalışmaktadır.

ve çeşitli hataları gösteren malzemeler üzerine çalışmaya başlamıştır (Yağlı, 2019). 1970’lerde ‘responsive architecture’² kavramı ilk kez Negroponte³ tarafından kullanılmıştır (Orhon, 2013). Charles Eastman 1972’de geri bildirimle kendi kendilerini uyarlayan ‘uyarlanabilir mimari’ kavramını geliştirmiştir (Kolarevic, 2015). 1987’de Jean Nouvel tarafından tasarlanan Institut du Monde Arabe⁴ (Şekil 1) yapısı uyarlanabilirlik kavramının görüldüğü ilk büyük ölçekli yapı olarak literatüre girmiştir (Kolarevic, 2015). 1992’de Münih Modern Sanat Müzesi için yapılan yarışmada Becher Gewers Kühn & Kühn tarafından tasarlanan projede kullanılan kromik cam ilk akıllı malzeme uygulama örneklerinden biri olmuştur (Ritter, 2007).



Şekil 1. Institut du Monde Arabe yapısının uyarlanabilir cephesi (Şensan, 2009).

Orhon’a göre (2013) akıllı malzemeler 18. yüzyıldan beri literatürde varlık göstermesine rağmen 20. yüzyıl sonlarından itibaren önem kazanmıştır.

Akıllı malzemeler günümüz teknolojileri arasında mimarlıkta yansımaya bulan yeni bir gruptur. Literatürdeki bilgilerin her geçen gün yeni deneyler ve uygulamalarla gelişip artması, tasarımcı için, malzemenin çalışma doğasının anlaşılması ve doğru seçim yapılmasını zorlaştırmaktadır. Çalışma mekanizmaları çeşitlilik gösteren, kullanıldığı yere ve amaca göre yapıya farklı katkılar sağlayan bu malzemelerin enerjiye katkılarının ortaya konması, bu anlamdaki seçiminin tanıtılıp, kolaylaştırılması önemlidir.

² Responsive architecture, türkçesi duyarlı mimarlıktır.

³ Nicholas Negroponte, MIT’de çalışan Amerikalı profesördür.

⁴ Institut du Monde Arabe binası Arap Dünyası Kurumu olarak kullanılmaktadır.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada, teknolojinin gelişmesine paralel olarak yaygınlaşan akıllı yapı malzemelerinin, tasarımcı tarafından seçilmesi ve kullanılmasında yol gösterecek ölçütlerin aydınlatılması hedeflenmektedir. Bu bağlamda akıllı malzemeler enerjiyle ilişkisi ve kullanıcı konforuna katkısı bağlamında değerlendirilmektedir. Yenilebilir enerji kaynaklarından Türkiye için büyük bir potansiyele sahip güneş enerjisinin akıllı malzemelerdeki kullanımını incelemek ve bu anlamda değerlendirilebilecek akıllı malzemelerin tasarımcı tarafından seçilmesi ve kullanılmasına katkı sağlamaktır. Dolayısıyla çalışma, yapı formunu tanımlayan, yapı iç ve dış ortamını birbirinden ayırmak amacıyla çevreleyen/örtün/sınırlayan yapı kabuğu üzerinden ele alınmıştır. Güneşin termal ve görsel konfor ile hava kalitesini sağlamadaki yeri ve bu konuların enerji ile ilişkisinin önemi nedeniyle, çalışmada yapı kabuğunda kullanılan akıllı malzemelerin termal ve görsel konfor ile hava kalitesi amaçlı kullanımları araştırılmıştır. Akıllı malzemelerin yapı kabuğunda bu amaçlı kullanımlarının yapıda üstlendiği enerji korunumu ve üretimine yönelik özellikleri incelenmiş ve 59 yapı örneği bu kapsamda analiz edilerek değerlendirilmiştir.

1.3. Çalışmanın Yöntemi

Çalışmada literatür çalışması yaparak mimarlıkta güneş enerjisi kullanımı ve güneş etkili akıllı malzeme kullanımı araştırılmıştır. Güneş etkili akıllı malzemeler, 59 yapı örneği üzerinde analiz edilmiştir. Analiz tablosu yapıya ait bilgiler ve malzemeye ait bilgiler olarak iki ana başlıktan oluşmuştur. Yapıya ait bilgiler bölümünde; yapının adı, işlevi, yeri, yılı ve mimarına ait bilgiler dışında açıklamalar kısmında yapıya ait genel bilgilere yer verilmiştir.

Malzemeye ait bilgiler bölümünde; Malzemenin yapı kabuğunda uygulandığı yer ve yüzey malzemeleri, girdi enerjisi, sistem, davranış ve konfor koşullarına katkısı incelenmektedir. Böylece akıllı malzemelerin yapı kabuğunda kullanımının enerji etkinliği ve kullanıcı konforuna katkıları uygulanmış örnekler üzerinden incelenmiş ve ortaya konulmuştur.

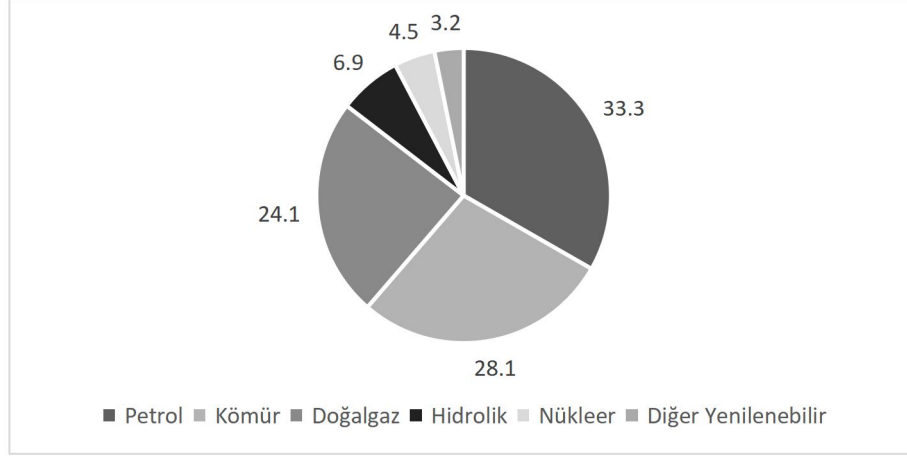
Bulgular ve irdellemeler bölümünde yapı analiz tabloları değerlendirilmiştir. Sonuçlar bölümünde yapılan değerlendirmelerden çıkarılan sonuçlar ve öneriler sıralanmıştır.

1.3. Mimarlık ve Güneş Enerjisi

Enerji, Britannica Ansiklopedisi (2020) tarafından 'Fizikte, iş yapma kapasitesi. Potansiyel, kinetik, termal, elektrik, kimyasal, nükleer veya diğer çeşitli şekillerde bulunabilir.' şeklinde tanımlanmaktadır. Oluşumlarına göre çeşitlilik gösteren enerji kaynakları yenilenebilir ve yenilenemez enerji olarak ikiye ayrılmaktadır (Uğurlu, 2006).

Güneş enerjisi, ısı üretebilen, kimyasal reaksiyonlara neden olan veya elektrik üreten güneşten gelen radyasyondur. Dünya'ya ulaşan güneş enerjisi miktarı, dünyadaki mevcut ve beklenen enerji gereksinimlerini fazlasıyla aşmaktadır. Uygun bir şekilde kullanılırsa, bu güneş enerjisi gelecekteki tüm enerji ihtiyaçlarını karşılama potansiyeline sahiptir. 21. yüzyılda güneş enerjisinin, sınırlı fosil yakıt kömür, petrol ve doğal gazın aksine, tükenmez kaynak oluşu ve çevreyi kirliletmeyen karakteri nedeniyle yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak giderek daha çok kullanım alanına sahip olması beklenmektedir (URL-2, 2020).

1970'lerden itibaren bu güneş enerjisinin etkin kullanımı üzerinde yapılan araştırmalar artarak devam etmekte, üretilen yeni teknolojilerin verimleri artarken maliyetleri gün geçtikçe azalmaktadır (Bozdoğan, 2003). Güneş enerjisinin çevreye verdiği bir zarar olmamakla birlikte olumsuz tarafları arasında verimliliği için geniş yüzey alanlara ihtiyaç duyulması, kış aylarında ışınımının az olması gibi durumlar söz konusudur (Varınca ve Gönüllü, 2006). Yapılarda Enerji Verimliliği AB ve ulusal mevzuata (2016) göre; Avrupa Birliği'ndeki enerji tüketiminin %40'ı ve CO2 salınımının %36'sı yapılara aittir (Şekil 2) (Elbi, 2019).



Şekil 2. 2016 itibariyle birincil enerji kaynakları ve küresel tüketim oranı (Koç vd., 2018).

Enerji üretimi, enerji iletimi ve enerji kullanımında tasarruf, enerji etkinliğini sağlamaktadır. Kullanılan enerjide mümkün olduğunca yenilenebilir kaynaklardan kaçınarak düşük maliyetle maksimum enerji elde etmenin yanında yapılan işin de artırılması yönünde çalışmalar yapılmaktadır (Oral ve Manioğlu, 2010).

Enerji etkin mimarlık yapıların yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanarak kendi kendine yetebilen yapılar tasarlamayı (Sakıncı, 2006), ve aynı zamanda kullanılan enerjiyi korumaya yönelik yaklaşımları içerir (Lakot, 2007).

Dikmen (2011), enerji etkin yapı tasarımı ölçütlerini;

- Yapı kabuğunun ve formunun fiziksel çevre verilerine uygun biçimlendirilmesi ve konumlandırılması,
- Yapı tasarımında tampon bölge oluşturulması, böylece dış ortamdaki havayı iç ortama denetleyerek alma ve dağıtma sağlanması,
- Yapının doğa ve yeşil ile entegre tasarlanması ve böylece dış atmosfer koşullarının iç ortamı sert etkilemesinin önüne geçilmesi,
- Yapının iç ortamının güneş enerjisinden yararlanacak, cephesinin ise enerji etkin cephe sistemlerinin kullanılacak şekilde tasarlanması,
- Kullanılan malzemelerin, çevreye duyarlı, enerji korunumu sağlayan ve enerji ihtiyacını yenilenebilir kaynaklardan karşılayan, bakım-onarım gerekliliği minimum olanlardan seçilmesi,
- Yapıda pasif ve aktif sistemlerin kullanılması şeklinde sıralamaktadır.

Tasarım aşamasında alınan önlemlerle daha az enerjiye ihtiyaç duyan, ihtiyaç duyduğu enerjiyi yenilenebilir kaynaklardan karşılayan, sağlanan enerjiyi en verimli şekilde kullanarak minimum salınım yapan yapı enerji etkin olarak tanımlanmaktadır (URL-1, 2020).

Enerji etkin yapı tasarımına etki eden üç temel faktör kullanıcıya ilişkin değişkenler, iklime ilişkin değişkenler, yapıya ilişkin değişkenlerdir (Tablo 1).

Tablo 1. Konfor koşullarının sağlanmasında etkili olan değişkenler (Gazioğlu, 2012).

Kullanıcıya ilişkin	İklime İlişkin	Yapıya İlişkin
Metabolizma	Güneş Işınımı	Yer
Giysi	Rüzgar	Yönlendirme
Mekan içi konum	Dış hava sıcaklığı	Çevre İlişkisi
Objektif fizyolojik	Dış hava nemliliği	Form
Subjektif fizyolojik	İç yüzey sıcaklığı	Kabuk Performansı
	İç hava sıcaklığı	
	İç hava nemliliği	
	İç hava hareketi	

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Yapı Kabuğu ve Güneş Enerji

Enerji etkin, enerji tasarruflu ve enerji üreten yapı kabuğu; güneş ile doğrudan teması bakımından önemli bir yerdedir. Güncelliğini koruyan ekolojik yıkımında, yapı ile ilişkilendirilmesi ve enerji etkin çözümlerle güneş enerjisi önemli bir yere sahiptir (Sarı, 2019).

Özetle güneş enerjisine maruz kalan yapı kabuğu, iç ve dış ortam arasında denge kurma görevini, güneşin değişen koşullarına karşı tepki vererek yapabilmekte, böylelikle hem enerji kazanım ve korunumunu hem de enerji tasarrufunu sağlayabilmektedir (Güncü ve Kurnuç, 2013).

2.1.1. Yapı Kabuğu ve Özellikleri

Yapı kabuğu, yapı formunu tanımlamak, yapıda iç ortam ile dış ortamı birbirinden ayırmak amacıyla yapıyı çevreleyen/örtten/sınırlayan yapı elemanlarından oluşmaktadır. İç ortam dış ortam arasında bir çeşit cidar olan yapı kabuğu, kullanıcının ihtiyacı olan konfor koşullarını sağlamakla ve sürdürmekle görevlidir (Orhon, 2013a; Gür, 2007). Fakat iç ortamda ihtiyaç duyulan konfor koşulları durağanken, dış ortam tam tersi devingen koşullara sahiptir. Dış ortam hem mevsimsel döngülerle uzun vadeli, hem de gün içinde sıcaklık, ışık, hava durumu gibi döngülerle kısa vadeli değişmektedir (Orhon, 2013a). Yapı kabuğu iç ortam ile dış ortamı birbirinden ayıran opak ve saydam yüzeylerden oluşan bir yapı bileşeni olarak enerji etkinliğinde önemli bir rol oynamaktadır (Altın, 2013b; Deniz, 2018).

Yapı kabuğunun temel görevleri; (1) yapının mimari biçimini, formunu tanımlamak, (2) yapı kullanıcıları için iç ortamda gerekli görsel, işitsel, ısısal, iklimsel vb. konfor şartlarını sağlamak, (3) yapının korunumunu sağlamaktır (Orhon, 2013a).

Belirli konfor koşullarını sağlaması gereken iç ortam ile sürekli devingen haldeki dış ortam arası denge kurması gereken yapı kabuğu geleneksel anlamdaki statik durumu değiştirmek zorundadır. Devingen dış ortamın yapı üzerindeki değişen etkisi yapı kabuğunun şartlara göre değişebilir olmasını gerektirmektedir (Gür, 2004). Aksi halde yapı kabuğu bu ‘değişmezlik’ özelliği ile yeni çağın yeni beklentilerine – enerji korunumu/kazanımı, doğal aydınlatma, doğal havalandırma, güneş kontrolü, ışık kontrolü, gürültü kontrolü gibi – karşılık verememektedir. Günümüzde yapı kabuğu için şeffaflık, değişkenlik, uyarlılık, etkileşimlilik, enerji etkinlik, sürdürülebilirlik, ara yüz olmak gibi yeni niteliklerin gerekliliği konuşulmaktadır (Orhon, 2013a).

Yapı kabuğunu oluşturan yapı elemanları cephe ve çatıdır (Orhon, 2013a).

Cephe, iç ve dış ortam arasında ayırıcı görevi gören, içinde yaşayanlar için koruyucu görevi üstlenen, yapının dış ortam ile ilişkisini kuran bir yapı elemanı olarak tanımlanabilir (Güvenli, 2006).

Cepheden beklenen işlevler:

- Gün ışığının optimum yararlanmak,
- Yapıyı güneşten korumak,
- Isı, ses, su ve yangın gibi faktörlere yalıtım sağlamak,
- Yapının ihtiyaç duyduğu havalandırmayı sağlamak,
- Isı toplamak,
- Fazla ısıyı uzaklaştırmak,
- Sesin hafifletilmesi/ akustik katkı sağlamak,
- Entegre sistemler ile elektrik üretmektir (Schittich, 2006; Yağlı, 2019).

Çatı, yapıyı biçimsel olarak tanımlayan, en duyarlı bölgede dış ortam koşullarından ayıran ve koruyan yatay yöndeki önemli bir dış kabuk elemanıdır (Coşkun, 2006; Toydemir ve Bulut, 2004).

‘Çatıdan beklenen işlevler:

- Geleneksel olarak yağmur suyu tahliyesini sağlamak,
- Ultraviyole ışıklardan ve güneşten korumak,
- Yapının alt kotlarına günışığını ulaştırmak,
- Fotovoltaik sistemlerle entegre yüzeyler oluşturmak,

- Hava akımının oluşumunu minimuma indirgeyen formlara sahip olmak,
- Doğal havalandırmaya olanak sağlamak,
- Isısal ve çevresel bariyer görevi görmek,
- Yapıda en önemli yalıtım katmanını oluşturmaktır' (Uçurum, 2007).

2.1.2. Yapı Kabuğu ve Enerji İlişkisi

Mevcut enerji kaynaklarının azalması ve enerji krizi ile enerji etkinliği birçok alanda zorunluluk haline gelmiştir. Yapıda enerji etkinliği tüketilen enerji miktarını; yapıdan beklenen performans seviyesini yakalayarak, kullanıcı ihtiyaç ve konforundan taviz vermeden azaltmak olmalıdır (Güvenç, 2008; Knapp ve Wagner, 2009).

Yapı kabuğu yapım ve işletim aşamalarında enerji tüketen bir yapı bileşeni olduğundan enerji etkin planlamalarda önemli bir yere sahiptir. Yapılardaki enerji kayıplarının en yoğun olduğu bileşen yapı kabuğudur (Gür, 2007).

Karamanlıoğlu (2011) enerji etkin yapı kabuğu tasarlamaya yönelik yaklaşımları

- doluluk-boşluk oranları,
- pencere sistemlerinin yalıtım durumları,
- kullanılan malzemelerin enerji etkinlik özellikleri,
- teknolojik yeniliklerden faydalanılması ve çeşitli yapı entegre sistemler ile enerji üretimi olarak sıralamaktadır.

Yapı kabuğundan 2020 yılında sahip olması beklenen özellikler DOE (U.S. Department of Energy) tarafından şu şekilde belirlenmiştir:

- 'Enerji korunumlu; enerji kullanımını minimize eden; ısıtma, soğutma ve elektrik ihtiyaçlarına katkıda bulunan; fazla elektriği depolayan veya sisteme geri kazandıran.
- Kullanıcı ihtiyaçları doğrultusunda değişken- kullanıcıların değişen ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik hareketli duvarlar, değişebilir odalar, esnek sistemler ve yeni teknolojiye uyum sağlayan.
- Ekonomik- ilk yatırım, bakım, yaşam dönemi maliyetleri yönünden avantajlı.

- Uzun ömürlü- nem, yangın, felaketler gibi doğal zararlara karşı gelişmiş güvenlik ve dayanım sağlayan.
- Çevreci- doğal çevreye zararsız, kaynakları etkin kullanan.
- Sağlıklı ve konforlu- uygulamacılar ve kullanıcılar için zararsız olan, iyi hava kalitesi ve akışı, ısı ve görsel konfor, doğal havalandırma ve ışık sağlayan, yangına, neme, kimyasallara ve gürültü kirliliğine karşı korunumlu.
- Akıllı, kaynakların etkin kullanımını, konforu, maliyet etkinliğini, esnekliği, kalıcılığı, çevreyle olan uyumu arttırmak üzere gelişmiş sensörleri, monitörleri, kontrolleri ve iletişim teknolojilerini kullanan' (Gür, 2007).

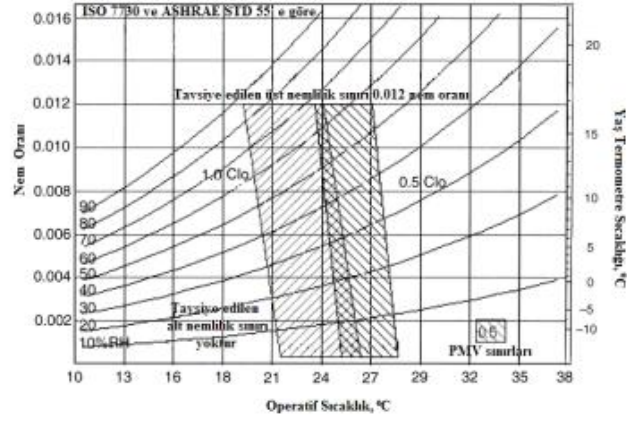
2.1.3. Yapı Kabuğu ve Kullanıcı Konforu İlişkisi

'Konfor kullanıcıların içinde buldukları ortamdaki memnuniyetin bir göstergesidir' (Yüksek vd., 2015). Günümüzde insanlar zamanlarının %85-90'ını kapalı ortamlarda geçirmekte, bu zaman zarfında sağlıklı ve verimli olabilmeleri için bahsedilen ortamların ısı, su, nem ve ses konusunda sağlaması gereken bazı standartlar oluşturulmaktadır (Yüksek vd., 2015). Başlıca konfor koşulları; ısı konfor, görsel konfor, akustik konfor ve hava kalitesidir (Gür, 2007). Tez kapsamında da kullanılan akıllı malzemelerin ısı ve görsel konfor ile hava kalitesine etki ve katkıları araştırılmaktadır.

2.1.3.1. Isıl (Termal) Konfor

Termal konfor 'kullanıcının bulunduğu ortamın termal koşullarından memnun olması' olarak tanımlanmaktadır (Aydın, 2017). Termal konforu belirleyen parametreler, hava sıcaklığı, radyan sıcaklık, hava hızı, bağıl nem, metabolizma hızı ve kullanıcının kıyafetidir (Fanger, 1973; Aydın, 2017). Bunların dışında kişinin kültürel değerleri de hassasiyetini etkilemektedir (Görgün, 2012).

İç ortamdaki hava sıcaklığının kabul edilebilir değerleri; genel olarak 20-25°C arasında olmakla birlikte, istisna olarak yazın 27°C üst sınır kabul edilmekte ayrıca bağıl nem ise 18°C da kabul edilebilmektedir (Şekil 3) (Gür N. V., 2007).



Şekil 3. Operatif sıcaklık ve nem için kabul edilebilir aralıklar (Atmaca ve Yiğit, 2011).

Radyan sıcaklık (ısı kaynağından alınan ısı) absorbe edileceği bir yüzey bulana kadar ısı (sıcak ya da soğuk) meydana getirmemektedir. Kullanıcının bulunduğu ortamda birçok düşük ya da yüksek sıcaklıkta yüzey tarafından kullanıcının konfor algısı etkilenmektedir (Atmaca ve Yiğit, 2011).

Hava hızı yani ortamdaki hava değişim oranı; minimum 0.3/saat (kullanımın olmadığı ortam) maksimum 0.15 m/sn değerindedir. İdeal olarak kişi başına 40-60 m³/saat taze hava girişi gereklidir (Gür, 2007).

Bağıl nem için; sıcaklıkla da bağlantılı olmakla birlikte konfor aralığı %40-60 olarak belirlenmiştir (Gür, 2007).

Metabolizma hızı da konfor algıları üzerinde etkili bir diğer parametredir. Kişinin yaşı, ağırlığı, cinsiyeti ve aktive durumuna göre farklılık göstermektedir. Değişen metabolik aktiviteli değişen deri sıcaklığı ve ıslaklığı, kişinin ısı konforu algılama şeklini de etkilemektedir (Atmaca ve Yiğit, 2011).

Kullanıcı kıyafetinin ısı konforu algılamaya etkisi ISO 7730 standartlarında, hafif aktivite içindeki kullanıcı için; yazlık kıyafetler için direnç miktarı 0.5 clo, kışık kıyafetler için direnç miktarı 1 clo kabul edilmektedir (Atmaca ve Yiğit, 2011). Termodinamik yasalarına göre ısı yüksek değerde olduğu taraftan düşük değerde olduğu tarafa doğru iki ortam arasında denge sağlanana kadar hareket etme eğilimindedir. Denge sağlandığında ise artık kullanıcıların ısı konforunda tavizler oluşmaktadır (Gür, 2007). Isıl konfor problemleri, yapı kabuklarının mevsimsel değişimlere ve gün içindeki değişimlere adapte

olamamasından kaynaklanmaktadır (Karakoç, 2015) . Isı transferi; (1) konveksiyon (taşıma), (2) kondüksiyon (iletim), (3) radyasyon (ışınım) üç yolla gerçekleşmektedir (Nashed, 1996).

2.1.3.2. Görsel Konfor

Kullanıcının görsel konforu kriterleri;

- Güneş ışığı geçirgenliği (doğal aydınlatma) gerekli zamanda fazla güneş ışığını süzerek azaltmakta diğer zamanda ise iç ortama girişine izin vermektedir. Böylece kullanıcının iç ortamda optimum düzeyde güneş ışığından faydalanmasını hedefler.
- Kamaşma kontrolü ile iç ortamda parıltı problemini azaltılmaktadır.
- Dış ortam görüş alanı ve netliğinin sağlanması aydınlık ve ferah ortamlarda, kolay manzara erişimi ile ortam kullanıcısının psikolojik açıdan rahat hissetmesini sağlamaktadır (Karakoç, 2015; Kızıltoprak, 2019).

Yapının güneş ışığından kontrollü bir şekilde yararlanamaması sonucunda oluşan konfor problemleri daha fazla enerji harcanarak çözülmeye çalışılmaktadır (Karakoç, 2015).

İç ortama alınan gün ışığı görsel konfor için önemli bir yere sahiptir. Kullanıcının iç ortamı algılaması (renkler, cisimler vs.) ve ortamda farklı aktiviteleri yerine getirebilmesi belirli görsel konforun sağlanmasına bağlıdır. Görsel konfor sağlanmasında danişılan çeşitli kurumlar; EN 12464-1 (AB), SLL-CIBSE (İngiltere), CIE (uluslararası), IESNA (ABD) olarak sıralanabilir (Şener Yılmaz ve Yener, 2013).

Ortamın kullanım amacına bağlı olarak değişen bazı değerler EN 12464-1 standardı kapsamında aşağıda örneklenmektedir. Ancak EN-12464-1'de (Tablo 2) ve diğer standartlarda konut yapılarının sağlanması gereken değerlere yer verilmemiştir.

Tablo 2. Minimum aydınlık düzeyinin EN 12464-1 2011 standardına göre tanımlanması (Ateş, 2018).

İşlev	100 LUX	200 LUX	300 LUX	500 LUX	750 LUX	1000 LUX
Sağlık	Hasta odası	Bekleme Muayene Poliklinik Banyo				Ameliyathane
Ofis		Arşiv	Fotokopi	Veri işleme Toplantı	Teknik çizim	
Gösteri		Hol	Fuaye Kulis Sahne arkası			
Kütüphane		Raf alanı		Ödünç-iade Okuma alanı		
Eğitim	Hol	Giriş Kantin Tuvalet	Ofis Derslik Laboratuvar Spor salonu	Amfi Revir	Atölye	

2.1.3.3. Hava Kalitesine Bağlı Konfor

Sağlıklı bir kullanıcı için sağlıklı iç ortam hava kalitesine ihtiyaç vardır. ASHREA-62 standardına göre uzmanların kirleticiler için belirlediği sayısal değerlere göre bir hava ve ortam kullanıcıların belirli yüzde ile hem fikir olduğu memnuniyet ile iç ortam hava kalitesini değerlendirmek mümkündür (Aydın, 2017) . İç ortam hava kalitesi kirlilik kaynağının ortadan kaldırılması ya da taze havanın oranının artırılması ile sağlanmaktadır. Aksi halde ortamdaki hava kirlenir ve kullanıcı için sağlıksız hale gelir (Karakoç, 2015; Görgün, 2012). Ortamda, belirli periyotlarda yapılan havalandırma hava kalitesini arttıracaktır. Doğal ya da mekanik havalandırma işlemi için dış ortamdaki hava içeri alınacağından yapının bulunduğu yerin hava kalitesi de önem kazanmaktadır. Dış ortamda sözü edilen bu hava kalitesi, CO2 ve diğer kirleticilerin yoğunluğuna bağlıdır (Gürdal, 1989).

İklimlendirme ve havalandırma (konut hariç) standartlarını kapsayan EN13779 (Tablo 3 ve 4), iç ortamda hava değişim oranları ve filtrasyon kapsamında standartları, dış

ortamda ise havadaki partikül madde ve gaz oranları kapsamında sınıflandırmalar belirlenmektedir (Zorlu, 2019).

Tablo 3. İç hava kalitesinin EN 13779 standardına göre sınıflandırılması.

Kategori	Açıklama	Karbondiyoksit Düzeyi (ppm)	Dış hava (m ³ /s/kişi)
İHK 1	Yüksek kaliteli iç hava	<400	>54
İHK 2	Orta kaliteli iç hava	400 - 1000	22 - 54
İHK 3	Düşük kaliteli iç hava	>1000	<22

Tablo 4. Dış hava kalitesinin EN 13779 standardına göre sınıflandırılması.

Kategori	Açıklama	Konum
DHK 1	Sadece geçici olarak toz, partikül içeren saf hava	Kırsal alanlar ve seyrek nüfuslu köyler
DHK 2	Yüksek konsantrasyonlarda partikül madde ve gaz kirlenici içeren dış hava	Sanayinin bulunduğu küçük ilçeler ve kirlenmiş havaya sahip şehir merkezleri
DHK 3	Çok yüksek konsantrasyonlarda partikül madde ve gaz kirlenici içeren dış hava	Sanayileşmiş büyük şehirler

2.2. Yapı Kabuğundaki Güneş Etkileşimli Akıllı Malzemelerin Konfor ve Enerji ile İlişkisi

2.2.1. Akıllı Malzeme

Akıllılık kavramı çevre uyarıcılarını algılayabilme ve yanıt verebilme olarak kullanılmaktadır (Tablo 5) (Addington ve Schodek, 2005). Bu kavram, malzemeler düzeyinde başlayıp teknolojiler ve ortamlara kadar devam eden sıralı bir ilişkinin tümünü içermektedir.

Tablo 5. Akıllı sistemlerin sınıflandırılması (Addington ve Schodek, 2005).

Malzeme	Performans
Geleneksel	Dış uyarıcılara karşı sabit tepkiler (malzeme özellikleri normal koşullar altında sabit kalır)
Yüksek Performanslı	Dış uyarıcılara karşı sabit tepkiler (malzeme özellikleri normal koşullar altında sabit kalır)
Akıllı malzemeler Tip 1 – Özellik değiştiren	Malzemenin belirli bir iç veya dış uyarana karşı içsel tepki oluşturması
Akıllı malzemeler Tip 2 – Enerji dönüştüren	Yanıtlar hesaplamalı olarak kontrol edilebilir veya değiştirilebilir
Akıllı Aygıt ve Sistemler	Dahili yanıt varyasyonları ve birden çok dahili uyarın, harici uyarın veya kontrolde ilgili hesaplama geliştirmeleri ile cihazlarda ya da sistemlerde yerleşik akıllı malzeme
Akıllı Çevreler	Koşulları ve dahili uyarınları ya da harici uyarınları kullanmak için akıllı cihazlardan ve sistemlerden oluşan tüm ortamın kombine içsel ve bilişsel olarak yönlendirilmiş yanıt varyasyonları

NASA (1970) tarafından akıllı malzemeler konfigürasyonları (hatırlayan) ve belirli bir uyarın verildiğinde bunlara uygun olabilen malzemeler olarak tanımlanır. Kimyasal Teknoloji Ansiklopedisi (2020) akıllı malzemeleri ve yapıları; çevresel olayları algılayan nesnelere, duyuşsal oluşumu şekillendiren ve daha sonra çevreye etki eden bir süreç olarak tanımlar. Malzemenin akıllı olduğunu gösteren özellikler; aciliyet (gerçek zamanlı tepki verme), geçicilik (birden fazla çevre durumuna tepki verebilme), kendini harekete geçirme (zeka, malzeme içten tetiklenir), seçicilik (yanıtları ayırık ve öngörülebilir), doğrudanlık (yanıt)'tır (Addington ve Schodek, 2005).

Akıllı malzemeler, maddeler ve ürünler değişken özelliklere sahip olan ve fiziksel ve/veya kimyasal etkilere yanıt olarak şekillerini veya renklerini geri dönüşümlü olarak ve tekrarlanabilir değiştirebilen malzemeler ve ürünler olarak tanımlanabilir (Ritter, 2007). Menges akıllı malzemeyi 'malzeme yapısının kendisi makineyi oluşturur' şeklinde

tanımlamıştır (Kolarevic, 2015). Akıllı malzeme çevreden gelen fiziksel ve/veya kimyasal uyarana karşısında belirli bir süreçle uyarana tepki veren ve dolayısı ile klasik malzeme anlayışından uzak yeni nesil bir malzemedir. Brownell⁵ (2006) akıllı malzeme tanımını; çevresel uyarılara cevap olarak fiziksel morfoza uğramak şeklinde yapmıştır.

Akıllı malzemelerin kullanım alanları yapı-inşaat, elektronik cihaz, sağlık, fizik, tekstil, malzeme bilimi, akıllı malzemeler, endüstri teknolojisi, denizcilik, otomotiv sanayi, kimya, havacılık, 3-d yazıcı teknolojisi, havacılık olarak çeşitlenmektedir (Ritter, 2007; URL-3, 2020). Dış sinyallere veya dış dünyaya belirgin bir tepki ile yanıt veren akıllı malzemeler, yapay kaslar, nano ölçekli motorlar ve ilaç verme cihazlarına kadar uzanan yeni teknolojiler vaat etmenin temelini oluşturur (Behl vd., 2008).

Malzeme, geleneksel olarak formun takipçisi olmuştur, temel olarak mimari ürünün nihai görüntüsünü değiştirir, ancak tasarım sürecinin kendisinin erken bir aşamasına katılmaz. Hiyerarşik dizi form-yapı-malzeme sırası ile tasarım sürecine yapı sistemleri açısından hakimdir. Fakat akıllı malzeme kullanımı bu geleneksel sistemin dışında yeni olasılıklar ve potansiyeller sunabilir (Mohammed, 2017).

Sanayi devrimine kadar malzemeye bakış, kolay, pragmatik olarak bulunabilirlik ile başlamakta, daha sonra malzeme süs ve görünümü üzerinden doğada kolay bulunabilen taş, ahşap gibi geleneksel malzemeler seçimine dönüşmektedir. Malzeme kullanımı kaba yapıyı yapma ve ardından bu yapıyı örtmeyi kapsamaktadır. 19.yy'a kadar malzemenin özellikleri ve performansı ile ilgili bilgi deneyimle elde edilmiş ve bir standartlaşmaya gidilmemiştir. Sanayi devrimi malzemenin rolünü değiştirmiştir. Mimarlar malzemeye sezgisel ve deneysel yaklaşmayı bırakır. Artık malzeme standartlaşmaya çeşitlenmeye ve süslemenin ötesinde mühendislik problemleri çözmeye başlamaktadır. Zamanla gelişen teknoloji ve değişen ihtiyaçlar yeni malzeme arayışlarını ortaya çıkarmaktadır.

Yapılara daha fazla ve farklı fonksiyon kazandırmak, kullanıcı konfor seviyesini arttırmak, ekonomik ve ekolojik kaygılara yanıt bulmak gibi değişen ihtiyaçlar kompozit malzemeler, sürdürülebilir malzemeler ve modern malzemeler gibi yeni bir takım malzeme gruplarının ortaya çıkmasına neden olmuştur (Tablo 6) (Behl vd., 2008; Ritter, 2007; Addigton ve Schodek, 2005).

⁵ Brownell, malzeme araştırmacısı ve mimardır.

Tablo 6. Yapı malzemelerinin gelişim süreci (Mohammed 2017).

Evre I	Evre II	Evre III	Evre IV
Geleneksel	Kompozit	Sürdürülebilir	Modern
Ahşap	Karbonfiber		Akıllı
Beton	Plastik		Nano
Cam			
Çelik			
Taş			
Tuğla			

Malzemenin mimarlıkta kullanımı yaygın olarak mimari tasarım sürecinin en son aşamasında karar mekanizmasına dahil olmaktadır. Fakat malzeme tasarımda tüm sistemleri birbirine bağlayan bir alt sistemdir. Bu nedenle, mimari mekanın karakteri, kullanılan yapı malzemeleri ile ilişkilidir (Tablo 7).

Tablo 7. Yapı tasarımında sistem ilişkileri (Mohammed, 2017).

Çevresel Sistem		Yapı Sistemi		Kullanıcı Sistemi	
Kültürel bağlam	Fiziksel bağlam	Yapı teknolojisi	İç Ortam	Gereksinim	Amaç
Sosyal	İklimsel	Mevcut kaynaklar	Yapısal Kütle	Organik	Güvenlik
Ekonomik	Topografik	Malzeme	Uyarıcı çevre	Durum	Kazanım
Teknolojik		Strüktürel sistemler	bileşenleri	Konum	Değişkenlik
Tarihi		Servis sistemleri	ISI		
Politik	Sınırlama	Bağlantı sistemleri	HAVA		
			IŞIK		
			SES		
Estetik					
Dini					

2.2.2. Akıllı Malzemelerin Sınıflandırılması

Akıllı malzeme kavramı mimarlık çerçevesinde ele alındığında ‘ortam şartları ile mücadele eden’ malzeme anlayışı yerini ‘çevresel uyaranlara yanıt vererek ortam şartlarına uyum gösteren’ malzeme anlayışına bırakmaktadır (Yağlı, 2019).

Akıllı malzemeler, çevresel uyaranlara karşı nitelik değişimi yapan malzemelerdir. Bu durum geleneksel malzemelerde de bir ölçüde mevcuttur. Örneğin geleneksel malzemelerin bazıları ısıtıldığında genişler veya kolay işlenir. Okay (2003) ‘bir anlamda tüm malzemelerin belli bir derece akıllılığı söz konusudur’ demektedir. Malzeme biliminde genel anlayış malzemenin kullanım ömrü boyunca dış etkilere karşı mümkün olduğunca az değişime uğramasıdır çünkü bu değişim genellikle malzemede çürüme, göçme, korozyon gibi bozulmalar ile ilişkilendirilir. Bu anlayış temelde yapının tüm çevresel etkilere rağmen stabil kalması, kararlı durmasının ideal kabul edilmesinden kaynaklanmaktadır. O halde akıllı malzemeler, geleneksel malzemenin belirli bir amaç ya da amaçlar dizisi için tasarlanmış şekilde değişim geçirmesidir (Orhon, 2012) . Akıllı malzemeler literatürde Michelle Addington & Daniel Schodek (2005), Axel Ritter (2007) ve Marco Casini (2016) tarafından sınıflandırılmıştır.

Michelle Addington ve Daniel Schodek (2005) sınıflandırmasında; akıllı malzemelerin fiziksel özellikleri, enerji alanları ve enerji girdisinin bir malzemeye dönüştürüldüğü mekanizma tarafından belirlenir. Mekanizma, malzemenin moleküler yapısını veya mikro yapısını değiştirerek malzemenin iç enerjisini etkiliyorsa, girdi malzemenin özellik değişikliğine neden olur. Mekanizma malzeme bileşiminin enerji durumunu değiştirir, ancak malzemeyi değiştirmezse, girdi bir formdan diğerine enerji alışverişi ile sonuçlanır. İki mekanizma arasında ayırım yapmanın basit bir yolu, özellik değiştirme tipi için, malzemenin giriş enerjisini emmesi ve bir değişikliğe uğramasıdır, oysa enerji değişim tipi için, malzeme aynı kalır, ancak enerji bir değişikliğe uğrar. Bu mekanizmaların her ikisinin de mikro ölçekte çalıştığı varsayılır, çünkü hiçbir molekülün daha büyük bir şeyi etkilemez ve ayrıca enerji değişimlerinin çoğu atom seviyesinde gerçekleşir.

- Tip 1 - ortam koşullarındaki bir değişime tepki olarak özelliklerinden birini (kimyasal, mekanik, optik, elektrik, manyetik veya termal) değiştiren ve harici kontrole ihtiyaç duymayan bir malzeme.

- Tip 2 - istenen son durumu gerçekleştirmek için enerjiyi bir formdan diğerine dönüştüren bir malzeme veya cihaz (Tablo 8 ve 9) (Addington ve Schodek, 2005).

Tablo 8. Akıllı malzemelerin sınıflandırılması (Addington ve Schoedek, 2005).

Tip 1	Özellik Değiştiren Akıllı Malzemeler
Renk değiştiren	Fotokromik, Termokromik, Mekanokromik, Kemokromik, Elektrokromik
Faz değiştiren	İletken Polimerler ve İletkenler, Reolojik Özellik Değiştiren, Sıvı Kristal Teknolojiler, Asılı Parçacıklı Ekranlar, Akıllı Jel ve Kristaller
Tip 2	Enerji Alışverişi Yapan Akıllı Malzemeler
Işık yayan	Luminesans, Floresan ve Fosforesans, Fotoluminesans, Elektroluminesans
Enerji alışverişi yapan	Temel yarı iletken, PV, LED, Transistör, Termaelektrik, Piezoelektrik
Şekil hafızalı alaşımlar	Şekil belleyci polimer

Tablo 9. Akıllı malzemelerin sınıflandırılması (Addington ve Schodek, 2005).

Tip 1 Özellik değiştiren	Girdi	Çıktı
Termokromik	Sıcaklık Farkları	Renk değişimi
Fotokromik	Işık (UV radyasyon)	Renk değişimi
Elektrokromik	Elektrik potansiyeli farkı	Renk değişimi
Likid Kristaller	Elektrik potansiyeli farkı	Renk değişimi
Asılı Parçacıklar	Elektrik potansiyeli farkı	Renk değişimi
Mekanokromik	Deformasyon	Renk değişimi
Kemokromik	Kimyasal konsantrasyon	Renk değişimi
Elektrorelojik	Elektrik potansiyeli farkı	Sertlik/ viskozite değişimi
Manyetorelojik	Elektrik potansiyeli farkı	Sertlik/ viskozite değişimi

Tablo 9'un devamı.

Tip 2 Enerji alışverişi yapan	Girdi	Çıktı
Fotolüminesans	Radyasyon	Işık
Elektrolüminesans	Elektrik potansiyel farkı	Işık
Kemolüminesans	Kimyasal konsantrasyon	Işık
Termolüminesans	Sıcaklık farkı	Işık
Fotoelektrik	Işık	Elektrik alan
Işık yayan diyotlar	Elektrik potansiyel farkı	Işık
Termoelektrik	Sıcaklık farkı	Elektrik alan
Piezoelektrik	Deformasyon	Elektrik potansiyel farkı
Piroelektrik	Sıcaklık farkı	Elektrik potansiyel farkı
Elektrostriktif	Elektrik potansiyel farkı	Deformasyon
Magnetostriktif	Manyetik alan	Deformasyon

Addington ve Schodek'in (2005) hazırladığı kitapta hedef tüm akıllı malzemelerden değil tasarımda farklı yaklaşımlara yol açabilecek potansiyeldeki mimarlık ve tasarım mesleklerinde kullanılan akıllı malzemelerden bahsedilmektedir.

Axel Ritter sınıflandırmasında (2007); akıllı malzemeler için tetikleyici unsurları, ışık, uv ışığı, sıcaklık, elektrik alan, manyetik alan, basınç, kimyasal olarak tanımlamış ve özellik değiştiren, enerji alışverişi yapan ve madde alışverişi yapanlar olarak üç kategoriye ayırmaktadır (Tablo 10).

Tablo 10. Akıllı malzemelerin sınıflandırılması (Ritter, 2007).

1. Özellik Değiştiren Akıllı Malzemeler	
Şekil değiştiren	Termostriktif, Elektroaktif
Renk ve Optik değiştiren	Fotokromik, Termokromik ve Termotropik, Elektrokromik ve Elektrooptik
Adezyon değiştiren	Fotoadezyon
2. Enerji Alışverişi Yapan Akıllı Malzemeler	
Işık yayan	Fotoluminesans, Elektroluminesans
Elektrik üreten	Fotoelektrik, Termoelektrik, Piezoelektrik
Enerji alışverişi yapan	Isı depolayan
3. Madde Alışverişi Yapan Akıllı Malzemeler	
Madde alışverişi yapan	Gaz / Su depolayan

Marco Casini (2016) sınıflandırmasında; akıllı malzemeler için tetikleyici unsurları, ışık, UV ışık, sıcaklık, elektrik alan, manyetik alan, basınç, kimyasal olarak tanımlanmış ve özellik değiştiren, enerji dönüştüren ve çift yönlü enerji alışverişi yapanlar olarak üç kategoriye ayırmaktadır (Tablo 11).

Tablo 11. Akıllı malzemeler sınıflandırması (Casini, 2016).

Özellik değiştiren akıllı malzemeler	Çevresel uyaran	Tepki
Termokromik	Sıcaklık Farkı	Renk değişimi
Fotokromik	UV ışını	Renk değişimi
Mekanokromik	Deformasyon	Renk değişimi
Kemokromik	Kimyasal etki	Renk değişimi
Elektrokromik	Elektriksel gerginlik	Renk değişimi
Likid Kristal	Elektriksel gerginlik	Renk değişimi
Asılı parçacık	Elektriksel gerginlik	Renk değişimi

Tablo 11'in devamı.

Fotokatalitik	UV radyasyon	Kimyasal tepki
Termotropik	Sıcaklı farkı	Faz değişimi
Elektroreolojik	Elektriksel gerginlik	Viskozite değişimi
Magnetoreolojik	Magnetik alan	Vizkozite değişimi
Şekil hafızalı	Sıcaklık farkı	Kristal faz değişimi
Enerji dönüştüren akıllı malzemeler	Çevresel uyaran	Tepki
Elektrolüminesan	Elektriksel gerilim	Görünür ışık emisyonu
Fotolüminesan	Radyasyon	Görünür ışık emisyonu
Kemolüminesan	Kimyasal etki	Görünür ışık emisyonu
Termolüminesan	Sıcaklı farkı	Görünür ışık emisyonu
Fotovoltaik	Güneş radyasyonu	Elektriksel gerilim
Çift yönlü enerji alışverişi yapan akıllı malzeme	Çevresel uyaran	Tepki
Piezoelektrik	Deformasyon	Elektriksel gerilim
Termoelektrik	Sıcaklık farkı	Elektriksel gerilim
Piroelektrik	Sıcaklık farkı	Elektriksel gerilim
Elektrokimyasal	Kimyasal etki	Elektriksel gerilim
Elektrostriktif	Elektriksel gerilim	Deformasyon
Magnetostriktif	Manyetik alan	Deformasyon

Ritter (2007) sınıflandırması ile günümüzde mimarlık, iç mimarlık ve tasarım için en uygun akıllı malzemelere genel bir bakış sunmaktadır. 'Günümüzde yirmiden fazla grup altında sınıflanan akıllı malzemelerin mimarlıkta kullanımları birkaç malzeme grubu dışında hala araştırma aşamasındadır' (Orhon, 2012).

2.2.3. Güneş Etkileşimli Akıllı Malzemelerin Konfor ve Enerjiye Yönelik Sınıflandırması

‘Malzemenin ne yapmasını istiyoruz’ sorusuna cevap aramak tasarımcının aradığı özellikleri bulmasına yardımcı olacaktır (Addington ve Schodek, 2005), ifadesi bu tez çalışmasında kriterleri belirlemede önemli bir başlangıç olmuştur.

Çalışmada, güneş etkileşimli akıllı malzemelerin yapı kabuğunda yapı iç konforu ve enerji kullanımına yönelik ne gibi katkılar sağlayabileceği sorusuna cevap aramak amacıyla bu bağlamda malzemedeki beklenen özellikler sıralanmıştır. Bunlar;

- Akıllı malzemenin güneşten kaynaklı ısı ve/veya ışık ile çalışması (girdi enerjisinin güneş olması)
- Akıllı malzemenin görsel konfor, termal konfor ve UV korunumu sağlaması,
- Akıllı malzemenin hava kalitesini artırması,
- Akıllı malzemenin sağladığı konfor şartları ile enerjiye kazanımına katkı vermesi,
- Akıllı malzemenin enerji üretimi ile güneş enerjisini değerlendirmesi,

olarak belirlenmiştir. Bu özellikleri sağlayan akıllı malzemeler tespit edilmiştir.

Güneş etkileşimli akıllı malzemeler belirlenirken ilk olarak akıllı malzemeler için Ritter’in (2007) sınıflandırması üzerinden gidilmiştir.

Akıllı malzemelerin konfor koşullarına ve enerji etkinliğine katkıları belirlenirken ise Addington ve Schodek’in (2005) Smart Materials and New Technologies kitabındaki ‘Potansiyel Olarak Uygulanabilir Akıllı Malzemelerle İlişkili Tipik Yapı Sistemi Tasarım İhtiyaçlarının Haritalanması’nda akıllı malzemelerin yapı kabuğunda kullanımının etkileri çalışması temel alınmıştır (Tablo 12).

Tablo 12. Potansiyel Olarak Uygulanabilir Akıllı Malzemelerle İlişkili Tipik Yapı Sistemi Tasarım İhtiyaçlarının Haritalanması (Addington ve Schodek, 2005).

Yapı Sistem İhtiyaçları	İlgili malzeme veya sistem özellikleri	Temsili uygulanabilir akıllı malzemeler
Yapı kabuğundan geçen güneş radyasyonunun kontrolü	Spektral absorpsiyon kabuk malzemelerinin iletimi	Asılı parçacık panel Sıvı kristal panel Fotokromik Elektrokromik
Yapı kabuğu boyunca iletken ısı transferinin kontrolü	Kabuk malzemesinin göreceli konumu	Panjur veya panel sistemleri, dış ve dış ışıma (ışık) sensörleri, fotovoltaikler, fotoelektrikler, kontroller/aktüatörler, şekil hafızalı alaşımlar, elektro ve manyeto kısıtlayıcı
İç ısı üretiminin kontrolü	Kabuk malzemelerinin ısı iletkenliği	Termotropik FDM
	İç ortam malzemelerinin ısı kapasitesi	FDM
	Isı kaynağının göreceli konumu	Termoelektrik
	Lümen / watt enerji dönüşümü	Fotoluminesans Elektrolüminesans LED
Enerji dağıtımı	Ortam enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi	Fotovoltaik Mikro ve mezo enerji sistemleri
Aydınlatma sistemlerinin optimizasyonu	Güneş ışığı algılama Aydınlatma ölçümleri Meşgulliyet algılama	Fotovoltaik Fotoelektrik Piroelektrik
	Göreceli boyut Kaynak konumu ve rengi	LED elektrolüminesans çift PV cam
HVAC sistemlerinin optimizasyonu	Sıcaklık algılama Nem algılama Alışkanlık algılama CO2 ve kimyasal algılama	Termoelektrik Piroelektrik Biyosensör Kimyasal sensör Optik MEMS
	Kaynak ve atık su bağıl konumu	Termoelektrik FDM Isı boruları
Yapısal sistemlerin kontrolü	Gerilme ve deformasyon izleme Çatlak kontrolü Gerilme ve deformasyon kontrolü Titreşim izleme ve kontrol Euler çökertme kontrolü	Magnetoreolojik Şekil bellek alaşımı Fiberoptik Piezoelektrik elektroolojik

Tablo 13. Akıllı malzemeler sınıflandırması (Ritter, 2007; Addigton ve Schodek, 2005).

Özellik değiştiren akıllı malzemeler	Girdi	Çıktı
Termokromik	Sıcaklık	Renk değişimi
Fotokromik	UV ışını	Renk değişimi
Elektrokromik	Elektrik alan	Renk değişimi
Asıntı asılı parçacık	Elektrik alan	Renk değişimi
Polimer içerisine dağılmış sıvı kristal içeren malzeme	Elektrik alan	Renk değişimi
Gazokromik	Kimyasal etki	Renk değişimi
Fotokatalitik	UV ışını	Kimyasal reaksiyon
Şekil hafızalı alaşım	Sıcaklık	Şekil değişimi
Enerji alışverişi yapan akıllı malzemeler	Girdi	Çıktı
Faz değiştiren malzeme	Sıcaklık	Enerji depolama
Piezoelektrik	Kuvvet	Elektriksel alan
Piroelektrik	Sıcaklık	Elektriksel alan
Fotoluminesans	Radyasyon	Işık
Elektrolüminesans	Elektrik potansiyel farkı	Işık
Fotoelektrik	Işık	Elektriksel alan
Termoelektrik	Sıcaklık farkı	Elektriksel alan
Madde alışverişi yapan akıllı malzemeler	Girdi	Çıktı
Mineral emilimi yapan malzemeler	Sıcaklık, kimyasal ortam	Gaz/ su depolama

Yukarıda verilen literatürdeki iki sınıflandırmadan yararlanarak, çalışma kapsamında aşağıdaki tablo oluşturulmuştur. Tez kapsamında güneşten kaynaklı ısı ve/veya ışık ile çalışması, güneş kaynaklı görsel konfor ve termal konfor sorunlarını gidermesi ve sağladığı konfor şartları ile enerjiye kazanımına katkı vermesi, enerji üretimi ile güneş enerjisini değerlendirmesi söz konusu olan güneş etkileşimli akıllı malzemeler iki ana başlık ve ona ait alt başlıklar verilmiştir. Tez kapsamında güneş etkileşimli akıllı

malzemelerin, konfor ve enerji bağlamındaki etkisi görülmek istendiğinden aşağıdaki tablo bu anlamda oluşturulmuştur (Tablo 14).

Tablo 14. Tez kapsamında incelenecek akıllı malzemelerin sınıflandırması.

Özellik değiştiren akıllı malzemeler	Girdi	Çıktı	Güneş enerjisinin yapıda değerlendirilmesi
Elektrokromik	Elektrik alan	Renk değişimi	Enerji etkinliği Konfor
Asıntı asılı parçacık	Elektrik alan	Renk değişimi	Enerji etkinliği Konfor
Polimer içerisine dağılmış sıvı kristal içeren malzeme	Elektrik alan	Renk değişimi	Konfor
Fotokromik	UV ışını	Renk değişimi	Enerji etkinliği Konfor
Termokromik	Sıcaklık	Renk değişimi	Enerji etkinliği Konfor
Gazokromik	Kimyasal etki	Renk değişimi	Enerji etkinliği Konfor
Şekil hafızalı alaşım	Sıcaklık	Şekil değişimi	Konfor
Fotokatalitik	UV ışını	Kimyasal reaksiyon	Enerji etkinliği Konfor
Enerji alışverişi yapan akıllı malzemeler	Girdi	Çıktı	Güneş enerjisi ve konfor
Fotoluminesans	Radyasyon	Işık	Enerji etkinliği
Fotoelektrik	Işık	Elektriksel alan	Enerji etkinliği Konfor
Termoelektrik	Sıcaklık farkı	Elektriksel alan	Enerji etkinliği
Piroelektrik	Sıcaklık	Elektriksel alan	Enerji etkinliği
Faz değiştiren malzeme	Sıcaklık	Enerji depolama	Enerji etkinliği Konfor

Bu bilgiler ışığında özelliklik değiştiren (termokromik, fotokromik, elektrokromik, gazokromik, fotokatalitik, şekil hafızalı alaşım), enerji alışverişi yapan (faz değiştiren malzeme, piroelektrik, fotoluminesans, fotoelektrik, termoelektrik) malzemelerin her biri, tanım, çalışma prensibi, sınıflandırma, kullanım alanı, güneş enerjisi ile ilişkisi başlıklarında incelenmiştir. Malzemelerin uygulama örnekleri de her bir malzeme incelemesinin ardından analiz tablosu şeklinde verilmiştir.

Çalışmada analiz tablosu oluşturulurken akıllı malzeme kullanımının yapı kabuğu kapsamında yapıya sağlayacağı termal konfor, görsel konfor, hava kalitesi ve UV korunumu katkıları ele alınmıştır. Akıllı malzemelerin güneş ile etkileşim bağlamında değerlendirilmesinde kullanılan parametreler; malzemenin davranışı, tasarıma katkısı ve kullanıcı konforuna etkisi düşünülerek belirlenmiştir.

2.2.4. Örnek Yapıların Seçimi ve Analiz Tablolarının Oluşturulması

Analiz tablosu yapıya ait bilgiler ve malzemeye ait bilgiler olmak üzere iki ana başlıkta düzenlenmiş ve değerlendirilmiştir (Tablo 15).

Tablo 15. Yapı künye şablonu.

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO		Yapı fotoğrafı	
ADI			
İŞLEVİ			
YERİ			
YILI			
MİMARİ			
AÇIKLAMALAR			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ			
MARKASI			
Yapıya ait diğer fotoğraflar			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar	
		Saydam Duvar (pencere)	
	Çatı	Opak Çatı	
		Saydam Çatı (çatı penceresi)	
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Cam	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran			
	Güneş	Işık (UV)	
		Isı (Sıcaklık)	
		Sıcaklık Farkı	
	Diğer	Elektrik	
Sistem			
		Pasif	
		Aktif	
Davranış			
Malzemenin çalışma prensibi	Nitelik Değişimi	Renk Optik	
		Şekil	
		Adezyon	
	Enerji Alışverişi	Işık Yayan	
Enerji Üreten			
		Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		
	Görsel Konfor	Günüşiği Kontrolü (kmi, kmgk)	
		Kamaşma	
		Manzara	
	Hava Kalitesi		
UV korunumu			

Yapıya ait bilgiler: yapının adı, işlevi, yeri (konum), yılı, mimarı (tasarımcısı ya da yenileme ise üstlenici firması) ve yapıya ait açıklayıcı bilgilerin yer aldığı açıklamalar olarak kategorize edilmiştir.

Malzemeye ait bilgiler: tür, markası, yapı kabuğunda uygulandığı yer ve yüzey malzemesi, girdi enerjisi/ dış uyaran, sistem, davranış, çalışma prensibi şematik gösterimi, güneş enerjisinin yapıda değerlendirilmesi olarak katagorize edilmiştir.

Türü; yapıda kullanılan malzemenin hangi akıllı malzeme grubuna ait olduğunu belirtir. Örneğin, elektrokromik, fotolüminesan vb.

Markası: kullanılan akıllı malzemenin üretici firmasını belirtir. Böylece tasarımcı fikir sahibi olmaktadır.

Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi: yapı kabuğunu oluşturan yapı elemanları ‘cephe’ ve ‘çatı’dır (Orhon, 2013a). Dolayısı ile uygulama alanı olarak bu iki eleman opak ve saydam yüzeyleri üzerinden incelenmiştir. Opak yüzeylerin kapsamına girenler; taş, metal, ahşap, seramik, kiremit, tekstil, plastik, bitüm esaslı, beton ve çimento esaslı kaplamalar, boyalar ve sıvalardır. Saydam yüzeylerin kapsamına giren ise; her iki eleman için de cam yüzeylerdir.

Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran: akıllı malzemenin iç mekanizmasında değişikliğe sebep olan etkenler/faktörlerdir (Orhon, 2013b). Girdi enerjisi kapsamında güneş ile etkileşim; ışık, sıcaklık (ısı) ve sıcaklık farkı olarak ele alınmıştır. Girdi enerji güneş ile etkileşim kapsamına girmeyenler için ‘diğer’ parametresi altında elektrik enerjisi dahil edilmiştir. Örneğin; fotokromik malzemeler girdi enerjisi olarak ışık (UV) , şekil hafızalı alaşımlar girdi enerjisi olarak sıcaklık, elektrokromik malzemeler girdi enerjisi olarak elektriğe ihtiyaç duyarlar. Dolayısı ile ‘girdi enerjisi’ kriterinin parametreleri ışık, sıcaklık, sıcaklık farkı ve diğer olarak belirlenmiştir.

Sistem: akıllı malzemelerden; güneş ile kendiliğinden harekete geçenler pasif çalışanlar ve diğer enerji olarak elektrik akımı ile uyarılanlar aktif çalışanlar olarak sınıflandırılmıştır. Örneğin; faz değiştiren malzemeler dışarıdan bir müdahaleye ihtiyaç duymadan kendi kendine harekete (pasif) geçerken, gazokromik malzemelerin elektrik akımı (aktif) ile uyarılmasına ihtiyaçları vardır. Dolayısı ile ‘sistem’ kriterinin parametreleri pasif ve aktif olarak belirlenmiştir.

Davranış: akıllı malzemeler, değişken fiziksel ve kimyasal koşullara tekrarlı ve döngüsel tepkiler veren mekanizmalar olarak tanımlanabilir. Bu tepkiler malzemenin biçim, renk, doku, geçirgenlik gibi özelliklerini periyodik olarak dönüştürmelerini içerir (Ritter, 2007) . Örneğin; şekil hafızalı alaşımların sıcaklık uyarana karşı davranışı; gündüz gözeneklerin daralıp gece açılması, gündelik periyod içinde yıl/ömür boyu tekrarlanması olarak düşünülebilir. Dolayısı ile ‘davranış’ kriterinin parametreleri; nitelik değişimi kapsamında renk ve optik değiştirenler, şekil değiştirenler ve adezyon değiştirenler olarak; enerji alışverişi kapsamında; ışık yayanlar, enerji üretenler ve enerji değiş tokuşu yapanlar olarak belirlenmiştir.

Çalışma prensibi şematik gösterimi: malzemelerin uyarana karşısında gösterdiği çalışma mekanizmasını şematik anlatımlarla göstermektedir.

Konfor: termal konfor, görsel konfor, hava kalitesi ve UV korunumu kapsamında ele alınmıştır. Kriterler oluşturulurken Addington ve Schodek’in (2005) ‘Potansiyel Olarak Uygulanabilir Akıllı Malzemelerle İlişkili Tipik Yapı Sistemi Tasarım İhtiyaçlarının Haritalanması’ndan ve Seçil Yağlı’nın (2019) tezinde yer alan ‘akıllı malzemelerin işlevsel katkıları’ tablosundan yararlanılmıştır.

Termal konfor, ‘kullanıcının bulunduğu ortamın sıcaklık, nem, hava akımı gibi iklim koşulları açısından gerek bedensel gerekse zihinsel faaliyetlerini sürdürürken belirli bir rahatlık içinde bulunmalarını ifade eder (ASHRAE-55, 2010; Aydın, 2017; URL-123) Termal konfor problemleri, yapı kabuklarının mevsimsel değişikliklere ve gün içindeki değişimlere adapte olamamasından kaynaklanmaktadır (Karakoç, 2015) . Örneğin bu kapsamda termal konfor için sıcak zamanda güneş ışığını emen FDM katkılı bir camın ortamın soğuması ile emdiği ısıyı yayması düşünülebilir.

Görsel konfor; güneş ışığı kontrolü, kamaşma ve manzara kapsamında incelemiştir. Güneş ışığı kontrolü Addigton ve Schodek (2005) referansı ile kabuk malzemesinin iletimi ve kabuk malzemesinin göreceli konumuna göre (panjur ve panel sistemleri aracılığı ile güneş kontrolü) yapı kabuğundan geçen güneş radyasyonunun kontrolüne katkıları olduğundan alınmıştır. Örneğin fotokromik camlar kontrollü gün ışığı geçişi ile görsel konfora dolayısı ile kullanıcı konforuna katkı sağlamaktadır.

Hava kalitesi, kendini ve havayı temizleyen akıllı malzemeler esasen güneş aktivasyonu ile sağlanmaktadır. Dolayısı ile bu bir katkıdır. Hava kalitesi için güneş ışığı

ile aktive olan fotokatalitik bir boyanın havadaki zararlı malzemeleri parçalaması örnek verilebilir.

UV korunumu ile iç ortamdaki mobilyalar ve elektronik aletler daha uzun ömürlü olabilmektedir.

Bazı malzemeler birden fazla kategoride yapıya katkı sağlayabilmektedir. Örneğin; elektrokromik camlar, kontrollü gümüşü geçişi özelliği ile iç ortamın aşırı ısınmasının önüne geçerek termal konfora katkı sağlamaktadır. Elektrokromik camlarda kabuk malzemelerinin iletim özelliği ve fotoelektrik filmlerle camlarda kabuk malzemesinin göreceli konumu ile görsel konfor sağlanmaktadır. Bu tez çalışması, malzemeler kapsamında akıllı malzemelerin enerji etkinliğine mevcut ve potansiyel katkılarını inceleyecektir.

Yapı kabuğu günümüzde teknolojinin hızla gelişmesi ile yeni malzeme çeşitlerinden akıllı malzemeler için stratejik bir yapı bileşeni haline gelmiştir (Gür, 2004). ‘Bilgiç akıllı kabuk kavramını, değişen fiziksel etkilere karşı optimal şartlarda sürdürülebilir bir yapı yetisi kazandırırken mimari değerlendirme kriterlerinden fonksiyonel ve estetik olma gerekliliklerine de katkı sağlayan bir olgu olarak tarif etmektedir’ (Kızıltoprak, 2019).

2.2. Güneş Etkileşimli Akıllı Malzemeler ve Örnek Analizleri

Bu başlık altında Tablo 14’de oluşturulan güneş etkileşimli akıllı malzemeler çeşitli yönleri (çalışma prensibi, sınıflandırma, kullanım alanları, güneş enerjisi ile ilişkisi) ile anlatılmış ve güneş enerjisi ile ilişkisi ifade edilmiştir. Daha sonra malzemenin uygulandığı örnek yapının analiz tablosu, her bir malzeme grubunun arkasından verilmiştir.

2.3.1. Özellik Değiştiren Akıllı Malzemeler

2.3.1.1. Elektrokromik Malzemeler (EC/Electrocromics)

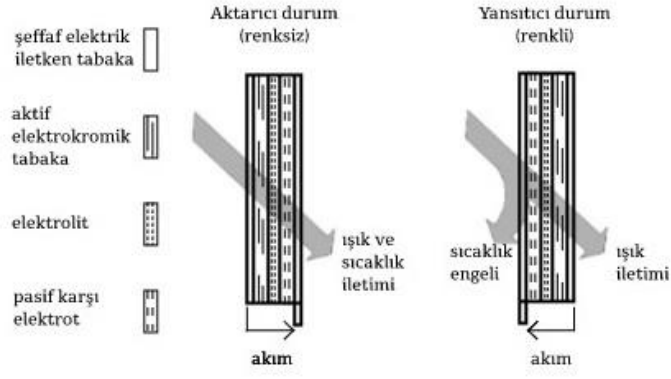
Elektrokromizm düşük bir elektrik akım ya da potansiyeli, sisteme iyon eklenmesi ya da çıkarılması, elektrik alan gibi bir dış etki tarafından uyarıldığında malzemenin tersinir⁶ olarak kimyasal yapısında değişiklikler ile nitelik (renk) değiştirmesi durumudur (Açıksarı ve Karasu, 2018; Öztürk, 2018).

Elektrokromik malzeme özelliğine sahip birçok malzemedен söz edilebilir. Fakat yaygın kullanımı elektrokromik camlardır. Bu camlar elektrik akımının etkisiyle saydamlık oranını değiştirmektedir (Karasu ve Sarıcaoğlu, 2018).

1704'de Alman boya üreticisi Diesbach'ın prusya mavisinin saydam duruma tersinir dönmesini keşfetmesine dayanan elektrokromizm, Kraus'un tungsten trioxide üzerindeki çalışmaları 1953 yıllını takiben bilinir hale gelmiştir. Elektrokromik camı akıllı cam olarak adlandıran 1985 yılında Svensson ve Granqvist olmuştur. Devam eden sürecin sonunda bugünkü ilk ticari ürün olan 'Privalite' 1991'de Avrupa marketinde görülmüştür (Ritter, 2007; Gürakın, 2012). Elektrokromizm teknolojili pencereler üzerinde yaklaşık 35 yıldır ar-ge çalışması yapılmaktadır (Öztürk, 2018).

Elektrokromik camların çalışma prensibinde saydamlık değeri, uygulanan elektrik akımı sonucu iki cam yüzey arasındaki sıvı kristallerin hareketi ile değişmektedir. Elektrik akımı kesildiğinde cam eski optik haline yani şeffaf konumuna dönüş yapar (Şekil 4 ve 5).

⁶ Tersinirlik: Akıllı malzemenin özellik değiştiren ve enerji alış verişi yapan olarak gerçekleşen prosesin tersine çevrilebilir olmasıdır. Örneğin; TC malzemede uyarıcı ısı etkisi ortadan kaldırıldığında malzeme rengi ilk hali olan şeffaf hale döner (Orhon, 2012).

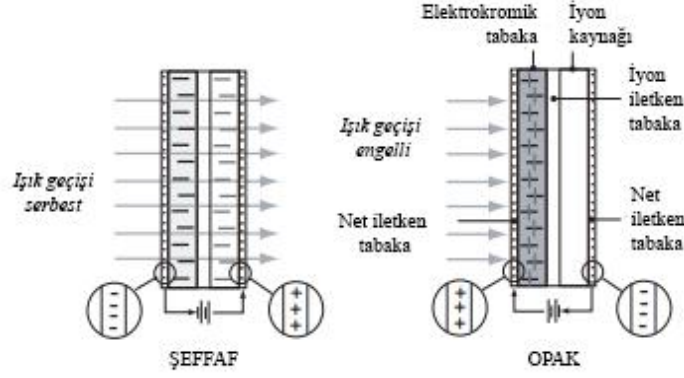


Şekil 4. Elektrokromik cam kesiti ve çalışma prensibi (Tavil, 2004).



Şekil 5. Elektrokromik cam uygulanmış bir çatı penceresi (URL-4, 2020).

Elektrokromik malzeme oksidasyon (indirgeme) yoluyla malzemede moleküler düzeyde kimyasal değişiklikten meydana gelir. Bir voltaj etkisiyle hidrojen ve lityum iyonları depolama katmanından iletken katmanına ve elektrokromik katmana yönlendirilir. Tüm bu işlem malzemenin optik özelliğini değiştirir yani cam kararır ve görünür ışık dalga boylarını emmesine neden olur. İşlem tersinir olarak iyonların iletken katmanından depolama katmanına geçmesiyle camın renginin açılmasına neden olur. Pencerenin karanlık durumda kalması için elektrik voltajı uygulanmaya devam etmelidir (Addington ve Schodek, 2005; Karasu ve Sarıcaoğlu, 2018). Bazı sistemlerde bir kez çalıştırıldıktan sonra gün boyunca enerjiye ihtiyaç duymadan aynı konumda kalabilme kabiliyeti vardır (Kızıltoprak, 2019). Elektrokromik kaplamalar beş tabakadan oluşur ve genellikle nikel veya tungsten metalinden meydana gelir (Şekil 6) (Karasu ve Sarıcaoğlu, 2018).



Şekil 6. Elektrokromik camlar (Addington ve Schodek, 2005).

Kaliforniya Enerji Komisyonu'nun çalışmasına göre EC camlar düşük voltajda -10 ile 60 derece arasında çalışabilmektedir (Kazanasmaz ve Diler, 2011).

Malzemenin dezavantajı ise kamaşma problemine çözüm getirememesi ve cam alanı arttıkça iklim koşullarına uyum hızının azalmasıdır (Öztürk, 2018).

Elektrokromik camlar elektrik tesisatlarına entegre olabildiği gibi alternatif olarak enerji ihtiyacının düşük olması (yaklaşık olarak 1-10V) sayesinde fotovoltaik ünitelerle de beslenebilmektedir (Kazanasmaz ve Diler, 2011).

Elektrokromik camların kullanımının yaygınlığının sebeplerinden biri de geleneksel cam sistemlerine uygulanabilir olma avantajlarıdır (Kazanasmaz ve Diler, 2011). EC'ler kontrol edilebilir olmaları, berrak konumdan renkli konuma geçerken görsel ilişkiyi kesmemesi ve enerji etkinliğinin yüksek olması gibi özellikleri ile günümüzde en çok tercih edilen ve gelecek vadede akıllı pencere grubudur (Öztürk, 2018).

Elektrokromikler organik bileşenlerden inorganik bileşenlerden oluşabilmektedir (Tablo 16).

Tablo 16. Genel olarak kullanılan elektrokromik malzemeler ve bileşenler (Ritter, 2007).

Organik Bileşikler	İnorganik Bileşikler
Katodik renklendirme viyolonselleri (bipiridinyum tuzları)	Katodik renklendirici metal oksitler (tungsten oksit WO ₃), molibdeum oksit (MoO ₃), niyobyum oksit (Nb ₂ O ₃)

Tablo 16'nın devamı.

Anodik renklendirici polimerler (polipirol, polianilin, politiofen türevleri)	Anodik renklendirici metal oksitler, diğer metal bileşikleri (nikel oksit NiO), iridyum oksit (IrO ₂), ferrik hekzasiyamoferat (Prusya mavisi)
Katodik renklendirici polimerler (politiofen türevleri)	

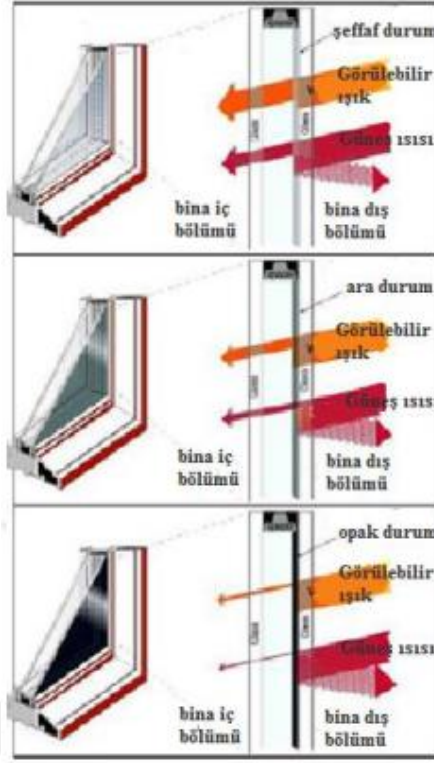
EC'lerin ürün bazında kullanım olanakları yapı sektöründe; EC boyalar, EC filmler, EC cam sistemleri, EC polimer sistemlerdir (Ritter, 2007) . Verilen ürünler içinde en verimli kullanım cam sistemlerinde görülmüş, bir voltaj uygulandığında ışık iletim özelliğini kendiliğinden değiştiren anahtarlı cam sistemleri ile kullanıcının ışık ve ısı miktarını kontrol edilebilir hale getirmiştir (Mohammed, 2017).

Enerji ile ilişkisine bakıldığında; EC pencerelerin Kuzey Avrupa iklimleri için yapılan simülasyon sonuçları kışın pasif ısıtmaya yazın pasif soğutmaya katkı sağladığını göstermektedir (Öztürk, 2018). Yapılan çalışmalar EC camların geleneksel camların iki katı tasarruf sağlama potansiyelleri olduğunu göstermektedir (Marchwiński, 2014). Özellikle çevre koşullarının ve hava şartlarının hızlı bir şekilde değiştiği bölgelerde kullanımı gün ışığından faydalanırken görsel konfor sağlama sebebi ile önemlidir (Şekil 7) (Kazanasmaz ve Diler, 2011).

Oldukça düşük bir elektrik akımı uygulanarak harekete geçen elektrokromik camların yüzeyinden gün ışığının geçişi (VT) ve güneş ısı kazancı (SHGC) azalmaktadır (Şekil 8) (Öztürk, 2018).



Şekil 7. Elektrokromik camların 4 aşamalı renk durumu (URL-5, 2020).





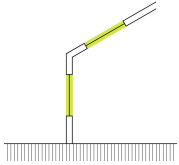
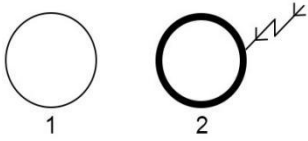
Şekil 8. Elektrokromik camda elektriksel alan uygulaması ile meydana gelen değişiklikler (Yağlı, 2019).

Elektrokromik pencereler dinamik sistemler olarak farklı iklim koşullarına göre hareket ederken yapının HVAC sistemlerine katkı sağlaması ile enerjinin etkin kullanımına, güneş ve bulutluluk değişkenlerine uyum sağlaması ile kullanıcı konforuna etki etmektedir (Tavil, 2004; Öztürk, 2018).



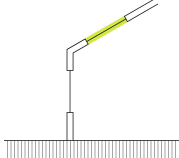
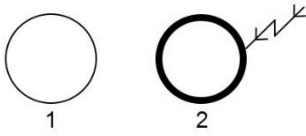
Yapılan çalışmalar sonucunda, EC pencerelerin güneş kontrol elemanları ile desteklenmesinin enerji etkinliğini arttırdığı görülmektedir. Kullanılan EC'lerin gün ışığı aydınlık düzeyine göre ayarlanması sonucu yapı aydınlatma yükünü düşürme potansiyeli görülmüştür (Tavil, 2004; Öztürk, 2018).

Aşağıda elektrokromik malzemelerin kullanıldığı yapı örnekleri verilmiştir (Tablo 17-24).



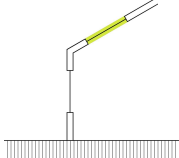
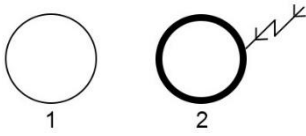
Tablo 17. Yapı künye örnek 1 (URL-6 ve 7, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	1		
ADI	Dirty Habit Restaurant		
İŞLEVİ	Restaurant		
YERİ	Washington D.C. / ABD		
YILI	2016		
MİMARİ	Stanton Architecture		
AÇIKLAMALAR			
Yapı cephesinde kullanılan elektrokromik camlar, gün boyunca güneş hareketi ile otomatik kararır veya berraklaşır. Bu sistem sayesinde restoranın içinde parlama ve güneş ısı kazancı her zaman kontroledilebilir. Böylece soğutma gereksinimi azalır ve çatıya daha kompakt ve hafif bir HVAC sisteminin kurulmasına olanak sağlanır.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Elektrokromik		
MARKASI	SageGlass - Saint Gobain		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar	
		Saydam Duvar (pencere)	●
	Çatı	Opak Çatı	
		Saydam Çatı (çatı penceresi)	●
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Cam	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran			
	Güneş	Işık (UV)	
		Isı (Sıcaklık)	
		Sıcaklık Farkı	
	Diğer	Elektrik	●
Sistem			
		Pasif	
		Aktif	●
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	●
		Şekil	
		Adezyon	
	Enerji Alışverişi	Işık Yayan	
		Enerji Üreten	
		Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		●
	Görsel Konfor	Günlüğü Kontrolü (kmi, kmgk)	●
		Kamaşma	●
		Manzara	●
	Hava Kalitesi		
	UV korunumu		●


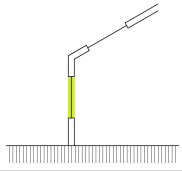
Tablo 18. Yapı künve örnek 2 (URL-8 ve 9, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	2		
ADI	Mall Of America		
İŞLEVİ	Alışveriş Merkezi		
YERİ	Minnesota / ABD		
YILI	2019		
MİMARİ	DLR Group		
AÇIKLAMALAR			
Yapının atriyum çatısında güneşten kaynaklanan parlama ve ısınma problemi elektrokromik cam sistemi ile çözülmektedir. 3.500 m ² cam sistem, kurulumu ile gün boyunca ışığı alan bu sistem aynı zamanda iklimsel konforu da oluşturmaktadır. 300 ayrı cam panel, otomatik olarak açılır ve çalışır. Cam, renklendirme (kararma), ışık sensörleri ile ayrıca gerektiğinde manuel olarak da kontrol edilebilir. Uygulama, yapının serin olmasına imkan verir.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Elektrokromik		
MARKASI	SageGlass - Saint Gobain		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar Saydam Duvar (pencere)	
	Çatı	Opak Çatı Saydam Çatı (çatı penceresi)	●
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Cam	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran			
	Güneş	Işık (UV) Isı (Sıcaklık) Sıcaklık Farkı	
	Diğer	Elektrik	●
	Sistem		
		Pasif	
		Aktif	●
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik Şekil Adezyon	●
	Enerji Alışverişi	Işık Yayan Enerji Üreten Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		●
	Görsel Konfor	Günlüğü Kontrolü (kmi, kmgk)	●
		Kamaşma	●
		Manzara	●
	Hava Kalitesi		
	UV korunumu		●



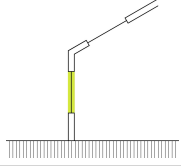
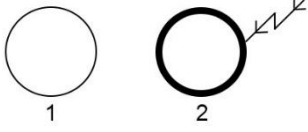
Tablo 19. Yapı künye örnek 3 (URL-10, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	3		
ADI	Centre Hospitalier Uni.Vaudois		
İŞLEVİ	Hastane		
YERİ	Lozan / İsviçre		
YILI	2016		
MİMARİ	Atelier Gamme Architecture		
AÇIKLAMALAR			
Cephe penceresinde kullanılan elektrokromik camlar, gün boyunca güneşe tepki olarak şeffaf bir şekilde koyulaşır ve aydınlanır. Böylece, dış ortam görünümünü korunurken iç ortam kullanıcıları için dengeli bir günışığı seviyesi ile gelen güneş ısı ve parlama kontrol edilir.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Elektrokromik		
MARKASI	SageGlass - Saint Gobain		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar	
		Saydam Duvar (pencere)	●
	Çatı	Opak Çatı	
		Saydam Çatı (çatı penceresi)	
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Cam	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran			
	Güneş	Işık (UV)	
		Isı (Sıcaklık)	
		Sıcaklık Farkı	
	Diğer	Elektrik	●
Sistem			
		Pasif	
		Aktif	●
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	●
		Şekil	
	Enerji Alışverişi	Adezyon	
		Işık Yayan	
		Enerji Üreten	
		Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		●
	Görsel Konfor	Günışığı Kontrolü (kmi, kmgk)	●
		Kamaşma	●
		Manzara	●
	Hava Kalitesi		
	UV korunumu		●


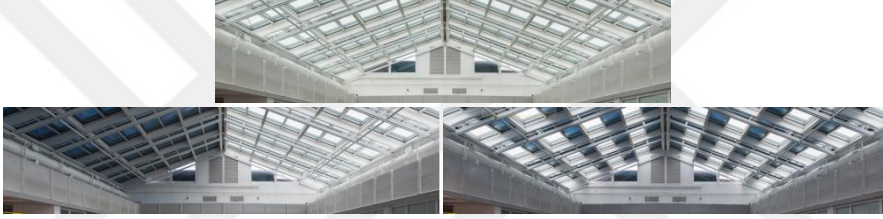
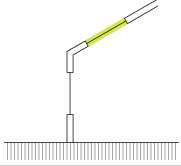
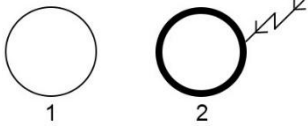
Tablo 20. Yapı künye örnek 4 (URL-11, 12 ve 13, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	4		
ADI	Museum Of Science		
İŞLEVİ	Müze		
YERİ	Boston/ ABD		
YILI	2014		
MİMARİ	Cambridge Seven Associates		
AÇIKLAMALAR			
Müzenin ana lobisinde üç katlı cam panel, giriş alanında güneş parlamasını en aza indirmek için uygulanmıştır. Böylece dış mekan görüşü (manzara) korunup, oluşabilecek parlamalar azaltılarak kullanıcı konforu artırılmış ayrıca enerji tüketimi düşürülmüştür.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Elektrokromik		
MARKASI	SageGlass - Saint Gobain		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar	
		Saydam Duvar (pencere)	●
	Çatı	Opak Çatı	
		Saydam Çatı (çatı penceresi)	
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Cam	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran			
	Güneş	Işık (UV)	
		Isı (Sıcaklık)	
		Sıcaklık Farkı	
	Diğer	Elektrik	●
Sistem			
		Pasif	
		Aktif	●
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	●
		Şekil	
	Enerji Alışverişi	Adezyon	
		Işık Yayan	
		Enerji Üreten	
		Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		●
	Görsel Konfor	Günlüğü Kontrolü (kmi, kmgk)	●
		Kamaşma	●
		Manzara	●
	Hava Kalitesi		
	UV korunumu		●



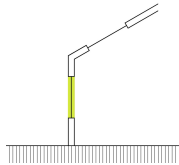
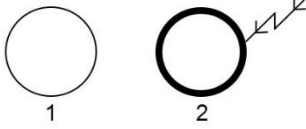
Tablo 21. Yapı künye örnek 5 (URL-14 ve 15, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	5		
ADI	St. Paul Uluslararası Havalimanı		
İŞLEVİ	Restaurant		
YERİ	Minnesota / ABD		
YILI	2016*		
MİMARİ	Stanton Architecture		
AÇIKLAMALAR			
<p>Havalimanının doğuya bakan cephesinin revizyonu sırasında mevcut camların yerine değiştirilerek kullanılan camlar (elektrokromik) görsel konfor sağlanırken manzaradan da taviz verilmemiş, dış mekânın biyofilik (insanı doğaya yaklaştıran) avantajlarından yararlanılabilmektedir. Mekanik pencere gölgelendirme sistemleri veya panjurlar gibi geleneksel güneş kontrollerinin aksine, bu sistem, güneş kontrolü problemlerini estetik ve tasarımdan ödün vermeden zarif bir şekilde çözmelerini sağlamıştır.</p>			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Elektrokromik		
MARKASI	SageGlass - Saint Gobain		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar Saydam Duvar (pencere)	●
	Çatı	Opak Çatı Saydam Çatı (çatı penceresi)	
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Cam	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyarıcı			
	Güneş	Işık (UV) Isı (Sıcaklık) Sıcaklık Farkı	
	Diğer	Elektrik	●
	Sistem		
		Pasif	
		Aktif	●
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik Şekil Adezyon	●
	Enerji Alışverişi	Işık Yayan Enerji Üreten Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		●
	Görsel Konfor	Günüşiği Kontrolü (kmi, kmgk)	●
		Kamaşma	●
		Manzara	●
Hava Kalitesi			
UV korunumu			●



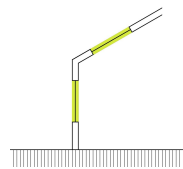
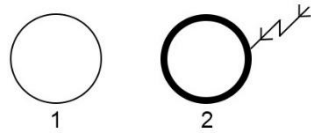
Tablo 22. Yapı künye örnek 6 (URL-16 ve 17, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	6		
ADI	IATA Executive Offices		
İŞLEVİ	Ofis		
YERİ	Cenevre / İsviçre		
YILI	2016		
MİMARİ	BIFF SA		
AÇIKLAMALAR			
Yapının merkezinde, açık planlı çalışma alanına bakan ve beş kata doğal ışık sağlayan çatı ışıklığının yenilenmesi projesinde bu malzeme uygulanmıştır. Uygulama sonrası çalışanların konfor seviyesini önemli ölçüde arttırmış ve klima ihtiyacını %60 oranında azaldığı tespit edilmiştir.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Elektrokromik		
MARKASI	SageGlass - Saint Gobain		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar	
		Saydam Duvar (pencere)	
	Çatı	Opak Çatı	
		Saydam Çatı (çatı penceresi)	●
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Cam	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran			
	Güneş	Işık (UV)	
		Isı (Sıcaklık)	
		Sıcaklık Farkı	
	Diğer	Elektrik	●
Sistem			
		Pasif	
		Aktif	●
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	●
		Şekil	
		Adezyon	
	Enerji Alışverişi	Işık Yayan	
		Enerji Üreten	
		Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		●
	Görsel Konfor	Günlüğü Kontrolü (kmi, kmgk)	●
		Kamaşma	●
		Manzara	●
	Hava Kalitesi		
	UV korunumu		●

Tablo 23. Yapı künye örnek 7 (URL-18, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	7		
ADI	Siemens-Gamesa Renewable Energy		
İŞLEVİ	Fabrika/ Ofis		
YERİ	Kansas / ABD		
YILI	2010		
MİMARİ	GNF Architects and Engineers		
AÇIKLAMALAR			
Cam malzeme, Kansas'taki 300.000 m ² Siemens Rüzgar Türbini Tesisi'nde Tasarımın ilk aşamalarından başlayarak önemli bir yapı bileşeni olmuştur. Tasarım ekibi, parlamayı ve güneş ısıısını azaltmak için eklenecek geleneksel sistemlerinin yapının ön cephesi için planlanan cam duvar estetiği için uygun olmayacağı düşüncesi ile bu malzemeyi kullanmıştır. Yapıda 4.900 m ² cam kullanılmıştır. Cam cephe, yapay aydınlatma ve HVAC sistemlerine olan bağımlılığı azaltarak enerji açısından verimli bir yapı oluşturmuştur.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Elektrokromik		
MARKASI	SageGlass - Saint Gobain		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar	
		Saydam Duvar (pencere)	●
	Çatı	Opak Çatı	
		Saydam Çatı (çatı penceresi)	
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Cam	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran			
	Güneş	Işık (UV)	
		Isı (Sıcaklık)	
		Sıcaklık Farkı	
	Diğer	Elektrik	●
Sistem			
		Pasif	
		Aktif	●
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	●
		Şekil	
		Adezyon	
	Enerji Alışverişi	Işık Yayan	
		Enerji Üreten	
		Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		●
	Görsel Konfor	Günlüğü Kontrolü (kmi, kmgk)	●
		Kamaşma	●
		Manzara	●
	Hava Kalitesi		
	UV korunumu		●

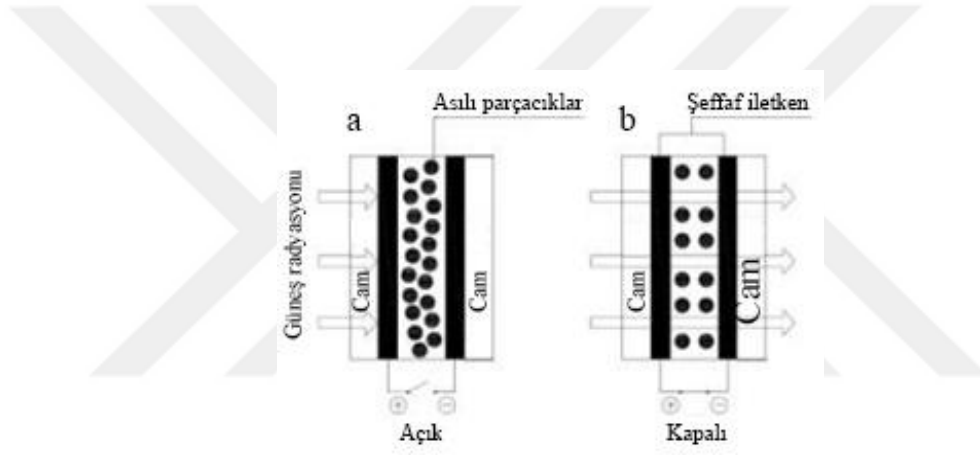
Tablo 24. Yapı künye örnek 8 (URL-19, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	8		
ADI	Kimmel Center for The Performing Arts		
İŞLEVİ	Kültür		
YERİ	Pensilvanya / ABD		
YILI	2012		
MİMARİ	BLT Architects		
AÇIKLAMALAR			
Tonozlu cam çatıda kullanılan isteğe bağlı veya otomatik olarak renk veren elektrokromik cam, ışığın, ısı kazanımının ve parlamasının esnek kontrolünü sağlar.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Elektrokromik		
MARKASI	SageGlass - Saint Gobain		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar	
		Saydam Duvar (pencere)	●
	Çatı	Opak Çatı	
		Saydam Çatı (çatı penceresi)	●
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Cam	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran			
	Güneş	Işık (UV)	
		Isı (Sıcaklık)	
		Sıcaklık Farkı	
	Diğer	Elektrik	●
Sistem			
		Pasif	
		Aktif	●
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	●
		Şekil	
	Enerji Alışverişi	Adezyon	
		Işık Yayan	
		Enerji Üreten	
		Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		●
	Görsel Konfor	Günlüğü Kontrolü (kmi, kmgk)	●
		Kamaşma	●
		Manzara	●
	Hava Kalitesi		
	UV korunumu		●

2.3.1.2. Asıntı Taneciklere Sahip Malzeme (SPD/Suspended Partical Device) (Asıntı Parçacıklı Cihaz) (Elektrooptik)

Asıntı taneciklere sahip (SPD) camlar herhangi bir elektriksel uyarıcı ile uyarıldıklarında optik özelliklerini değiştirmektedir (Açıksarı ve Karasu, 2018).

Asıntı taneciklere sahip malzemenin çalışma prensibine bakıldığında genellikle 3 tabakadan oluşmakta, iç tabakada organik bir akışkanın içerisinde iğnemsî şekilli asıntı polimerik tanecikler (poliiyodit ya da parafatit), dış tabakada iki paralel şeffaf iletken yer almaktadır. Voltajın uygulanmasıyla polimerik tanecikler hizalanarak ışık geçişine izin vermektedir (Şekil 9) (Açıksarı ve Karasu, 2018).



Şekil 9. Asıntı tanecikler içeren akıllı cam (a) voltaj uygulanmamış, (b) voltaj uygulanmış (Açıksarı ve Karasu, 2018).

Tipik bir uygulama elektrooptik malzemelerin renk değişimi elektriksel uyarıcı ile başlar (Addington ve Schodek, 2005). EC'lere nazaran daha yüksek yaklaşık 20-150 voltaja ihtiyaç duymaktadır (Açıksarı ve Karasu, 2018).

Asıntı tanecikler endüstriyel uygulamalarda genellikle yapısal olarak n-tipi yarı iletken doğasından ve dolayısıyla kontrol edilebilir optik ve elektronik özellikleri sayesinde şeffaf ve iletken $In_2O_3:SnO_2$ esaslı malzemeden, dış yüzeydeki elektrokromik film kaplamalar ise WO_x esaslı malzemelerden oluşmaktadır (Açıksarı ve Karasu, 2018).

Teknolojinin genel kullanımı pencere sistemleri üzerine yaygınlaşmıştır (Addington ve Schodek, 2005). Ayrıca EC kaplamalar tasarımda esneklik sağlayarak sergi yüzeyi,



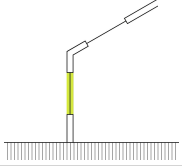
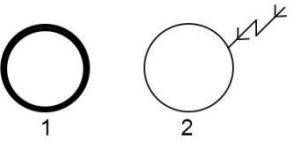
işaret panosu, tuvalet kabini, mağaza vitrini gibi farklı işlevler için de kullanıma olanak sağlamaktadır (Karasu ve Sarıcaoğlu, 2018).

Enerji ile ilişkisine bakıldığında SPD cam sistemleri, güneş ışığının ve ısı yoğunluğunun azaltılması istenilen yerlerde kullanılabilmesi ile enerji etkin yapıların bir ögesi olarak ele alınabilmektedir (Marchwinski, 2014).



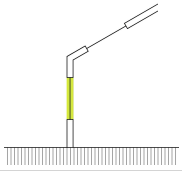
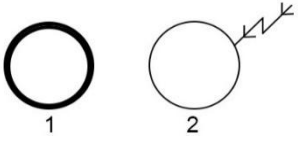
Aşağıda asımtı taneciklere sahip malzemelerin kullanıldığı yapı örnekleri verilmiştir (Tablo 25-28).





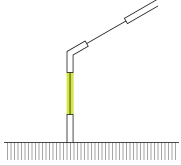
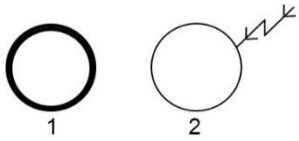
Tablo 25. Yapı künye örnek 9 (URL-20, 2020; Ritter, 2007).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	9		
ADI	Chanel Ginza		
İŞLEVİ	Ticari		
YERİ	Tokyo / Japonya		
YILI	2004		
MİMARİ	Peter Marino Associates		
AÇIKLAMALAR			
Gün boyunca, elektrooptik cam cepheyi şeffaf veya yarı saydam hale getirir. Camın şeffaf hale geçmesi için gereken enerji 5 watttır. Elektrooptik cam katmanları arasına yerleştirilen 700.000 LED sistemi geceleri cepheyi bir projeksiyon perdesi haline gelir. Cam malzeme m ² 'de 24 VA ile düşük elektrik tüketimi sağlamaktadır.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Elektrooptik / Asıntı Parçacıklı Cihaz		
MARKASI	Priva-Lite- Saint Gobain		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar	
		Saydam Duvar (pencere)	●
	Çatı	Opak Çatı	
		Saydam Çatı (çatı penceresi)	
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Cam	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran			
	Güneş	Işık (UV)	
		Isı (Sıcaklık)	
		Sıcaklık Farkı	
	Diğer	Elektrik	●
Sistem			
		Pasif	
		Aktif	●
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	●
		Şekil	
	Enerji Alışverişi	Adezyon	
		Işık Yayan	
		Enerji Üreten	
		Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		●
	Görsel Konfor	Günüşiği Kontrolü (kmi, kmgk)	●
		Kamaşma	●
		Manzara	
	Hava Kalitesi		
	UV korunumu		●



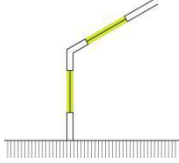
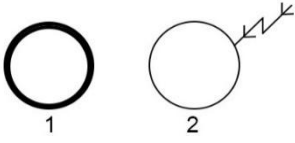
Tablo 26. Yapı künye örnek 10 (URL-21, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	10		
ADI	DLJM		
İŞLEVİ	Laboratuvar		
YERİ	Krakow / Polonya		
YILI	-		
MİMARİ	-		
AÇIKLAMALAR			
Cephede pencerede kullanılan elektrooptik cam sistemi, voltaj uygulandığında polimerik tanecikler hizalanarak ışık geçişine izin vermekte, voltaj kesildiğinde cephedeki bu pencereler opak görünüm almaktadır. Bu durumda iç ortamda mahremiyet sağlanabilmektedir. Kullanılan elektrooptik camlar parlamayı, UV hasarını ve ısı kazanımını önleyerek görsel ve termal konfora katkı sağlamaktadır.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Elektrooptik / Asıntı Parçacıklı Cihaz		
MARKASI	Priva-Lite- Saint Gobain		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar	
		Saydam Duvar (pencere)	●
	Çatı	Opak Çatı	
		Saydam Çatı (çatı penceresi)	
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Cam	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyarıcı			
	Güneş	Işık (UV)	
		Isı (Sıcaklık)	
		Sıcaklık Farkı	
	Diğer	Elektrik	●
Sistem			
		Pasif	
		Aktif	●
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	●
		Şekil	
	Enerji Alışverişi	Adezyon	
		Işık Yayan	
		Enerji Üreten	
		Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		●
	Görsel Konfor	Güneşli Kontrolü (kmi, kmgk)	●
		Kamaşma	●
		Manzara	
	Hava Kalitesi		
	UV korunumu		●

Tablo 27. Yapı künve örnek 11 (URL-22, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	11		
ADI	East Wintergarden		
İŞLEVİ	-		
YERİ	Londra / İngiltere		
YILI	-		
MİMARİ	Pelli Clark		
AÇIKLAMALAR			
Yapının cephesine uygulanan elektrooptik malzeme, gün ışığını en üst düzeye çıkarır, iç mekan mobilyalarını ve sanat eserlerini solmaya karşı korur, görsel ve termal konfora katkı yapar. Tüm bu özellikleri ile ısıtma ve soğutma gereksinimlerini azaltır.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Elektrooptik / Asıntı Parçacıklı Cihaz		
MARKASI	SPD-SmartGlass		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar	
		Saydam Duvar (pencere)	●
	Çatı	Opak Çatı	
		Saydam Çatı (çatı penceresi)	
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Cam	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran			
	Güneş	Işık (UV)	
		Isı (Sıcaklık)	
		Sıcaklık Farkı	
	Diğer	Elektrik	●
Sistem			
		Pasif	
		Aktif	●
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	●
		Şekil	
		Adezyon	
	Enerji Alışverişi	Işık Yayan	
	Enerji Üreten		
	Enerji Değiş Tokuşu		
Konfor			
	Termal Konfor		●
	Görsel Konfor	Günüşiği Kontrolü (kmi, kmgk)	●
		Kamaşma	●
		Manzara	
	Hava Kalitesi		
	UV korunumu		●

Tablo 28. Yapı künye örnek 12 (URL-23 ve 24, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	12		
ADI	USA Pavilion - Milan Expo		
İŞLEVİ	Pavilyon		
YERİ	Milano / İtalya		
YILI	2015		
MİMARİ	Biber Architects		
AÇIKLAMALAR			
Milano'daki 2015 Dünya Fuarı'ndaki ABD Pavyonu'nun çatısında, 10.000 m ² fazla akıllı cam, 312 panelden oluşan bir çatı sistemi oluşturmaktadır. Kullanılan elektrooptik camlar parlamayı, UV hasarını ve ısı kazanımını önleyerek görsel ve termal konfora katkı sağlamaktadır.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Elektrooptik / Asıntı Parçacıklı Cihaz		
MARKASI	SPD-SmartGlass		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar	
		Saydam Duvar (pencere)	●
	Çatı	Opak Çatı	
		Saydam Çatı (çatı penceresi)	●
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Cam	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran			
	Güneş	Işık (UV)	
		Isı (Sıcaklık)	
		Sıcaklık Farkı	
	Diğer	Elektrik	●
Sistem			
		Pasif	
		Aktif	●
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	●
		Şekil	
		Adezyon	
	Enerji Alışverişi	Işık Yayan	
		Enerji Üreten	
		Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		●
	Görsel Konfor	Güneşli Kontrolü (kmi, kmgk)	●
		Kamaşma	●
		Manzara	
	Hava Kalitesi		
	UV korunumu		●

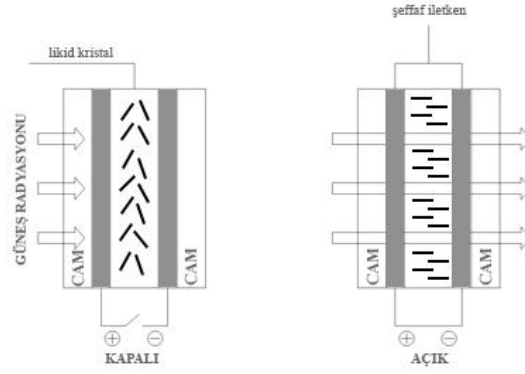
2.3.1.3. Polimer İçerisine Dağılmış Sıvı Kristal İçeren Malzemeler (PDLC/Polymer Distributed Liquid Crystal)

Polimer içerisinde dağılmış sıvı kristal içeren akıllı camlar da EC ve SPD sistemler gibi elektrik akımıyla uyarıldığında optik özelliklerini değiştiren malzemeler olarak tanımlanmaktadır. Son dönemde bu malzeme üzerine araştırmalar hız kazanmıştır (Açıksarı ve Karasu, 2018).

PDLC akıllı camların çalışma prensibinde elektriksel potansiyel uygulandığında optik özellikleri değişmektedir. Voltaj uygulanması ile polimer konak içerisinde rastgele dağılmış sıvı kristaller hizaya girmekte ve ışık geçişine izin vermektedir. Akıllı cam sistemlerinin şeffaf kalması için düşük voltaj uygulanmaya devam edilmelidir aksi takdirde opaklaşmaktadır (Şekil 10 ve 11). Güç uygulanmadığında rastgele dizilmiş sıvı kristaller ışığı dağıtmakta ve koyu görünmektedir. Genel olarak merkez tabaka, polimer matris (konak) içerisine gömülmüş sıvı kristal tanelerinden oluşan 3 tabaka içerir (Açıksarı ve Karasu, 2018).



Şekil 10. Yapılarda uygulanan PDLC örneği (A) voltaj uygulanmamış, (B) voltaj uygulanmış.



Şekil 11. Polimer içerisinde dağılmış sıvı kristal içeren akıllı cam bölümünün şematik görünümü: KAPALI- voltaj uygulanmış, AÇIK voltaj uygulanmamış (Açıksarı ve Karasu, 2018).

PDLC camlar her ne kadar düşük voltajla çalışsa da gerekli voltaj şiddeti cam sisteminin kalınlığına ve polimer konak tipine bağlıdır (Açıksarı ve Karasu, 2018).

Bu malzeme ile ilgili sınıflandırmaya dair herhangi bir bulgu bulunamamıştır.

PDLC malzemelerin yapı dışındaki ilk kullanım örnekleri saat camlarında görülmektedir. Zamanla pencere sistemlerinde kullanımları başlamıştır.

Voltaj uygulanmadığı sürece opak görünen bu camlar mahremiyet açısından avantaj sağlamaktadır (Kazanasmaz ve Diler, 2011). Ancak enerji verildiği sürece transparan kalabilen camların UV dayanımı ve maliyet problemi de tam olarak çözülmemiştir (Öztürk, 2018). Sıvı kristal pencereler, iletilen güneş radyasyonunu kontrol edemedikleri için enerji tasarrufu sağlamazlar (Marchwiński, 2014).

2.3.1.4. Fotokromik Malzemeler (PC/Photocromics)

1881'den beri bilimsel literatürde tartışılan fotokromizm, renkte tekrarlanabilir bir değişiklik ile karakterize edilen fenomenler için geçerlidir. Belirli bir ışık dalgasının emilimi ve bunun sonucunda kimyasal bir bileşenin elektron yapısında oluşan geri dönüşümlü değişiklikler fotokromizm olarak tanımlanmaktadır (Kreidi, 1970). Yunanca phos (ışık) ve kroma (renk) kelimelerinden kök alan fotokromizm, UV ve görünür

bölgedeki ışığın elektromanyetik emilimi ile renkteki tersinir değişim fenomenini açıklamak için kullanılmaktadır (Bouas-Laurent, 2001).

Işığa maruz kaldığında renk değiştiren/nitelik değiştiren malzeme grubundaki fotokromik malzemeler, sonsuz enerji kaynağı olan güneş enerjisinin emilimi, yansıtılması ve saçılması ile değişime uğrayan malzeme sınıfıdır. Bu grup aslında renk değiştirmez. Kendi optik özelliklerini dış uyarıcı (ışık) altında değiştirmektedir. Bu malzeme davranışlarını sadece renk değiştirme olarak tanımlamak basit kalmaktadır (Şekil 12) (Ritter, 2007).

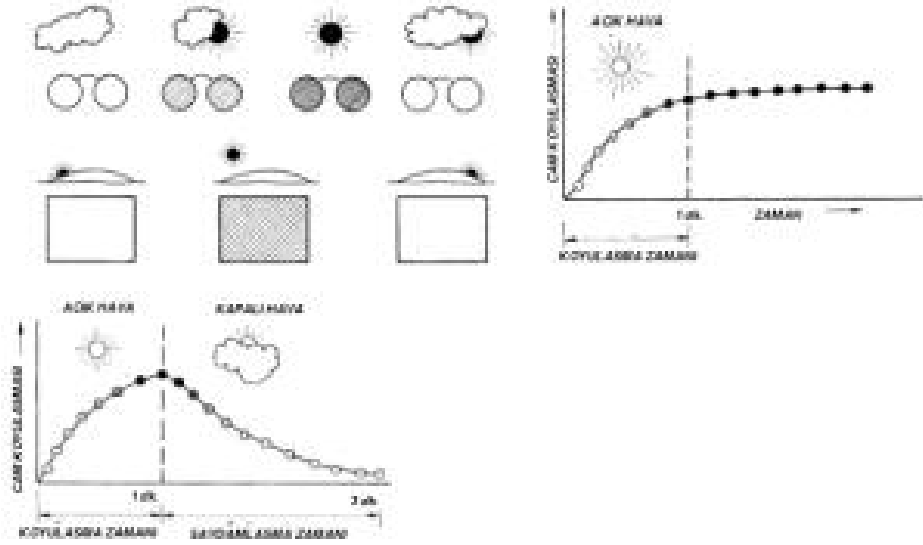


Şekil 12. Fotokromik pigmentlerin uyarıcı ışık ile renk değiştirmesinin aşamaları.

Fotokromik camlar belli bir dalga boyunun etkisiyle koyulaşır ve bu etki kaynağından uzaklaştığında ise, yeniden özgün rengini almaktadır (Karasu ve Sarıcaoğlu, 2018). Bu malzeme tanınmaya başladığında renk değişiminden kaynaklanan estetik katkı üzerinde durulmakta iken araştırmacılar son zamanlarda ürünün enerji durumu, zamanlaması ve yüzey sıcaklığındaki değişiklikler gibi diğer işlevlerini yakından incelemektedir (Ritter, 2007).

Fotokromik camlar ışığa tepki verecek şekilde üretilebilmekte, bu tür camlar fotokromik cam olarak adlandırılmaktadır. Mimaride fotokromizm en yaygın kullanımı bu malzemede görülmektedir (Kreidl, 1970).

Fotokromik camlar yapısında bir miktar gümüş klorür içeren nano ölçekte gümüş klorür, gümüş bromür, gümüş iyodür gibi tuzlardan oluşmaktadır. Çalışma prensibinde camdaki gümüş klorür atomları UV yani ışık etkisiyle ayrışır görünür ışık absorbe edilir ve camda kararma meydana gelir, ışık kaynağı kalktığında ise tersinir olan cam tekrar şeffaf konuma döner (Şekil 13).



Şekil 13. Cam koyulaşma ve saydamlaşma süreçleri şematik gösterimi (Kreidl, 1970).

Fotokromik camlara gelen ışık miktarı arttığında yutuculuk özelliği artmakta, ancak görüntü bulanıklaşmaktadır (Ayvaz, 2019).

Fotokromizim özelliğinin yapı dışında kullanımı fotokromik özellikte kaplamalı cam kullanılan gözlüklerdir. Bu gözlükler, kapalı ortamda standart camlar gibi saydamken dış ortamda gün ışığına maruz kaldıkları için kararır ve böylece gözü UV ışınlarına karşı korurlar (Şekil 14) (Karasu ve Sarıcaoğlu, 2018).

Akıllı camlar, çalışma prensibine göre pasif ve aktif camlar olarak ikiye ayrılmaktadır. Fotokromik camlar uyarıcı olarak ışığa tepki göstermeleri ve ayrıca elektrik uyarıcısına ihtiyaç duymaması ile pasif akıllı camlar sınıfındadır.



Şekil 14. Farklı sektörlerde fotokromik cam örnekleri (Mohammed, 2017).

Fotokromik cam UV ya da görünür ışığa maruz kalınca yapısındaki siyah renk veren maddede kimyasal değişiklikle içsel özellik değişimi meydana gelir ve cam 1 dakika içerisinde kararır. Camın uyarıcı etkisi azaldığında yaklaşık 2 dakika sonra camın rengi açılır. (Kreidi, 1970; Lyons, 2010). Gün ışığının malzemeyi uyaracak yoğunlukta olduğu zaman cam yüzeyi karararak iç ortama mahremiyet sağlamaktadır (Yağlı, 2019). Fotokromik camlar standart cam eritme ve cam şekillendirme teknikleri kullanılarak, istenilen herhangi bir boyutta veya şekilde üretilebilmektedir (Tomozawa ve Doremus, 1977).

Fotokromik malzemelerin davranış performansı, üzerine düşen ısı ve ışığa ne yoğunlukta maruz kaldığına bağlıdır. Bu durumda bazen cam ısınır bu da performansını olumsuz etkilemektedir (Addington ve Schodek, 2005; Gürakın, 2012).

Fotokromik malzemeler kimyasal yapılarına/bileşenlerine göre sınıflandırılabilir.

Organik bileşikler: Naftopiranlar, spiropiranlar, spirooksazinler (örn. Spiroaftoksazinler), spirohidroindolizinler, kromenler, diaryletenler, fulgitler, azo bileşikler, bakteriorhodopsin (BR).

İnorganik bileşikler: Gümüş halojenürler (örn. Gümüş bromür (AgBr), gümüş klorür (AgCl), gümüş iyodür (AgI)).

Doğal özellikleri, renklerini değiştirerek ışığa (görünür ışık, UV ışığı, IR ışığı; elektromanyetik radyasyon) tepki vermelerini sağlar (Ritter, 2007). Uyarıcı yanıtını yani fotokimyasal reaksiyonu hızlı görebilmek için inorganik bileşenler grubundaki gümüş halojenler yaygın olarak kullanılmaktadır (Yaşar vd., 2010).

Fotokromik camlar yapı sektörü, mobilya sektörü, gıda sektörü uzay ve ulaşım sektörü, tıp ve tekstil gibi birçok sektörde kullanılmaktadır (Şekil 15). Camların kullanımı ışığa geri dönüşümlü tepki verebildikleri ve UV ışınlarına karşı koruma sağladığı için ilk olarak gözlük camlarında görülmüştür (Karasu ve Sarıcaoğlu, 2018; Kazanasmaz ve Diler, 2011; Ritter, 2007).



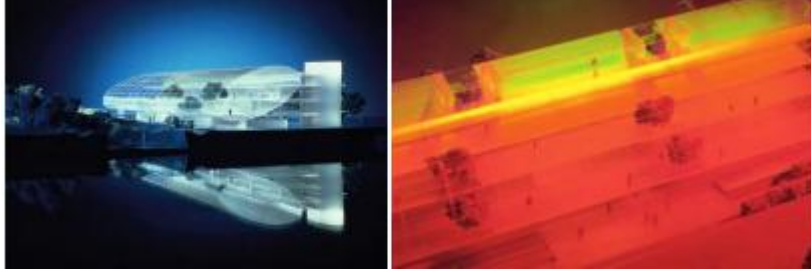
Şekil 15. Fotokromik özelliğın uygulandığı kumaş ve cam malzemeler (Ritter, 2007).

Mimarlıkta kullanılan fotokromik özelliğė sahip malzemeler; fotokromik pigmentler (Şekil 16), fotokromik plastikler, fotokromik polimerler ve en yaygın kullanıma sahip olan fotokromik camlardır (Ritter, 2007).



Şekil 16. Orproject ve Laura Micalizzi tarafından Or2 isimli strüktür (fotokromik boya kullanılarak tasarlanmıştır) (URL-25, 2020).

Fotokromik malzemeler genellikle yüzey olarak cam ve plastik yüzeylere, yapı elemanı olarak ise döşeme, çatı ve duvara uygulanabilmektedir (Şekil 17) (Ayvaz, 2019). Mimaride, güneş kazancını kontrol etmek ve parlamayı azaltmak için çeşitli pencere veya cephe uygulamalarında kullanılmıştır (Addington ve Schodek, 2005).



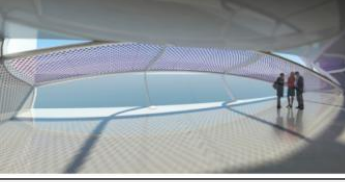

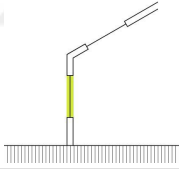
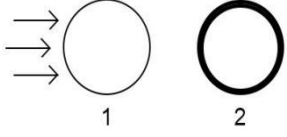
Şekil 17. Fotokromik camdan yapılmış bir yapı kabuğu modeli: Becker Gewers Kühn & Kühn mimarlık tarafından tasarlanmış Modern Sanat Müzesi, 1992, Münih (Ritter, 2007).

Fotokromik camların enerji ile ilişkisine bakıldığında ısıtma, soğutma ve iklimlendirme (HVAC) sistemine duyulan ihtiyacı azalttığı görülmektedir. Fotokromik camların çalışma prensibi yani karararak iç ortama yeterli günışığını geçirirken gün ışığı geçişini azaltması, en çok soğutma sistemine katkı sağlamaktadır (Kızıltoprak, 2019). Bu camlar görünür ışık ya da mor ve ötesi ışınlarla maruz kaldıklarında kararmakta, böylece iç ortamda kamaşma ve soğutma sisteminin fazla çalışması önlenmiş olurken aynı zamanda yeterli gün ışığı alımı da sağlanmaktadır. Dolayısıyla termal konfora da katkı sağlamaktadır (Açıksarı ve Karasu, 2018; Kızıltoprak, 2019).

Bulunduğu yerin iklim koşullarına uygunluğu sayesinde kontrollü gün ışığı geçirgenliği ile hem görsel konfor hem de mahremiyet sağlamaktadır (Kızıltoprak, 2019). Dolayısı ile yapılarda ayrıca bir gölgeleme elemanına yani perde veya panjur kullanımına ihtiyaç duyulmamaktadır (Yaşar vd., 2010). İç ortamdaki parlamayı engellemekte ve mobilyaları UV ışıınımdan korumaktadır (Yaşar vd., 2010).

Aşağıda fotokromik malzemelerin kullanıldığı yapı örnekleri verilmiştir (Tablo 29).

Tablo 29. Yapı künye örnek 13 (URL-26, 2020).

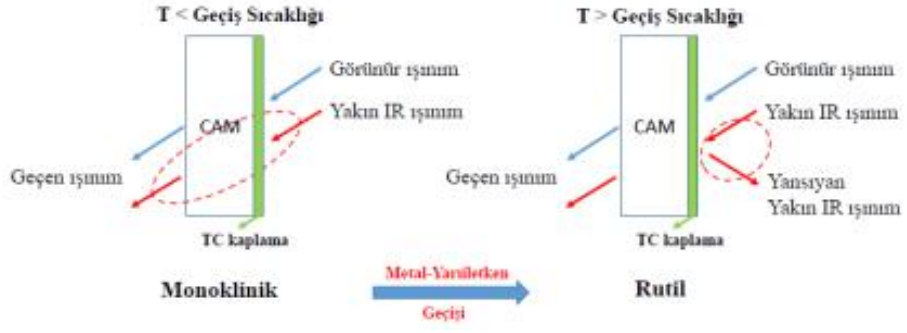
YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	13		
ADI	Chromatic Skins		
İŞLEVİ	prototip		
YERİ	Katalonya/ İspanya		
YILI	2013		
MİMARİ	Institute for Advanced Architecture of Catalonia		
AÇIKLAMALAR			
<p>Bu proje inşa edilmiş bir yapının bir uyarın spektrumuna kendiliğinden yanıt vermesini mümkün kılarken, yapı kaplamalarının da dinamik, görsel olarak çekici ve iletişimsel kalitesine sahip bir noktaya taşımaktadır. Cephede cam malzemeye entegre, güneş ışınlarına dik açı gösteren 'panjur' benzeri elemanlar geliştirilmiştir. Bunlar güneşe en fazla maruz kalan bölgelerde bulunur ve bu nedenle buna göre etkinleştirilir. Pasif bir gölgelendirme sistemi kurulmuş olur.</p>			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Fotokromik		
MARKASI	-		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar	
		Saydam Duvar (pencere)	●
	Çatı	Opak Çatı	
		Saydam Çatı (çatı penceresi)	
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Cam yüzeye pigment katkısı	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyarın			
	Güneş	Işık (UV)	●
		Isı (Sıcaklık)	
		Sıcaklık Farkı	
	Diğer	Elektrik	
Sistem			
		Pasif	●
		Aktif	
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	●
		Şekil	
	Enerji Alışverişi	Adezyon	
		Işık Yayan	
		Enerji Üreten	
		Enerji Değiş Tokuşu	
Güneş Enerjisinin Yapıda Değerlendirilmesi			
	Termal Konfor		●
	Görsel Konfor	Günışığı Kontrolü (kmi, kmgk)	●
		Kamaşma	●
		Manzara	
Hava Kalitesi			
UV korunumu		●	

2.3.1.5. Termokromik Malzemeler (TC/Thermocromics)

Termokromik kelimesi Yunancada ‘termos’ yani ılık veya sıcak ‘croma’ yani renk anlamına gelen köklerden oluşmuştur (Parkin ve Manning, 2006). Termokromik malzemeler ve termokromikler, sıcaklık değişimi ile oluşan kimyasal reaksiyonlar ve faz değişimi sonucu tersinir bir şekilde renk değiştiren malzemeler olarak tanımlanmaktadır (Yeşildal, 2002; Ritter, 2007). 1909'da Praglı kimyager Hans Meyer, bazı organik bileşiklerde termokromik davranış gözlemlemiştir. Schmidt ve diğerleri, 1954 ve 1963'te termokromizm hakkında Londra'daki Journal of Chemical Society'de makaleler yayımlamıştır. 2003 yılında Almanya'daki Golm'deki Fraunhofer Uygulamalı Polimer Araştırmaları Enstitüsü, çeşitli plastiklerde bulunan mikrokapsüllenmiş termokromik kompozitler ve bir çeşit termotropik güneş koruması geliştirmeyi başarmıştır (Wilson vd., 2002).

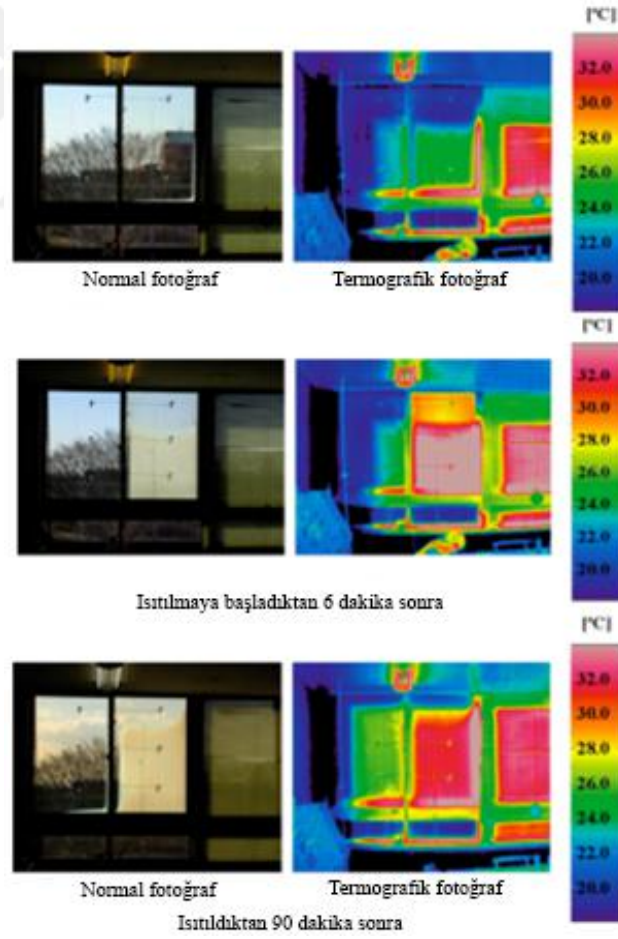
Termokromik (TC) malzemelerin çalışma prensiplerine bakıldığında başlangıçta, düşük sıcaklıklarda (genellikle oda sıcaklığı) monoklinik fazdadır. Bu, soğuk durum şeklinde tanımlanır. Sıcaklığın belirli bir değerin üzerine çıkması ile birlikte termokromik malzemeler ısıyı emer, bu da termal olarak indüklenen bir kimyasal reaksiyona veya faz dönüşümüne yol açar ve pencere kararır bu da sıcak durum (rutil fazı) olarak tanımlanır.

Termokromik özelliğe sahip bir pencere termal aktif jelli katmanlardan oluşmakta ve belirli bir sıcaklığı geçtiğinde, kızılötesi ışınları yansıtan bir yüzeye dönüşmektedir. Dolayısıyla penceredeki bir sıcaklık kaynağı ile aktive edilebilir. Termokromik camların saydamlık derecesi güneş ışınımına bağlıdır fakat oda sıcaklığı düşük ise pencere aydınlık kalır, oda sıcaklığı yüksek ise odadaki pencere kararır gölgeleme sağlanır (Şekil 18) (Oğuz, 2007).



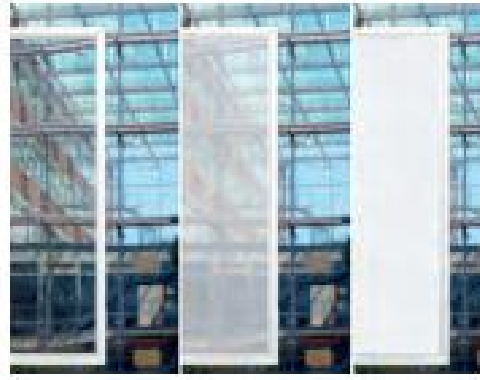
Şekil 18. Akıllı cam kaplaması olarak uygulanmış termokromik malzemenin şematik gösterimi (Addington ve Schodek, 2005).

Termokromik özellikteki camın güneş ışığı etkisiyle ısınması sonucu ışık geçirgenliği yaklaşık 6 dakika sonra azalır (Şekil 19).



Şekil 19. Isıya duyarlı camın ısıtıldıktan önce ve sonra normal ve termografik görüntüleri termokromik camın değişik durumlarda görüntüleri (Inoue vd., 2008).

Termokromik boyaların dış cephelerde kullanımı ile ilgili sorun, güneş ışığında ultraviyole dalga boylarına maruz kalmanın malzemenin bozulmasına ve renk değiştirme yeteneğini kaybetmesine neden olabilmesidir (Addington ve Schodek, 2005). Cama herhangi bir gölge vurması durumunda, cam yüzeyinde sıcaklık farkı oluşur ve camın renginde açılma meydana gelir. Bu homojen olmayan görüntü estetik zafiyete yol açabilir (Yao ve Neng, 2011). Saydam haldeyken sıcaklığın artması ile kararmakta ve yansıtıcı özelliği artmaktadır. Bu durumda camda görüntü bulanıklaşır (Şekil 20) (Yener, 2007).



Şekil 20. Termokromik cam uygulaması (Al-Baldawi, 2015).

Termokrom teknolojisi için serin çatılarda, renk ve yansıma performanslarını sıcaklığa göre değiştirebilen boyalar ve kaplamalar üreten uygulamalar vardır, böylece yaz aylarında ısı yükünün azalmasını kış aylarında ise ısı kazanımını sağlamaktadır (Casini, 2016) . Low-e kaplamaya uygundur. Bu sayede ısı kaybını da azaltan sistem elde edilebilir (Compagno, 2002).

Termokromik malzemeler sınıflandırılacak olursa organik bileşenlerden oluşanlar ve inorganik bileşenlerden oluşanlar olarak belirlenebilir.

Organik bileşenler; kolesterik sıvı kristaller (örneğin kolesterilesterler), löko boyalar (örneğin spiropiranlar, fulgitler).

İnorganik bileşenler; metal oksitler (örneğin vanadyum oksit (VaO), vanadyum tungsten oksit (VaWO), çinko oksit (ZnO), bizmut oksit (BiO), bakır oksit (CuO)), metal iyodürler (örneğin cıva (II) -iyodür).

Cama kazandırılan termokromik özellik demir, bakır, krom ve kobalt gibi metallerle oluşturulan polimerik ara katmanlarla ile ya da hidrojelili ara katmanlar ile kazandırılır. Fakat hidrojelili ara katmanlar içerdiği sudan dolayı donma yapabilmektedir. Polimerik katmanlardan oluşan camlarda bu problem olmadığı için yaygın olarak tercih edilirler (Yaşar vd., 2010; Ritter, 2007). Termokromizmin özellikleri çok çeşitli organik ve inorganik bileşiklerde ve vanadyum oksit gibi metal oksit filmlerinde gözlemlenebilir. Termokromik özellik çoğunlukla; Vanadyum dioksit (VO₂) katkısıyla oluşturulur. Yarı iletken metalik duruma geçerek, bu kızılötesi (IR) bölgede oldukça hassas yansıtıcı bir davranış kazanır (Casini, 2016). Vanadyum dioksit elektriği ileten, fakat ısıyı iletmeyen bir metal olarak tanımlanır. Elektronlar arasında oluşan senkronize hareketler, elektronların birbirleri ile daha az etkileşime girmesine neden olur ve ısı iletimini azaltır (Kiria vd., 2010). Termokromik karışım boya bazı ve bağlayıcılardan zaman içinde özelliklerini kaybetmemeleri için mikrokapsülünerek izole edilir (Casini, 2016).

Sıcaklığa duyarlı olduklarından, esas olarak havacılık endüstrisinde, ısınmaya maruz kaldıklarında yüzeylerin salım gücünü değiştirmek için kullanılırlar. Ayrıca, sıcaklık göstergesi için termokromik mürekkepler kullanılmaktadır (Lamber, 2004; Nasr, 2017).

Termokromik Ürünler; termokromik malzemeler (tc), termotropik malzemeler (tt), termokromik pigmentler, termokromik cam, termotropik cam, termokromik plastik, termokromik polimerlerdir (Ritter, 2007). Metal, ahşap, cam, plastik, kumaş ve deri gibi yüzeylere fırça, rulo veya sprey ile uygulanabilir toz veya boya olarak mevcuttur (Şekil 21) (Al-Baldawi, 2015).



Şekil 21. Juergen Mayer tarafından tasarlanmış termokromik mobilya (Süyük Makaklı, 2017).

Termokromik camlar sıcaklığın artmasıyla kararmakta fakat aynı zamanda yüzeyi de ısınmaktadır. Buna rağmen enerji ile ilişkisine bakıldığında yapının soğutma yükünün azaltılmasına etki etmektedir. Bunun nedeni yayılımla kazanılan ısının gün ışığının dolaysız iç ortama girmesiyle kazanılan ısıdan çok daha az olmasıdır. Dolayısı ile iç ortam konfor şartlarına katkı sağlamaktadır (Inoue vd., 2008). Termokromik camlar her ne kadar pasif cam sistemleri olsa da pencereye eklenen bir sıcaklık kaynağı ile istendiği zaman açılıp kapanabilir fakat bu enerji verimliliğini azaltır (Carmody vd., 2004).

MIT mezunları tarafından patentlenen termokromik çatı kiremiti 'Thermeleon' (Şekil 22), karanlık, ısı emici bir alt tabaka üzerinde faz değiştiren bir polimer jel tabakasına dayanmaktadır. Düşük sıcaklıklarda karo siyahtır bu sayede ısıyı emer. Sıcaklıklar sabit bir ayar noktasının üzerine çıktığında, 0-100 ° C aralığında, polimer fazı jelden ayrılır, çözeltiyi farklı kırılma indekslerine sahip bir polimer ve çözücü karışımına dönüştürür. Karo artık beyazdır ve yansıtıcı özelliktedir. Testler, ürünün kış modunda güneş radyasyonunun %70'ini emebileceğini ve yaz modunda %80'ini yansıtılabildiğini göstermiştir (Casini, 2016).



Şekil 22. MIT mezunları tarafından patentlenen termokromik çatı kiremiti Thermeleon ve çalışma prensibi (URL-27 ve 28, 2020).

Termokromik malzemeleri (TC) içeren uygulamalar, fotokromik malzemeleri (PC) içeren uygulamalardan daha yaygındır. Bu, mimarlıkta olduğu kadar sanat ve tasarım alanları için de geçerlidir (Al-Baldawi, 2015).

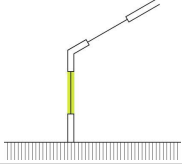
Enerji ile ilişkisine bakıldığında; termokromik malzemelerden imal edilen ısıya duyarlı camların, iç ortam konforunu günümüzde kullanılan çift katlı camlara kıyasla %70 ile %53 daha fazla iyileştirmektedir (Yao ve Neng, 2011). Performansı en az 20 yıllık bir çalışma süresi için garanti edilir ve güneş kontrolü sağlayan diğer aktif kontrollü dinamik

sistemlerinden (yatırım getirisi <4 yıl) daha ucuzdur (Casini, 2016) . Ticari olarak henüz yeterli yaygınlıkta değildir (Yao ve Neng, 2011).



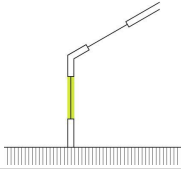
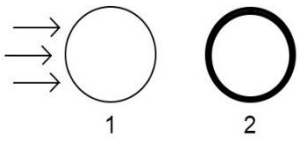
Aşağıda termokromik malzemelerin kullanıldığı yapı örnekleri verilmiştir (Tablo 30-36).





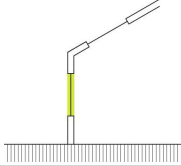
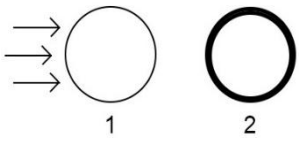
Tablo 30. Yapı künye örnek 14 (URL-29 ve 30, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	14		
ADI	Pleijsier Bouw Headquarters		
İŞLEVİ	Ticari/ Ofis		
YERİ	Nijkerk/ Hollanda		
YILI	2018		
MİMARİ	Mies Architectuur		
AÇIKLAMALAR			
Cephe de kullanılan termokromik malzeme, doğal güneşliği, parlama ve gürültü ile kullanıcı konforu sağlarken, kolay kurulum ve kullanım, gölgeleme elemanlarının azaltılması, küçültülmüş HVAC sistemi ile de enerji tasarrufu getirmektedir.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Termokromik		
MARKASI	Suntuitive Dynamic Glass		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar	
		Saydam Duvar (pencere)	●
	Çatı	Opak Çatı	
		Saydam Çatı (çatı penceresi)	
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Cam	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran			
	Güneş	Işık (UV)	
		Isı (Sıcaklık)	●
		Sıcaklık Farkı	
	Diğer	Elektrik	
Sistem			
		Pasif	●
		Aktif	
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	●
		Şekil	
		Adezyon	
	Enerji Alışverişi	Işık Yayan	
		Enerji Üreten	
		Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		●
	Görsel Konfor	Güneşliği Kontrolü (kmi, kmgk)	●
		Kamaşma	●
		Manzara	●
	Hava Kalitesi		
	UV korunumu		●



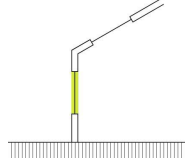
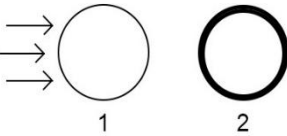
Tablo 31. Yapı künye örnek 15 (URL-31, 32 ve 33, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	15		
ADI	Masco Corporate Headquarters		
İŞLEVİ	Ticari		
YERİ	Michigan / ABD		
YILI	2017		
MİMARİ	Lindhout Associates Architects		
AÇIKLAMALAR			
Yapının tüm cephesinde kullanılan termokromik cam parlama kontrolü ve güneşiği optimasyonu ve görsel konfor sağlamaktadır.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Termokromik		
MARKASI	Suntuitive Dynamic Glass		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar	
		Saydam Duvar (pencere)	●
	Çatı	Opak Çatı	
		Saydam Çatı (çatı penceresi)	
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Cam	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran			
	Güneş	Işık (UV)	
		Isı (Sıcaklık)	●
		Sıcaklık Farkı	
	Diğer	Elektrik	
Sistem			
		Pasif	●
		Aktif	
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	●
		Şekil	
	Enerji Alışverişi	Adezyon	
		Işık Yayan	
		Enerji Üreten	
		Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		●
	Görsel Konfor	Güneşiği Kontrolü (kmi, kmgk)	●
		Kamaşma	●
		Manzara	●
	Hava Kalitesi		
	UV korunumu		●

Tablo 32. Yapı künye örnek 16 (URL-34, 35, 36 ve 37, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	16		
ADI	Cambridge Üniversitesi İnşaat		
İŞLEVİ	Eğitim		
YERİ	Cambridge/ İngiltere		
YILI	2019		
MİMARİ	Grimshaw Architects		
AÇIKLAMALAR			
Cephedeki termokromik cam, sıcaklıklar ılık ve sezgisel olarak gün ışığına izin verirken, yapıya nüfuz eden UV ve parlamayı sınırlar. Bu durum termal konfora katkı sağlamaktadır.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Termokromik		
MARKASI	Suntuitive Dynamic Glass		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar Saydam Duvar (pencere)	●
	Çatı	Opak Çatı Saydam Çatı (çatı penceresi)	
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Cam	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran			
	Güneş	Işık (UV) Isı (Sıcaklık) Sıcaklık Farkı	●
	Diğer	Elektrik	
Sistem			
		Pasif Aktif	●
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik Şekil Adezyon	●
	Enerji Alışverişi	Işık Yayan Enerji Üreten Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		●
	Görsel Konfor	Günüşiği Kontrolü (kmi, kmgk)	●
		Kamaşma	●
		Manzara	●
	Hava Kalitesi		
	UV korunumu		●



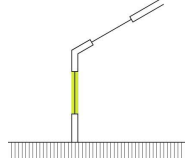
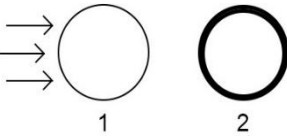
Tablo 33. Yapı künye örnek 17 (URL-38, 39, 40, 41 ve 42, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	17		
ADI	Jack H. Miller Müzik Sanatları Merkezi		
İŞLEVİ	Kültür		
YERİ	Michigan / ABD		
YILI	2015		
MİMARİ	HGA Architects		
AÇIKLAMALAR			
Cephede kullanılan malzeme, bulutlu veya kış günlerinde, termokromik cam, güneş enerjisini ve ışığı en üst düzeye çıkarır ve aşırı güneş enerjisini engellerken günışığına izin verir. Sıcak bir yaz gününde, cam güneşin sıcaklığının %90'ına kadar bloke eder ve her zaman optimum konfor sağlarken parlamayı ve aşırı ısınmayı azaltır.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Termokromik		
MARKASI	Suntuitive Dynamic Glass		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar	
		Saydam Duvar (pencere)	●
	Çatı	Opak Çatı	
		Saydam Çatı (çatı penceresi)	
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Cam	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyarın			
	Güneş	Işık (UV)	
		Isı (Sıcaklık)	●
		Sıcaklık Farkı	
	Diğer	Elektrik	
Sistem			
		Pasif	●
		Aktif	
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	●
		Şekil	
	Enerji Alışverişi	Adezyon	
		Işık Yayan	
Enerji Üreten			
		Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		●
	Görsel Konfor	Günüşiği Kontrolü (kmi, kmgk)	●
		Kamaşma	●
		Manzara	●
	Hava Kalitesi		
	UV korunumu		●



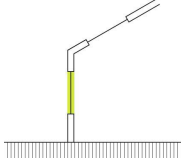
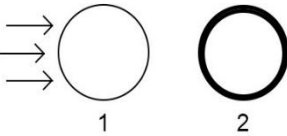
Tablo 34. Yapı künye örnek 18 (URL-43,44 ve 45, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	18		
ADI	First&Main		
İŞLEVİ	Barınma		
YERİ	Michigan / ABD		
YILI	2015		
MİMARİ	Hobbs&Black Architects		
AÇIKLAMALAR			
Bu kompleksin cepesinde termokromik cam kullanılarak iç ortamda, parlama kontrolü ve güneşiği optimasyonu yani görsel konfor sağlanmıştır.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Termokromik		
MARKASI	Suntuitive Dynamic Glass		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar	
		Saydam Duvar (pencere)	●
	Çatı	Opak Çatı	
		Saydam Çatı (çatı penceresi)	
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Cam	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran			
	Güneş	Işık (UV)	
		Isı (Sıcaklık)	●
		Sıcaklık Farkı	
	Diğer	Elektrik	
Sistem			
		Pasif	●
		Aktif	
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	●
		Şekil	
		Adezyon	
	Enerji Alışverişi	Işık Yayan	
Enerji Üreten			
Enerji Değiş Tokuşu			
Konfor			
	Termal Konfor		●
	Görsel Konfor	Güneşiği Kontrolü (kmi, kmgk)	●
		Kamaşma	●
		Manzara	●
	Hava Kalitesi		
	UV korunumu		●

Tablo 35. Yapı künve örnek 19 (URL-46 ve 47, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	19		
ADI	West Michigan Regional Airport		
İŞLEVİ	Havalimanı		
YERİ	Michigan / ABD		
YILI	2016		
MİMARİ	Progressive AE, Ken Brandsen		
AÇIKLAMALAR			
Yeni binanın cephesinde kullanılan termokromik cam, ısıyı kontrol ederken güzel bir görüntüde sağlamaktadır.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Termokromik		
MARKASI	Suntuitive Dynamic Glass		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar Saydam Duvar (pencere)	●
	Çatı	Opak Çatı Saydam Çatı (çatı penceresi)	
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Cam	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran			
	Güneş	Işık (UV) Isı (Sıcaklık) Sıcaklık Farkı	●
	Diğer	Elektrik	
	Sistem		
		Pasif Aktif	●
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik Şekil Adezyon	●
	Enerji Alışverişi	Işık Yayan Enerji Üreten Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		●
	Görsel Konfor	Güneşli Kontrolü (kmi, kmgk)	●
		Kamaşma	●
		Manzara	●
	Hava Kalitesi		
	UV korunumu		●

Tablo 36. Yapı künye örnek 20 (Nitz & Hartwig, 2005).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	20		
ADI	Münih Teknik Üniversitesi		
İŞLEVİ	Eğitim		
YERİ	Münih / Almanya		
YILI	-		
MİMARİ	-		
AÇIKLAMALAR			
Yapının mevcut çatı katının cephesi kısmen Krypton dolgulu termotropik camlarla güçlendirilmiştir. Camlar, ışınlamayı önemli ölçüde azaltırken, ofisler ve koridor için yeterli gün ışığı sağlamaktadır			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Termotropik		
MARKASI	Affinity Co. Ltd.		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar Saydam Duvar (pencere)	●
	Çatı	Opak Çatı Saydam Çatı (çatı penceresi)	
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Cam	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyarın			
	Güneş	Işık (UV) Isı (Sıcaklık) Sıcaklık Farkı	●
	Diğer	Elektrik	
Sistem			
		Pasif	●
		Aktif	
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	●
		Şekil	
	Enerji Alışverişi	Adezyon	
		Işık Yayan Enerji Üreten Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
		Termal Konfor	●
		Görsel Konfor	●
		Günüşiği Kontrolü (kmi, kmgk)	●
		Kamaşma	●
		Manzara	●
		Hava Kalitesi	
		UV korunumu	●

2.3.1.6. Gazokromik Malzemeler (GC/Gasocromics)

Gazokromik malzemeler cam teknolojisinde kullanılmaktadır. ‘Gazokromik camlar fonksiyonel bir tabaka ve sistem içerisinde beslenen özel bir gaz karışımı arasında gerçekleşen kimyasal bir reaksiyona bağlı olarak optik özelliklerinde değişim olan camlar’ olarak tanımlanmaktadır (Yaşar vd., 2010). Gazokromik malzemelerin gelişimi 21.yy’dan itibaren hız kazanmış ve Andreas Georg tarafından gazokromik malzemeler ile ilgili birçok çalışma yayımlanmıştır (Feng vd., 2016).

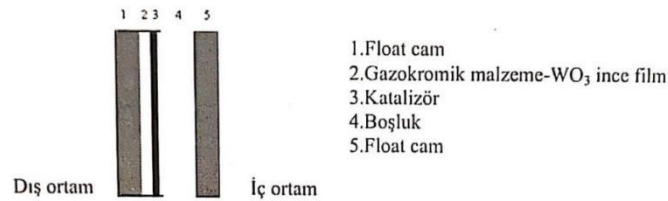
Gazokromik akıllı camlarda çalışma prensibine bakıldığında, camı mavi duruma döndürmek (Yao ve Neng, 2011) için argon ve hidrojen içeren bir gaz karışımı ve camı şeffaf duruma döndürmek için argon ve oksijen içeren bir gaz karışımı kullanılarak tersinir optik değişim yapıldığı görülür.

Değişim süreci için gerekli zaman ise H_2 ’nin yoğunluğu, sıcaklık, gaz basıncı, bağlı nem ve sistem montajı gibi parametrelere bağlıdır (Yaşar vd., 2010).

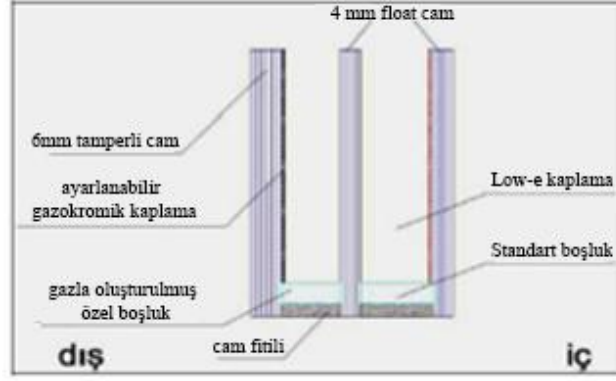
‘Gazokromik camlar; 2 ya da 3 cam katmanı, hava boşluğu, gaz sağlayıcı bağlantı ve elektronik kontrol ünitesinden oluşmaktadır. Dış cam katmanı 6 mm, iki iç cam katmanı 4mm olmak üzere yapısında 1 ya da 2 adet hava boşluğu bulunmaktadır. Gaz boruları kapalı alan boyunca yayılmaktadır. En üst katmanı platinyum kaplı katalist gibi davranan Tungsten oksit (WO_3) ince film tabakası dış yalıtımlı cam katmanının iç yüzeyine uygulanmaktadır’ (Şekil 23, 24, 25 ve 26) (Yelkenci vd., 2015).



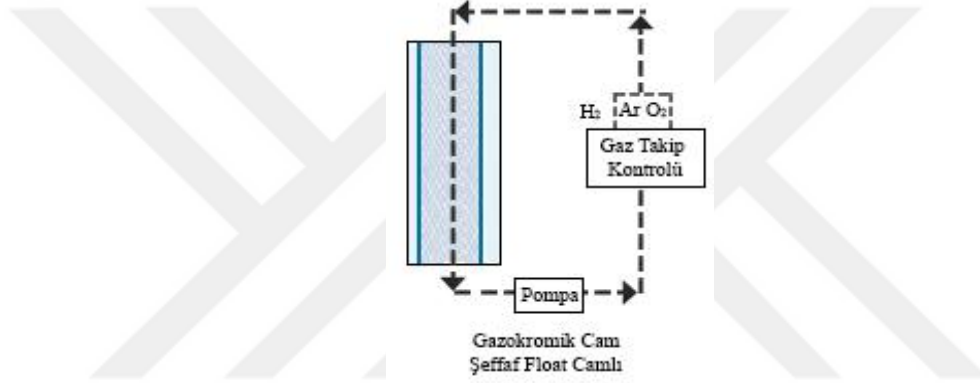
Şekil 23. Gazokromik camların renk değişim tepkimesi (Casini, 2017a).



Şekil 24. Gazokromik camın oluşumu (Yaşar vd., 2010).

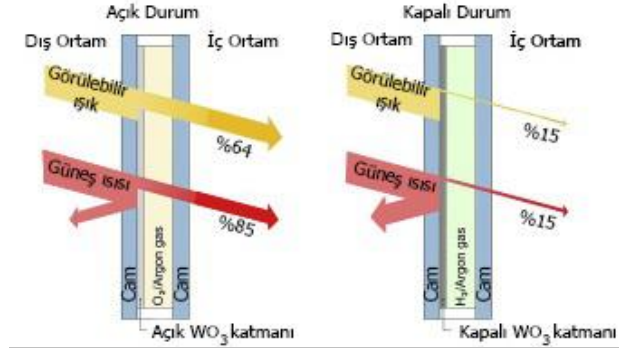


Şekil 25. Gazokromik cam kesiti (Demir, 2011).



Şekil 26. Gazokromik camların şematik gösterimi (Casini, 2017a).

Gazokromik malzemelerde renklenme süresi 20 saniye, berraklaşma için geçen süre ise 1 dakikadan azdır (Yener, 2007). Gazokromik camların ışık geçirgenliği, saydam ve renkli durumda %75 ila %15 arasında değişmektedir (Ye vd., 2013). Gazokromik camlar basit, ucuz bir tabaka konfigürasyonuna ve yüksek bir güneş geçirgenliğine sahiptir (Şekil 27) (Georg vd., 2000). Üretim süreci basit ve maliyeti düşüktür (Feng vd., 2016).



Şekil 27. Gazokromik cam bileşenleri (Çakmaklı vd., 2015).

Büyük ölçekli akıllı cam sistemi üretiminde kullanımı uygundur (Feng vd., 2016). Fakat gaz elde edilmesinde ve sistem montajında sınırlamaları vardır (Feng vd., 2016). Gazokromik sistemler kapalı bir döngüde çalışır ve hermetik (atmosfere tam kapalı) olarak üretilmiştir, potansiyel olarak bakım gerektirmez (Casini, 2016).



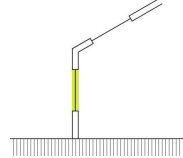
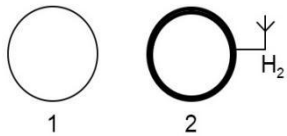
Bu sistemlerde WO₃, volfram oksit (tungsten oksit) ve itriyum oksit kullanılmaktadır (Yaşar vd., 2010).

Literatürde mimarlık dışında bir kullanım alanına rastlanılmamıştır.


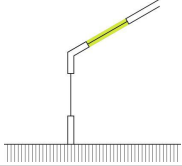
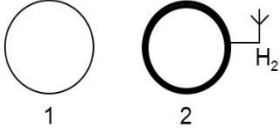
Enerji ile ilişkisine bakıldığında literatürde, gazokromik akıllı pencerelerin Çin'de farklı iklim bölgelerinde yapılan deneyde yapının enerji tüketimi üzerindeki etkisi hesaplanmış ve geleneksel statik cam tipleri ile karşılaştırılmıştır. Tek şeffaf düz cam ile karşılaştırıldığında, GC akıllı pencereler tüm bölgelerde yıllık HVAC yük tüketimini % 25-35 oranında azaltabildiği gözlemlenmiştir. Şanghay'daki deneyde HVAC yükleri, enerji verimliliği en yüksek olan statik camlara kıyasla % 11,5 daha azdır (Feng vd., 2016). Renk değişimi için sistemin ihtiyaç duyduğu yaklaşık 12,5 W'luk enerji küçük bir elektrolizör tarafından üretilebilir (Casini, 2016). Diğer akıllı camlara kıyasla solar kontrol açısından avantajlıdır (Yaşar vd., 2010).

Aşağıda gazokromik malzemelerin kullanıldığı yapı örnekleri verilmiştir (Tablo 37-38).

Tablo 37. Yapı künye örnek 21 (URL-48 ve 49).

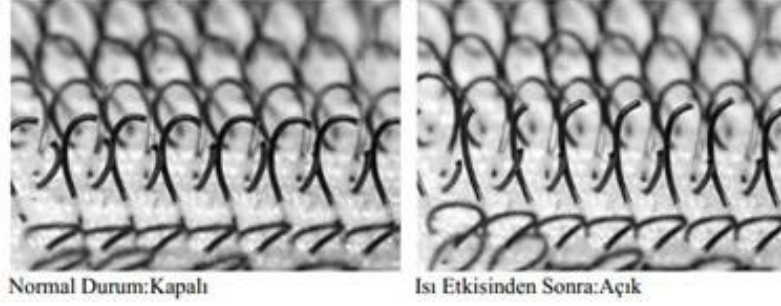
YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	21		
ADI	Fraunhofer		
İŞLEVİ	Araştırma Merkezi		
YERİ	Freiburg / Almanya		
YILI	2002		
MİMARİ	Dissing + Weitling		
AÇIKLAMALAR			
Fraunhofer Güneş Enerjisi Sistemleri Enstitüsü ile cam endüstrisi arasındaki araştırma işbirliğinin bir sonucu olarak, yapı cephesinde gaz-krom panellere dayanan şeffaf değiştirilebilir pencereler dünya çapında ilk kez kullanılmaktadır. Camlar güneş kontrolü ve kamaşma sorununa getirdiği çözümlerle görsel konfora ve termal konfora katkı sağlamaktadır. Ayrıca UV korunumu da mevcuttur.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Gazokromik		
MARKASI	-		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar	
		Saydam Duvar (pencere)	●
	Çatı	Opak Çatı	
		Saydam Çatı (çatı penceresi)	
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Cam	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyarıcı			
	Güneş	Işık (UV)	
		Isı (Sıcaklık)	
		Sıcaklık Farkı	
	Diğer	Elektrik	●
Sistem			
		Pasif	
		Aktif	●
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	●
		Şekil	
	Enerji Alışverişi	Adezyon	
		Işık Yayan	
		Enerji Üreten	
		Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		●
	Görsel Konfor	Güneş Kontrolü (kmi, kmgk)	●
		Kamaşma	●
		Manzara	
	Hava Kalitesi		
	UV korunumu		●

Tablo 38. Yapı künye örnek 22 (Yaşar, vd., 2010).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	22		
ADI	Ulmer Münster		
İŞLEVİ	-		
YERİ	Almanya		
YILI	-		
MİMARİ	-		
AÇIKLAMALAR			
Yapının çatı penceresinde kullanılan gazokromik camlar termal ve görsel konfora katkı ve UV korunumu da sağlamaktadır.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Gazokromik		
MARKASI	-		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar Saydam Duvar (pencere)	
	Çatı	Opak Çatı Saydam Çatı (çatı penceresi)	●
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Cam	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyarıcı			
	Güneş	Işık (UV) Isı (Sıcaklık) Sıcaklık Farkı	
	Diğer	Elektrik	●
Sistem			
		Pasif	
		Aktif	●
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik Şekil Adezyon	●
	Enerji Alışverişi	Işık Yayan Enerji Üreten Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
		Termal Konfor	●
		Görsel Konfor	●
		Günüşiği Kontrolü (kmi, kmgk)	●
		Kamaşma	●
		Manzara	
		Hava Kalitesi	
		UV korunumu	●

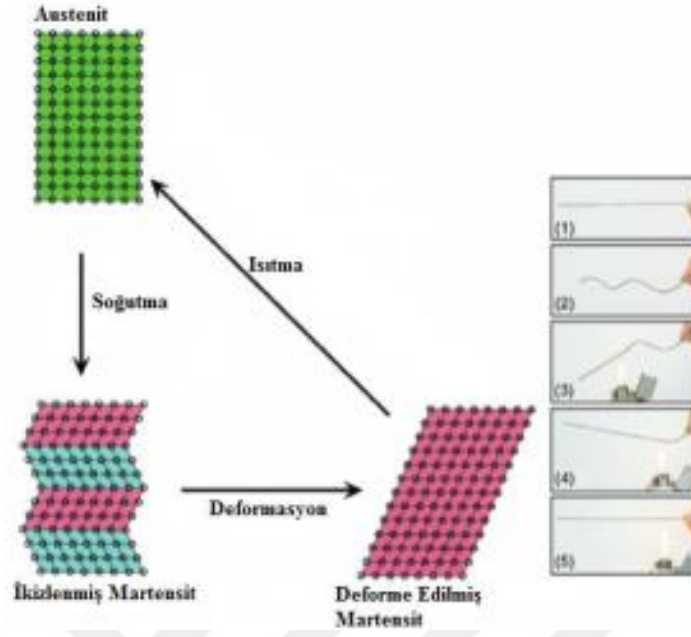
2.3.1.7. Şekil Hafızalı Alaşım Malzemeler (SMA/Shape Memory Alloy)

Bedeloğlu (2011) tarafından ‘Şekil hafızalı malzemeler, şeklini, geçici olarak deforme olmuş halinden, önceden programlanmış orijinal şekline, bir dış uyarının etkisiyle kontrollü bir biçimde değiştirilebilen malzemeler ailesindedir. Şekil geri dönüşü, çevre sıcaklığı, elektrik akımı, manyetik alan, pH, UV ışık, belirli bir kimyasal veya herhangi başka bir uyarın tarafından tetiklenebilir’ diye tanımlanmaktadır. İlk defa 1932 yılında Chang ve Read tarafından altın-kadmiyum (Au-Cd) alaşımlarında şekil hafıza etkisi görülmüş, ancak teknolojik alandaki kullanımı 1960’lardan sonra başlamıştır. ABD Deniz Savaş Araçları Laboratuvarında keşfedilen ve isimlendirilen Nitinol (Şekil 28) ticarileştirilmiştir (Çakmak ve Kaya, 2017), (Şensan, 2009).



Şekil 28. Ni-Ti alaşımlı kancaların uyarılması ile değişen şekilleri (Ritter, 2007).

Şekil hafızalı alaşımların prensiplerine bakıldığında düşük sıcaklıkta (martensitik) deforme edilmekte, daha yüksek sıcaklıklarda (östenitik) deformasyon öncesi şekillerine dönebilmektedir (Şekil 29). Bu dönüşümün nedeni malzemenin iç yapısındaki sıcaklık değişimi sebebiyle olmaktadır. Malzemeye, bir kez yeterli bir gerilim uygulandığında, malzeme bir deformasyona uğramakta, gerilim kaldırıldığında, malzeme orijinal şekline geri dönebilmektedir (Bedeloğlu, 2011; Ritter, 2007). Dolayısıyla temel özellikleri, belirli sıcaklık değerinin üstünde ve altında farklı şekil ve kristal yapıya sahip olmalarıdır (Akdoğan ve Nurveren, 2003).



Şekil 29. Şekil hafıza olayı ve mekanizması (Çakmak ve Kaya, 2017).

Sahip olduğu elastiklik özelliği sayesinde yapıların temelinde kullanılarak deprem dayanımı sağlamaktadır. Konvansiyonel metallere göre 20 kat daha elastiktir (Çakmaklı vd., 2015). Şekil hafızalı alaşımlar polimerlere kıyasla orijinal şekillerine %100 geri dönme yeteneğine sahiptir. (Bedeloğlu, 2011). Klasik malzemeye göre çok daha elastik olmaları bu malzemelerin deprem dayanımı için de kullanımlarına olanak sağlamaktadır (Ghodke ve Jangid, 2016). SMA'ların sahip olduğu geri dönüşlü deformasyon mekanizması akıllı sistemlerde şekil, pozisyon (yer), uzama, eğilmezlik, sönümlenme, sürtünme, buhar geçirgenliği veya yüzey gerilimindeki değişiklikler gibi farklı katkılar sağlayabilmektedir (Bedeloğlu, 2011). Sahip olduğu bu dönüşümlü deformasyon mekanizması farklı alanlarda kullanımına olanak sağlamaktadır. Örneğin yaygın güvenlik valfleri yapımında kullanılmaktadır (Gürlük, 2009; Ayvaz, 2019). Ancak kullanım ölçeği büyüdükçe malzemenin davranış mekanizmasında istikrarsızlık oluşabilmektedir (Kolarevic, 2015).

Nikel, titanyum ve bakırdan oluşan malzeme 10 milyondan fazla defa şekil değiştirmesine rağmen, kristal yapısında herhangi bir hasar meydana gelmemektedir' (URL-50, 2020) Fakat çoğu alaşım, atmosfer koşullarında oksitlenmekte ve şekil hafıza özelliğini kaybetmektedir (Ercan ve Dağdelen, 2015).

Bileşenlerine göre organik ve inorganik şekil hafızalı malzemeler olarak ikiye ayrılırlar;

- İnorganik şekil hafızalı malzemeler; metal alaşımlar, seramikler ve camlar,
- Organik şekil hafızalı malzemeler ise polimerler ve jelleri kapsamaktadır.

Bunların arasında, şekil hafızalı metal alaşımlar ve şekil hafızalı polimerler en çok kullanılanlardır.

Şekil hafızalı alaşımlar, sağlık sektöründe (ortodontik diş telleri, stentler, endodonti alanında kullanılan aletler, ortopedik ürünler), robotik teknolojide, otomotiv endüstrisinde, sönümlenme elemanlarında, havacılık ve uzay çalışmalarında, inşaat sektöründe (yapı ve alt yapı) alanlarda kullanılmaktadır (Çakmak ve Kaya, 2017). Genellikle plastik, metal, seramik, cam gibi yüzeylere uygulanan malzeme, yapıların döşeme, çatı ve duvarında uygulanmaktadır (Ayvaz, 2019). Endüstriyel tasarım ürünü olarak kendiliğinden montaj mobilya denemeleri yapılmıştır (Şekil 30).

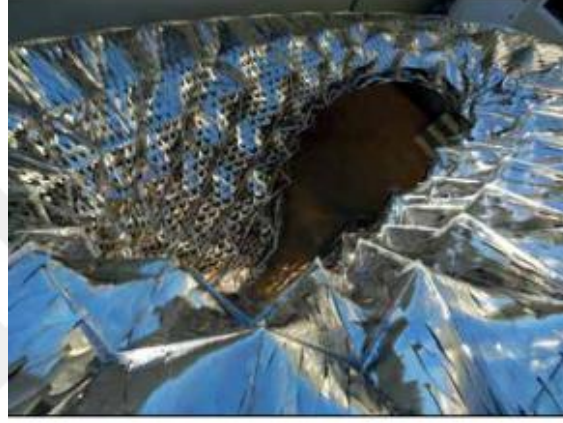


Şekil 30. Kendiliğinden montaj yapan mobilya (URL-51, 2020).

Şekil hafızalı alaşım için uygulama örneği Sung'un 2012 yılında Los Angeles'ta tasarladığı Bloom (Şekil 31) isimli kanopi projesidir. Bir araya getirildiklerinde kendi kendisini destekleyen bir yapı oluşturan kanopi, bimetallik bileşenlerden oluşmaktadır. Paneller, güneş ışınlarına maruz bırakıldıklarında, sabah sıcaklık arttıkça açılmaya başlamakta ve öğleden sonra güneş batarken, yani sıcaklık düşerken kapanmaya başlamaktadır. Kullanılan bimetal malzeme iki farklı manganez bazlı alaşım arasındaki moleküler bağa dayanmaktadır (yani yapıştırıcı yoktur). Bimetallik paneller termal olarak

çok duyarlıdır, güneş ısısına maruz bırakıldığında neredeyse gerçek zamanlı (anlık) olarak bükülmektedir.

Enerji ile ilişkisine bakıldığında, bimetalik bazlı bileşenlerin sıcak hava için kaçış delikleri açabilme veya mekânları dolaysız güneş ışığından korumak için doğru konumlara hareket ettirebilme kabiliyetleri vardır. Bu durum potansiyel olarak, sıfır enerjili yapılar için kabuk tasarlanmasına olanak vermektedir.



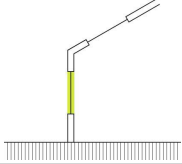
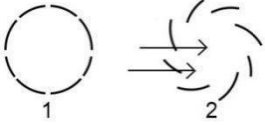


Şekil 31. Doris Sung'un Los Angeles'deki Bloom kanopisi binlerce bimetalik bileşenden oluşmaktadır (Kolarevic, 2015).

Şekil hafızalı alaşımlar yapı cephelerinde özel havalandırma elemanları olarak tasarlanabilmektedir (Yağlı, 2019) fakat üretimi pahalıdır (Ercan ve Dağdelen, 2015). Dolayısıyla henüz yaygın bir kullanım alanına sahip değildir.

Aşağıda şekil hafızalı alaşım malzemelerin kullanıldığı yapı örnekleri verilmiştir (Tablo 39).

Tablo 39. Yapı künye örnek 23 (URL-52, 53, 54 ve 55, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	23		
ADI	Homeostatic Facade System		
İŞLEVİ	Prototip		
YERİ	New York / ABD		
YILI	2010		
MİMARİ	Decker Yeadon LLC		
AÇIKLAMALAR			
<p>Tasarlanan Homeostatik cephe sistemi şekil değiştirir ve görünüşte yaşayan bir yüzeye sahip hareketli cepheler oluşturur. Sistem çift cidar arasına yerleştirilmiş şekil hafızalı alaşımlardan oluşmaktadır. Güneş iç ortamı ısıtmaya başlarsa devreye girer ve şekil değişimi (genişleme) gerçekleşir. Bu, güneşten ısı kazanımına izin vermek veya reddetmek için iç oda sıcaklığındaki değişikliklere bağlı olarak açılıp kapanarak yanıt veren şekli bellek alaşımlarına dayanır. Bilgisayarla programlama veya fiziksel bir müdahaleye ihtiyaç duymamaktadır.</p>			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Şekil Hafızalı Alaşım		
MARKASI	Affinity Co. Ltd.		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar	
		Saydam Duvar (pencere)	●
	Çatı	Opak Çatı	
		Saydam Çatı (çatı penceresi)	
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Çift cidarlı cam arası entegre	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyarın			
	Güneş	Işık (UV)	
		Isı (Sıcaklık)	●
		Sıcaklık Farkı	
	Diğer	Elektrik	
Sistem			
		Pasif	●
		Aktif	
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	
		Şekil	●
		Adezyon	
	Enerji Alışverişi	Işık Yayan	
		Enerji Üreten	
		Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		●
	Görsel Konfor	Günüşiği Kontrolü (kmi, kmgk)	●
		Kamaşma	
		Manzara	
	Hava Kalitesi		
	UV korunumu		

2.3.1.8. Fotokatalitik Malzemeler (Fotoadezyon) (PCA)

Fotokatalitik malzemeler adezyon değiştiren malzemeler arasında yer almaktadır (Ritter, 2007) . Fotokatalitik özelliğe sahip ürün ışık ve katalizör etkisiyle başlayan reaksiyon sonucu yüzeyine tutunan kirleri (uçucu organik bileşikler, parçacık maddeler, azot oksitler vb.) parçalayarak daha az zararlı hale getiren malzemeler olarak tanımlanmaktadır (Orhon, 2012).

TiO₂ ile fotokatalitik özelliğe sahip olan yüzeyde ışık etkisiyle reaksiyon başlar, bu reaksiyon yüzeye tutunan kirlerin (ki bunlar çeşitlilik gösterebilir) parçalanmasını sağlar. Parçalanmış kirler yağmur suyu yardımıyla süperhidrofilik özellik sayesinde yüzeyden uzaklaştırılır (Orhon, 2014; Sarı, 2014; Altın ve Orhon, 2014).

Fotokatalitik özelliğe sahip malzemelerin çalışma prensibinde mekanizmanın düzgün çalışabilmesi için ışık, oksijen ve neme ihtiyaç vardır (Cengiz, 2016). Güneş ışınımından gelen ultraviyole veya florasan lambadan gelen az miktarda ultraviyole ya da normal ışık altında fotokatalitik reaksiyon için yeterli olabilir (Bilgin, 2014; İncedere Sarı, 2014). Işık etkisiyle başlayan reaksiyon sonucu kirler parçalanır fakat yüzeyin temizlenebilmesi suya ihtiyaç vardır (Balkar, 2006). Yüzeye gelen ışık kesildikten sonra süperhidrofilik davranış iki gün devam eder (Casini, 2016b).

Fotokatalitik özellikliğe sahip malzemenin bazı avantajları; ışık ile aktif etkileşime sahip olmasına rağmen ışıktan zarar görmemeleridir (Ayvaz, 2019), fotokatalitik özellik ile birlikte süperhidrofilik özellik de gösterir (Orhon, 2014) , buğulanmayan yüzeyler elde edilir (Şam vd., 2007), düşük güneş ışınımında dahi aktiftir, birçok yapı malzemesine performans kaybı olmadan entegre edilebilir (Ayvaz, 2019), fiziksel ve kimyasal dayanımları uzun süreli kullanımlara uygundur (Dikici ve Yurddaşkal, 2018), yanıcı bir malzeme değildir (Balkar, 2006), insan sağlığına zarar vermezler (İncedere Sarı, 2014).

Fotokatalitik özellikliğe sahip malzemenin bazı dezavantajları ise; uygun performansı yakalaması için 12-48 saat arası sürenin geçmesi gerekir, tuz tortuları gibi maddelere karşı etkili değildir (Ayvaz, 2019). Fotokatalitik mekanizmasının oluşturduğu reaksiyon 'kirleri (is, kir, yağ ve partiküller), biyolojik organizmaları (küf, yosun, bakteri ve alerjenler), hava kaynaklı kirleticileri (formaldehit, benzen gibi uçucu organik bileşikler, sigara dumanı, azot oksit ve sülfirik oksit gibi kirleticiler) ve hatta kokulara sebep olan kimyasalları' (İncedere Sarı, 2014) parçalar yok eder veya daha az zararlı hale getirir.

Farklı alternatifleri arasında en ucuz, en verimli, en stabil dolayısı ile en yaygın kullanıma sahip olan fotokataliz titanyum dioksittir (İncedere Sarı, 2014; Gür, 2010; Oğuz, 2007). Fotokatalitik (katalizör yardımıyla kirleri parçalayan) özellik beraberinde süperhomofilik (suyu geniş yüzeye yayan) özelliği de getirmekte ve nanotitanyumdioksit (nano-TiO₂), nano-çinko oksit (nano-ZnO) ve nano-silika (nano-SiO₂) katkıları ile kazandırılabilir (Bilgin, 2014; Altın & Orhon, 2014a).

Bir yapı elemanına fotokatalitik özelliklik titanyum dioksit ince film kaplanması ya da titanyum dioksit pigment eklenmesi ile kazandırılabilir (Orhon, 2012). Amorf, brookit, anataz ve rutil TiO₂'nin doğada bulunabilen biçimleridir. Bu biçimlerden en yaygın tercih edileni en fazla fotokatalitik özellik gösteren TiO₂'nin anataz fazıdır (Yılmaz, 2014).

TiO₂ gıda sektörü, kozmetik sektörü ve yapı sektörü gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır (Şam, Ürgen, & Tepehan, 2007). Kendi kendini temizleme özelliği TiO₂'yi otobüs ve tren istasyonlarında, spor merkezlerinde, kaldırımlarda ve parklarda farklı işlevler için kullanılabilir hale getirmiştir (İncedere Sarı, 2014). Yapı sektöründe uygulama alanı oldukça geniş olan TiO₂, boya, beton, membran, çimento, seramik, plastik, kiremit, briket, sıva gibi yapı malzemelerinde ve çatı, duvar ve döşeme gibi yapı elemanlarının bileşenlerinde kullanılabilir (Şam, Ürgen, & Tepehan, 2007), (Ayvaz, 2019). Bakteri ve mikropları parçalayan fotokataliz mekanizma bu özelliği ile ameliyathane gibi antibakteriyel nitelik aranan ortamlarda farklı yapı bileşenlerinde kullanılmaktadır (Orhon, 2014).

Enerji ile ilişkisine bakıldığında, fotokatalitik özelliğe sahip cam tabakaları kendi kendilerini temizleyebilme özellikleri sayesinde geleneksel cam tabakalarından farklı olarak daha temiz yüzeylere sahip oldukları için günışığı geçirgenlikleri de daha yüksektir. Bu durum aydınlatma için kullanılan enerji miktarında azalma sağlayabilmektedir (İncedere Sarı, 2014; Bilgin, 2014).

Fotokatalitik özelliğe sahip malzemelerin yapıda atmosferle temas ettiği yerlerde kullanımı sonucu zararlı gazlardan nitrojen oksitleri (NO, NO₂) nötralize ederek miktarlarını %30-%90 oranında azalma sağladığı tespit edilmiştir (İncedere Sarı, 2014), (Orhon, 2014).



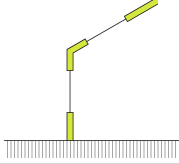
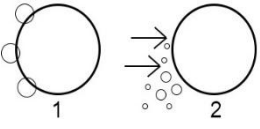
1000 m² fotokatalitik özelliğe sahip yüzey günlük gerekli güneş ışığına maruz kaldığında (yaklaşık 10 saat) 2.000 m³ havayı temizleyebilmektedir ki bu 70 orta boy ağacın temizlediği havaya denk gelmektedir (Cengiz, 2016), (Orhon, 2013b).

Hollanda'da trafiğin yoğun olduğu yolda fotokatalitik katkılı beton kaldırıma uygulanmış, uygulamanın 0.5-1.5 m yükseklik arasında havadaki azot oksit miktarını %25-45 oranında azalttığı gözlemlenmiştir (Ayvaz, 2019).



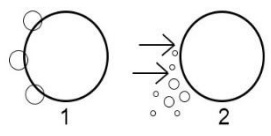
Aşağıda fotokatalitik malzemelerin kullanıldığı yapı örnekleri verilmiştir (Tablo 40-54).





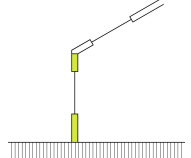
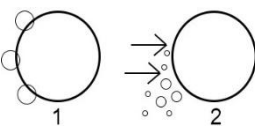
Tablo 40. Yapı künye örnek 24 (URL-56 ve 56, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	24		
ADI	Microsoft Germany HQ		
İŞLEVİ	Ticari / Ofis		
YERİ	Münih / Almanya		
YILI	2016		
MİMARİ	GSP Architekten Munich		
AÇIKLAMALAR			
Yapının cephe ve çatısında, 5.200 m ² 'lik fotokatalitik yüzey kaplama panelleri kullanılmıştır. Hava koşullarına ve UV ışınlarına dayanıklı malzemenin bakımı kolaydır. Ek olarak, pürüzsüz, gözenekli olmayan yüzeyi kendi kendini temizleme özelliğine sahiptir.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Fotokatalitik		
MARKASI	Corian- Exteriors		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar Saydam Duvar (pencere)	●
	Çatı	Opak Çatı Saydam Çatı (çatı penceresi)	●
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Katkılı cephe kaplama	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran			
	Güneş	Işık (UV) Isı (Sıcaklık) Sıcaklık Farkı	●
	Diğer	Elektrik	
Sistem			
		Pasif Aktif	●
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik Şekil Adezyon	●
	Enerji Alışverişi	Işık Yayan Enerji Üreten Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		
	Görsel Konfor	Güneşli Kontrolü (kmi, kmgk) Kamaşma Manzara	
	Hava Kalitesi		●
	UV korunumu		



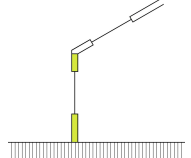
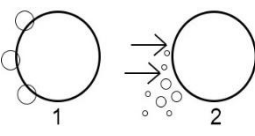
Tablo 41. Yapı künye örnek 25 (URL-58, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	25		
ADI	Battersea Power Station		
İŞLEVİ	Sanayi / Santral		
YERİ	Londra / İngiltere		
YILI	2015*		
MİMARİ	-		
AÇIKLAMALAR			
Battersea Santrali 1900'lerin başında inşa edilmiştir. Santral 4 bacaya sahiptir ve ağır endüstriyel kullanım sonucu saatte 500 ton karbondioksit yaymaktadır. 2015 yılında yenilenmesi kararı alınan bacalar tekrar inşa edilmiştir. İnşa sonrası fotokatalitik boya tercih edilmiştir. Böylece sadece ilk yatırım maliyeti ile hava kalitesinde sürekli iyileşme sağlanmaktadır.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Fotokatalitik		
MARKASI	Soldalit-ME- KEIM		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar	●
		Saydam Duvar (pencere)	
	Çatı	Opak Çatı	
		Saydam Çatı (çatı penceresi)	
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Katkılı boya	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran			
	Güneş	Işık (UV)	●
		Isı (Sıcaklık)	
		Sıcaklık Farkı	
	Diğer	Elektrik	
Sistem			
		Pasif	●
		Aktif	
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	
		Şekil	
		Adezyon	●
	Enerji Alışverişi	Işık Yayan	
		Enerji Üreten	
		Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		
	Görsel Konfor	Güneşli Kontrolü (kmi, kmgk)	
		Kamaşma	
		Manzara	
	Hava Kalitesi		●
	UV korunumu		



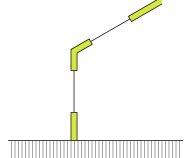
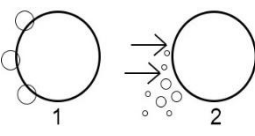
Tablo 42. Yapı künye örnek 26 (URL-59, 60, 61 ve 62, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	26		
ADI	Madame Tussauds Müzesi		
İŞLEVİ	Kültür / Müze		
YERİ	Londra / İngiltere		
YILI	2013		
MİMARİ	Tim Flynn Architects		
AÇIKLAMALAR			
<p>Bir yenileme projesi ile dış cephede tamamen fotokatalitik boya kullanım kararı alınmıştır. Kullanılan boyanın yüksek performansı, uzun ömürlülüğü ve nefes alabilirliğinin yanı sıra, kir ve alg büyümesine karşı daha fazla direnç sağlayacaktır. Boyadaki fotokatalitik katkı maddeleri, Marylebone yolu boyunca geçen binlerce araçtan çıkan azot dioksit kirliliğinin (NOx) nötralize edilmesine yardımcı olur.</p>			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Fotokatalitik		
MARKASI	Soldalit-ME- KEIM		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar Saydam Duvar (pencere)	●
	Çatı	Opak Çatı Saydam Çatı (çatı penceresi)	
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Sıva üstüne katkılı boya	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran			
	Güneş	Işık (UV) Isı (Sıcaklık) Sıcaklık Farkı	●
	Diğer	Elektrik	
Sistem			
		Pasif Aktif	●
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik Şekil Adezyon	●
	Enerji Alışverişi	Işık Yayan Enerji Üreten Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		
	Görsel Konfor	Güneşli Kontrolü (kmi, kmgk) Kamaşma Manzara	
	Hava Kalitesi		●
	UV korunumu		



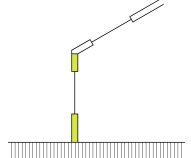
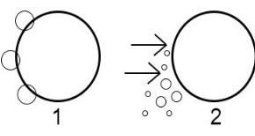
Tablo 43. Yapı künye örnek 27 (URL-63 ve 64, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	27		
ADI	Milan Expo Pavyonu		
İŞLEVİ	Pavilyon		
YERİ	Milano / İtalya		
YILI	2015		
MİMARİ	Nemesi&Partners		
AÇIKLAMALAR			
9.000 m ² 'lik toplam 900 panelden oluşan cephe yüzeyinin tamamı patentli hava temizleme çimentosu kullanarak oluşmaktadır. Bu ürün havayı temizleyecek özel bir duman yeme betonudur. Bu karışım, dumanın ana bileşeni olan azot-oksit parçacıklarını aynı anda yakalarken havanın geçmesine izin verir. Sadece havayı filtrelemekle kalmaz, aynı zamanda toplanan duman kalıntısı hafif bir yağışla yıkanır.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Fotokatalitik		
MARKASI	Italcementi		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar Saydam Duvar (pencere)	●
	Çatı	Opak Çatı Saydam Çatı (çatı penceresi)	
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Sıva üstüne katkılı boya	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran			
	Güneş	Işık (UV) Isı (Sıcaklık) Sıcaklık Farkı	●
	Diğer	Elektrik	
Sistem			
		Pasif Aktif	●
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik Şekil Adezyon	●
	Enerji Alışverişi	Işık Yayan Enerji Üreten Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		
	Görsel Konfor	Güneşli Kontrolü (kmi, kmgk) Kamaşma Manzara	
	Hava Kalitesi		●
	UV korunumu		



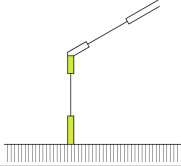
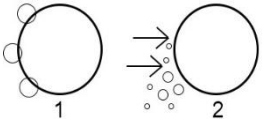
Tablo 44. Yapı künye örnek 28 (URL 65 ve 66, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	28		
ADI	-		
İŞLEVİ	Barınma		
YERİ	Osaka / Japonya		
YILI	2014		
MİMARİ	UID – Keisuke Maeda		
AÇIKLAMALAR			
Barınma amaçlı yapılan yapı cephe ve çatısı kendi kendini temizleyen fotokatalitik bir kaplamaya sahiptir.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Fotokatalitik		
MARKASI	-		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar Saydam Duvar (pencere)	●
	Çatı	Opak Çatı Saydam Çatı (çatı penceresi)	●
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Katkılı cephe kaplaması	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran			
	Güneş	Işık (UV) Isı (Sıcaklık) Sıcaklık Farkı	●
	Diğer	Elektrik	
Sistem			
		Pasif Aktif	●
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik Şekil Adezyon	●
	Enerji Alışverişi	Işık Yayan Enerji Üreten Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		
	Görsel Konfor	Güneşli Kontrolü (kmi, kmgk) Kamaşma Manzara	
	Hava Kalitesi		●
	UV korunumu		




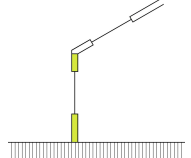
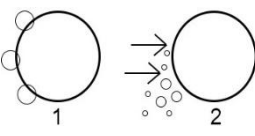
Tablo 45. Yapı künye örnek 29 (URL-67 ve 68, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	29		
ADI	Tetote Note		
İŞLEVİ	Ticari / Ofis		
YERİ	Nagoya / Aichi		
YILI	2012		
MİMARİ	-		
AÇIKLAMALAR			
Yapının cephesindeki fotokatalitik özelliğe sahip malzeme sadece ilk yatırım maliyeti ile hava kalitesinin artırılmasına katkı sağlamaktadır.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Fotokatalitik		
MARKASI	-		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar	●
		Saydam Duvar (pencere)	
	Çatı	Opak Çatı	
		Saydam Çatı (çatı penceresi)	
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Katkılı boya	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran			
	Güneş	Işık (UV)	●
		Isı (Sıcaklık)	
		Sıcaklık Farkı	
	Diğer	Elektrik	
Sistem			
		Pasif	●
		Aktif	
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	
		Şekil	
		Adezyon	●
	Enerji Alışverişi	Işık Yayan	
		Enerji Üreten	
		Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		
	Görsel Konfor	Güneşli Kontrolü (kmi, kmgk)	
		Kamaşma	
		Manzara	
	Hava Kalitesi		●
	UV korunumu		



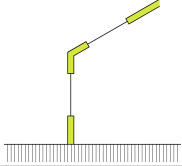
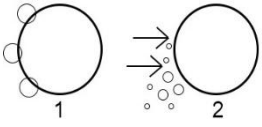
Tablo 46. Yapı künye örnek 30 (Ritter, 2007).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	30		
ADI	-		
İŞLEVİ	Barınma		
YERİ	Viyana /Avusturya		
YILI	2004		
MİMARİ	Albert Wimmer AN architecture		
AÇIKLAMALAR			
Yapının 6800 m ² 'lik cephesi fotokatalitik seramik kaplama sayesinde 476 ağacın havaya sağladığı katkıyı sağlayabilmektedir. Böylece yapı, şehirdeki hava kirliliğini azaltıcı etkiye sahip olacaktır.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Fotokatalitik		
MARKASI	Hydrotect		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar Saydam Duvar (pencere)	●
	Çatı	Opak Çatı Saydam Çatı (çatı penceresi)	
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Katkılı seramik	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran			
	Güneş	Işık (UV) Isı (Sıcaklık) Sıcaklık Farkı	●
	Diğer	Elektrik	
Sistem			
		Pasif Aktif	●
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik Şekil Adezyon	●
	Enerji Alışverişi	Işık Yayan Enerji Üreten Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		
	Görsel Konfor	Güneşli Kontrolü (kmi, kmgk) Kamaşma Manzara	
	Hava Kalitesi		●
	UV korunumu		



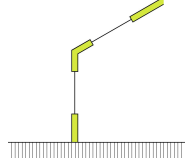
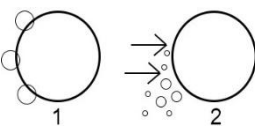
Tablo 47. Yapı künye örnek 31 (URL-69 ve 70, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	31		
ADI	Manuel Gea González Hastanesi		
İŞLEVİ	Sağlık		
YERİ	Mexico City / Meksika		
YILI	2013		
MİMARİ	Elegant Embellishments		
AÇIKLAMALAR			
Mevcut yapıya 2.500 m ² 'lik fotokatalitik cephe ekleme kararı alınmıştır. Bu kaplama, hava kirliliği unsurlarını nötralize etmek için ışıkla reaksiyona girerek günde yaklaşık 1000 aracın hava kirlenici etkilerini ortadan kaldırır.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Fotokatalitik		
MARKASI	-		
 			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar Saydam Duvar (pencere)	●
	Çatı	Opak Çatı Saydam Çatı (çatı penceresi)	
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Fayans üstü kaplama malzemesi	
	Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran		
	Güneş	Işık (UV) Isı (Sıcaklık) Sıcaklık Farkı	●
	Diğer	Elektrik	
	Sistem		
		Pasif Aktif	●
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik Şekil Adezyon	●
	Enerji Alışverişi	Işık Yayan Enerji Üreten Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		
	Görsel Konfor	Günüşiği Kontrolü (kmi, kmgk) Kamaşma Manzara	
	Hava Kalitesi		●
	UV korunumu		



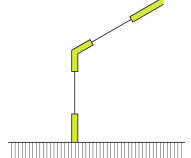
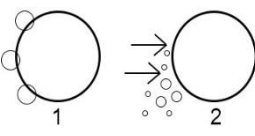
Tablo 48. Yapı künye örnek 32 (URL-71 ve 72, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	32		
ADI	Brise Soleil		
İŞLEVİ	Barınma		
YERİ	Picanya / İspanya		
YILI	2017		
MİMARİ	Rubén Muedra Estudio de Arquitectura		
			
AÇIKLAMALAR			
Yapının cephe ve çatısında fotokatalitik boya kullanılarak hava kalitesinin artırılması ve yüzeylerin daima temiz kalması sağlanmıştır.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Fotokatalitik		
MARKASI	Soldalit-Me Keim Photocatalytic Mineral Paint		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar	●
		Saydam Duvar (pencere)	
	Çatı	Opak Çatı	●
		Saydam Çatı (çatı penceresi)	
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Katkılı boya	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran			
	Güneş	Işık (UV)	●
		Isı (Sıcaklık)	
		Sıcaklık Farkı	
	Diğer	Elektrik	
Sistem			
		Pasif	●
		Aktif	
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	
		Şekil	
		Adezyon	●
	Enerji Alışverişi	Işık Yayan	
		Enerji Üreten	
		Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		
	Görsel Konfor	Güneşli Kontrolü (kmi, kmgk)	
		Kamaşma	
		Manzara	
	Hava Kalitesi		●
	UV korunumu		


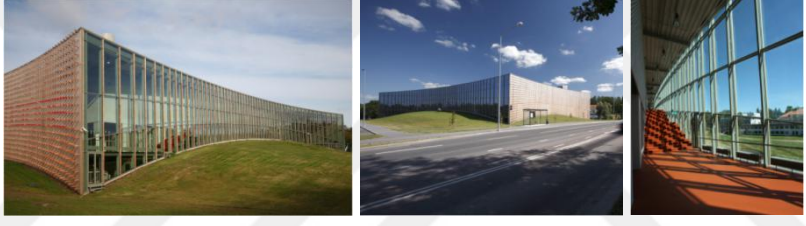
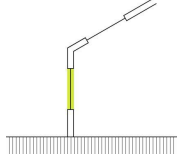
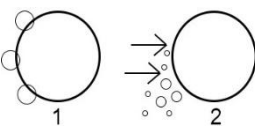
Tablo 49. Yapı künye örnek 33 (URL-73, 74 ve 75, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	33		
ADI	Jubilee Kilisesi		
İŞLEVİ	Dini		
YERİ	Roma / İtalya		
YILI	2003		
MİMARİ	Richard Meier		
AÇIKLAMALAR			
Yapıda yapı kabuğunda, fotokatalitik katkılı prekast beton paneller kullanıldı. Fotokatalitik katkılı çimentosu ile elde edilebilecek fotoaktivite seviyeleri, aslında hava kirliliğinden sorumlu organik ve inorganik maddeleri azaltmaktadır.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Fotokatalitik		
MARKASI	Italcementi Group- TX Active		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar Saydam Duvar (pencere)	●
	Çatı	Opak Çatı Saydam Çatı (çatı penceresi)	●
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Katkılı beton	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyararı			
	Güneş	Işık (UV) Isı (Sıcaklık) Sıcaklık Farkı	●
	Diğer	Elektrik	
Sistem			
		Pasif	●
		Aktif	
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik Şekil Adezyon	●
	Enerji Alışverişi	Işık Yayan Enerji Üreten Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		
	Görsel Konfor	Güneşli Kontrolü (kmi, kmgk) Kamaşma Manzara	
	Hava Kalitesi		●
	UV korunumu		


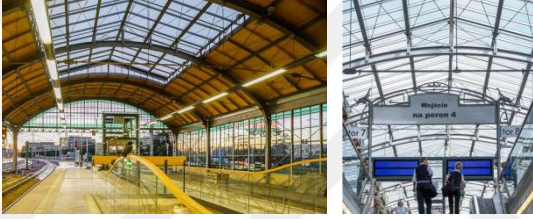
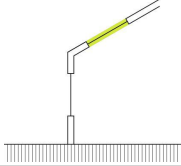
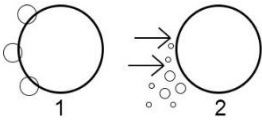
Tablo 50. Yapı künye örnek 34 (URL-76 ve 77, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	34		
ADI	Cefn Castell		
İŞLEVİ	Barınma		
YERİ	Criccieth / İngiltere		
YILI	2014		
MİMARİ	Stephenson Studio		
AÇIKLAMALAR			
Yapıda fotokatalitik boya tüm dış duvarlarda kullanılmıştır. Dış cephede kullanılan çok dayanıklı kireç esaslı bir malzemedir. Ürün çok esnek ve kendi içinde genişleme derzleri gerektirmez. Bu kaplamanın, boya seçimi olarak fotokatalitik katkı boya kullanımı ile geliştirilmiş ve korunumu artırılmıştır.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Fotokatalitik		
MARKASI	Soldalit-Me Keim Photocatalytic Mineral Paint		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar	●
		Saydam Duvar (pencere)	
	Çatı	Opak Çatı	●
		Saydam Çatı (çatı penceresi)	
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Kompozit üstü katkı boya	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyarın			
	Güneş	Işık (UV)	●
		Isı (Sıcaklık)	
		Sıcaklık Farkı	
	Diğer	Elektrik	
Sistem			
		Pasif	●
		Aktif	
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	
		Şekil	
		Adezyon	●
	Enerji Alışverişi	Işık Yayan	
		Enerji Üreten	
		Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		
	Görsel Konfor	Güneşli Kontrolü (kmi, kmgk)	
		Kamaşma	
		Manzara	
	Hava Kalitesi		●
	UV korunumu		



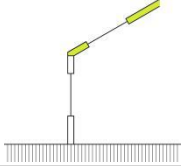
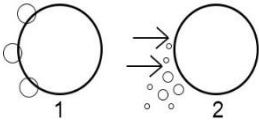
Tablo 51. Yapı künye örnek 35 (URL-78 ve 79, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	35		
ADI	Estonya Yaşam Bilimleri Üniversitesi		
İŞLEVİ	Spor		
YERİ	Tartu / Estonya		
YILI	2009		
MİMARİ	Salto AB		
AÇIKLAMALAR			
Yapının yüzeyinde fotokatalitik etkiye sahip cam kullanılmıştır. Böylece hava kalitesine katkı sağlanmıştır. Ayrıca bu etki sayesinde daha uzun süre temiz kalan cephenin bakım maliyeti de azalmaktadır.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Fotokatalitik		
MARKASI	Saint Gobain - Bioclean Glass		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar	
		Saydam Duvar (pencere)	●
	Çatı	Opak Çatı	
		Saydam Çatı (çatı penceresi)	
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Cam	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran			
	Güneş	Işık (UV)	●
		Isı (Sıcaklık)	
		Sıcaklık Farkı	
	Diğer	Elektrik	
Sistem			
		Pasif	●
		Aktif	
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	
		Şekil	
		Adezyon	●
	Enerji Alışverişi	Işık Yayan	
		Enerji Üreten	
		Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		
	Görsel Konfor	Güneşli Kontrolü (kmi, kmgk)	
		Kamaşma	
		Manzara	
	Hava Kalitesi		●
	UV korunumu		


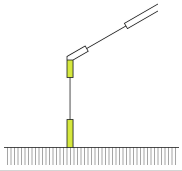
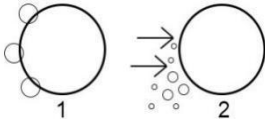
Tablo 52. Yapı künye örnek 36 (URL-80 ve 81, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	36		
ADI	Wrocław Tren Garı		
İŞLEVİ	Ulaşım		
YERİ	Wrocław / Polonya		
YILI	2013		
MİMARİ	Grupa 5 - Architektci		
AÇIKLAMALAR			
Tarihi tren garının yenilenme kararı ile çatısında fotokatalitik etkiye sahip cam kullanılmıştır. Kendi kendini temizleme özelliği ile daha uzun süre temiz kalan yüzeylerin bakım maliyeti de azalmaktadır. Ayrıca sadece ilk yatırım maliyeti ile hava kalitesine de katkı sağlamaktadır.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Fotokatalitik		
MARKASI	Saint Gobain - Bioclean Glass		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar Saydam Duvar (pencere)	
	Çatı	Opak Çatı Saydam Çatı (çatı penceresi)	●
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Cam	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran			
	Güneş	Işık (UV) Isı (Sıcaklık) Sıcaklık Farkı	●
	Diğer	Elektrik	
Sistem			
		Pasif Aktif	●
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik Şekil Adezyon	●
	Enerji Alışverişi	Işık Yayan Enerji Üreten Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		
	Görsel Konfor	Güneşli Kontrolü (kmi, kmgk) Kamaşma Manzara	
	Hava Kalitesi		●
	UV korunumu		

Tablo 53. Yapı künye örnek 37 (URL-82, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	37		
ADI	Magnet Konut Merkezi		
İŞLEVİ	Barınma		
YERİ	Arnavutluk		
YILI	2016		
MİMARİ	Studio Libeskind		
AÇIKLAMALAR			
Yapının cephesinde fotokatalitik katkılı çimento kullanılmıştır. Böylece hem yüzeyi uzun süre temiz tutarak bakım maliyetini azaltır hem de hava kalitesini arttırmaktadır.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Fotokatalitik		
MARKASI	Italcementi Group, TX Active		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar	
		Saydam Duvar (pencere)	
	Çatı	Opak Çatı	●
		Saydam Çatı (çatı penceresi)	
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Katkılı membran	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran			
	Güneş	Işık (UV)	●
		Isı (Sıcaklık)	
		Sıcaklık Farkı	
	Diğer	Elektrik	
Sistem			
		Pasif	●
		Aktif	
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	
		Şekil	
		Adezyon	●
	Enerji Alışverişi	Işık Yayan	
		Enerji Üreten	
		Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		
	Görsel Konfor	Güneşli Kontrolü (kmi, kmgk)	
		Kamaşma	
		Manzara	
	Hava Kalitesi		●
	UV korunumu		

Tablo 54. Yapı künve örnek 38 (URL-83 ve 84, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	38		
ADI	Italcementi Araştırma İnovasyon Merkezi		
İŞLEVİ	Araştırma Merkezi		
YERİ	Bergamo / İtalya		
YILI	2012		
MİMARİ	Richerd Meier&Partners		
AÇIKLAMALAR			
Yapımı cephesinde 1200 m ³ fotokatalitik beton kullanılmıştır. Böylece yakın çevresindeki hava kalitesini önemli ölçüde arttırmaktadır. Proje, Avrupa'da sürdürülebilir tasarımın bir ölçütü olmayı hedeflemiş ve İtalya'daki ilk LEED Platin akreditasyonuna ulaşmıştır.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Fotokatalitik		
MARKASI	Italcementi Group, TX Active		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar	●
		Saydam Duvar (pencere)	
	Çatı	Opak Çatı	
		Saydam Çatı (çatı penceresi)	
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Katkılı beton	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran			
	Güneş	Işık (UV)	●
		Isı (Sıcaklık)	
		Sıcaklık Farkı	
	Diğer	Elektrik	
Sistem			
		Pasif	●
		Aktif	
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	
		Şekil	
	Enerji Alışverişi	Adezyon	●
		Işık Yayan	
		Enerji Üreten	
	Enerji Değiş Tokuşu		
Konfor			
	Termal Konfor		
	Görsel Konfor	Güneşli Kontrolü (kmi, kmgk)	
		Kamaşma	
		Manzara	
	Hava Kalitesi		●
	UV korunumu		

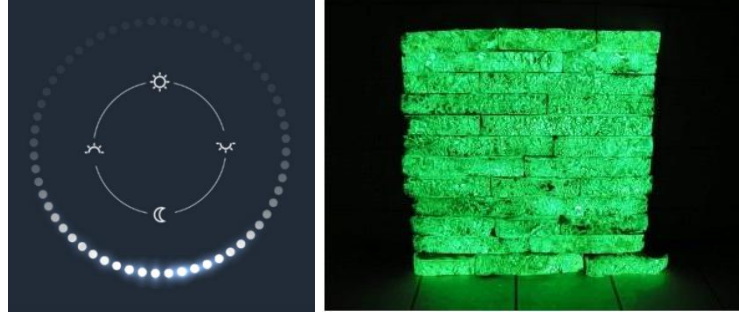
2.3.2. Enerji Alışverişi Yapan Akıllı Malzemeler

2.3.2.1. Fotolüminesan Malzemeler (PL)

Uyarılmış bir atom veya molekül kararsızdır ve fazla enerjisini atarak temel hale dönme isteği duyar. Atom veya molekül temel enerji düzeyine dönerken, fazla enerjisinin tümünü veya bir kısmını ışık şeklinde atabilir. Bu durumda malzemeden ışık yayılımı gözlenir. Bu olaya genel olarak lüminesans (ışıldama) özellik olarak tanımlanmaktadır (Ergin, 2019). Fotolüminesan malzemeler ışık yayan bir çeşit lüminesans malzemelerdir.

Fotolüminesans malzemenin çalışma prensibinde, güneş ışığını emebilir (fotonları), depolar ve görünür spektrumda farklı bir dalga boyunda (ışık kaynağı çıkarıldığında) yeniden yayabilir. Emilim ve emisyon arasındaki zaman gecikmesi saniyeler içinde olduğunda, ışıldayan etki flüoresan olarak adlandırılırken, zaman gecikmesi daha uzun olduğunda ve uyarım kaynağı çıkarıldıktan sonra azalmış bir görüntü kaybından sonraki etki fosforesans olarak adlandırılır (Casini, 2016).

Foto-lümenli malzemenin doğası ve özellikle gömülü safsızlıkları değiştirilerek, çeşitli renklerde yayılan ışık elde edilebilir (Casini, 2016). Buna örnek olarak İngiliz firması Pro-Teq tarafından geliştirilen ve elektrik enerjisine ihtiyaç duymadan parlaması için herhangi bir beton, tuğla (Şekil 32), asfalt veya ahşap kaplamanın yüzeyine uygulanabilen Starpath Spray-On malzemesidir. Bu özel kaplama gün boyunca ışık radyasyonunu emer ve gün batımında fosforlu renk görünümünü alır (Casini, 2016). Diğer bir örnek Hollanda'daki Akıllı Otoyol projesi, geleneksel sokak lambaları yerine aydınlatma sağlamak için 'karanlıkta parlayan' lüminesan toz ile zenginleştirilmiş boya ile Oss'taki 500 metrelik bir N329 otoyoluna yol yüzey işaretleri uygulamasıdır. Fosforlu boya gün boyunca güneş ışınlarından depolama yapar ve daha sonra 10 saate kadar gece aydınlatması sağlayabilir. Aynı ekip, Nuenen'deki Van Gogh bisiklet parkurundan 600 m'lik bir parçayı, aynı sanatçının Yıldızlı Gece tablosundan esinlenerek, bir fotolüminesans kaldırımı görsel sanat eserine dönüştürmüştür (Şekil 33). Etki, kaldırım granüllerinin yeşil ve mavi tonlarında ışığa duyarlı bir kaplama ile kaplanması ve bir beton yatağına bırakılmasıyla elde edilmiştir. Gün içinde depolanan güneş enerjisi sekiz saate kadar gece aydınlatması için yeterlidir (Casini, 2016).



Şekil 32. Fotolüminesan katkılu tuğlalar (URL-85, 2020).



Şekil 33. Van Gogh bisiklet yolu (Casini, 2016).

Zamana göre davranış özelliklerine bağlı olarak floresan ve fosfloresan olarak sınıflandırılır. Floresan, bir molekülün ışıkla, özellikle ultraviyole radyasyon bileşeniyle heyecanlanması; uyarılmış durumdan zemin durumuna geçiş neredeyse eşzamanlı ışık yayılımı ile eşlik eder. Fosfloresan ise ışık radyasyonu ile bir molekülün heyecanı; uyarılmış durumdan yer durumuna geri geçişe gecikmiş ışık emisyonu eşlik eder (Ritter, 2007).

Yeni geliştirilen fotolüminesan malzemeler, güvenlik yol rehberlik sistemlerinde kullanılmak üzere mimari, deniz ve havacılık projelerine çok sayıda çözüm sağlamaktadır (URL-86, 2020). Mimarlık alanında, fotolüminesan malzemeler iç dekorasyon alanlarında (fosfloresan veya floresan boyalar) ve karanlıkta parlayabilen fosforlu kristaller içeren cam tuğlalar (TGP Veluna, Seves Lüminesan Cam Blok) gibi inşaat malzemelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Casini, 2016).

Enerji ile ilişkisine bakıldığında, fotolüminesan malzeme, doğal veya yapay bir ışık kaynağına sadece birkaç dakika maruz kaldıktan sonra uzun süre ışık yaymaya devam



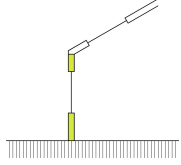
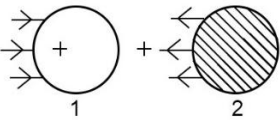
edebilir. Işık yaymak veya harekete geçmek için elektriğe ihtiyaç duymaz. Malzemenin doğasındaki bu ışıldama biçimi sayesinde enerji tasarrufu da yapılabilir. İç ortamlarda kullanımı yaygınlaşmaktadır (Şekil 34) (URL-86, 2020).





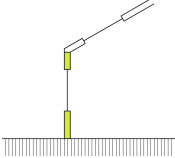
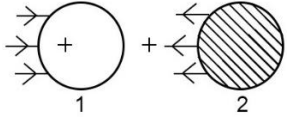
Şekil 34. İç ortamda fotolüminesan kullanımı (URL- 86, 2020).

Aşağıda fotokromik malzemelerin kullanıldığı yapı örnekleri verilmiştir (Tablo 55-56).

Tablo 55. Yapı künye örnek 39 (URL-87 ve 88, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	39		
ADI	Can Misses Hastanesi		
İŞLEVİ	Sağlık		
YERİ	İbiza/ İspanya		
YILI	2014		
MİMARİ	Luis Vidal + Architects		
AÇIKLAMALAR			
Cephesinde fotoluminesan boya kullanılmıştır. Fotoluminesan çizgiler Ibiza'nın Can Misses Hastanesi'nin gece parlamasını sağlamaktadır. Gün boyu güneş ışığını emen boya içindeki fotoluminesan parçacıklar, güneş batmaya başladığında parlamaya başlamaktadır. Üstelik bu etki için enerji kullanılmamaktadır.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Fotoluminesan		
MARKASI	-		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar	●
		Saydam Duvar (pencere)	
	Çatı	Opak Çatı	
		Saydam Çatı (çatı penceresi)	
	Diğer		
Yüzey Malzemesi	Katkılı boya		
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran			
	Güneş	Işık (UV)	●
		Isı (Sıcaklık)	
		Sıcaklık Farkı	
Diğer	Elektrik		
Sistem			
		Pasif	●
		Aktif	
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	
		Şekil	
		Adezyon	
Enerji Alışverişi		Işık Yayan	●
		Enerji Üreten	
		Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		
Görsel Konfor		Günlüğü Kontrolü (kmi, kmgk)	
		Kamaşma	
		Manzara	
Hava Kalitesi			
UV korunumu			

Tablo 56. Yapı künye örnek 40 (URL-89, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	40		
ADI	-		
İŞLEVİ	-		
YERİ	Paris/ Fransa		
YILI	2014		
MİMARİ	Nuit Blanche		
AÇIKLAMALAR			
Mevcut bir yapının cephesine fotoluminesan katkılı boya ile yazı yazılmıştır. Harfler, gün boyunca güneş ışığı emer. Fotoluminesan boya tamamen şarj olduktan sonra, gece düştüğünde kendi başlarına parlak bir şekilde parlak.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Fotoluminesan		
MARKASI	-		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar	●
		Saydam Duvar (pencere)	
	Çatı	Opak Çatı	
		Saydam Çatı (çatı penceresi)	
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Katkılı boya	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyarın			
	Güneş	Işık (UV)	●
		Isı (Sıcaklık)	
		Sıcaklık Farkı	
	Diğer	Elektrik	
Sistem			
		Pasif	●
		Aktif	
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	
		Şekil	
		Adezyon	
	Enerji Alışverişi	Işık Yayan	●
		Enerji Üreten	
		Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		
	Görsel Konfor	Güneşli Kontrolü (kmi, kmgk)	
		Kamaşma	
		Manzara	
	Hava Kalitesi		
	UV korunumu		

2.3.2.2. Fotoelektrik Malzemeler (PV)

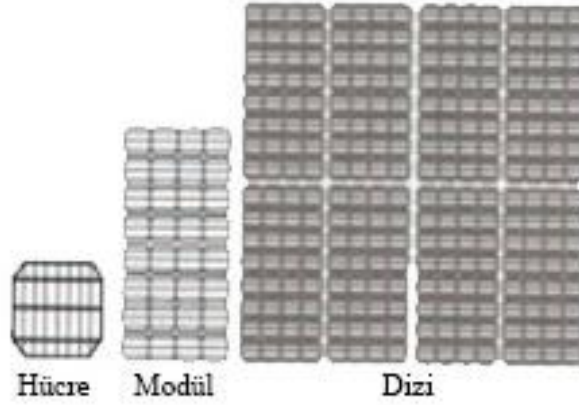
Elektrik üreten akıllı malzemeler, dış etkilerden, ışık, sıcaklık ve basınçtaki değişikliklerden kaynaklanan bir veya daha fazla uyarana yanıt olarak bir elektrik akımı üretebilen malzemeler ve ürünleri içerir. Fotoelektrik malzeme ise bu tetikleyicilerden ışığın etkisiyle (görünür ışık, UV ışığı; elektromanyetik radyasyon) uyarıldığında bir elektrik akımı üreten malzeme olarak tanımlanır (Ritter, 2007). Fotoelektrik malzemeler, gelen güneş radyasyonunu (fotoelektrik etki) elektriğe dönüştürerek enerji üretimini sağlar (Casini, 2016).

Bilinen yaygın Fotovoltaik üniteler, mono veya polikristalin silikondan en az iki varyanttan oluşan bir sandviçten üretilir . Bu n ve p tipi (negatif ve pozitif) silikon kristalleri, ara yüzey alt (foton) radyasyonunda elektrik üretir. Hücreler 0,3 ila 1,5 m² arasında değişen dikdörtgen modüller halinde düzenlenmiştir. Bir metrekarelik tipik bir birim, 1000 W/m²'lik parlak güneş ışığı altında 150 W elektrik enerjisi üretebilir. Hücreler genellikle koruyucu bir cam tabakası ile lamine edilir, metal kaplama ile desteklenir ve çelik bir çerçeveye monte edilir (Şekil 35) (Lyons, 2010).

İki camlı bölmenin içine kristalli hücreler sokularak üretilen geleneksel cam-cam PV sistemlerine ek olarak, günümüz inorganik (a-Si, CdTe) veya organikten yapılmış yarı saydam ince filme dayalı PV teknolojilerini kullanarak şeffaf kapaklar oluşturmak mümkündür (Casini, 2016).

Fotoelektrik piller yeni nesil fotoelektrik malzemelerdir. Bunlar; (1) kristal silikon piller, (2) boya güneş pilleri, (3) ince film güneş pilleri, (4) boya güneş pilleri gibi çeşitlere sahiptir (Lyons, 2010).

Yapı kabuğuna entegre etmenin, enerji üretimi, güneş radyasyonundan korunma, gün ışığı kontrolü ve renk kalitesi gibi farklı katkıları söz konusudur (Lyons, 2010).

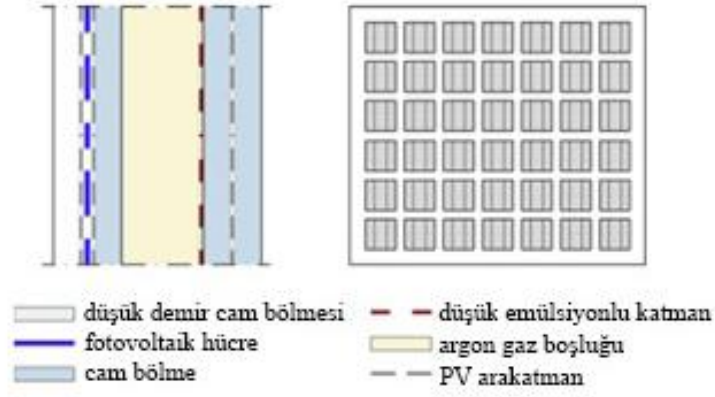


Şekil 35. Fotoelektrik hücre, modül ve dizi (Addington & Schodek, 2005).

Güneş pilleri modülleri fotovoltaiik hücrelerin birbirine sızdırmazlık kazanacak şekilde bağlanması ile oluşturulur. Güneş pilleri birbirlerine elektriksel bir bağ ile bağlanarak elde edilir (Yanardağ, 2007).

‘Güneş pili sistemlerinin çalışma prensibi temel olarak güneş pili hücreleri aracılığıyla elde edilen doğru akımın (DC), alternatif akıma (AC) dönüştürülmesinden oluşur. Bu dönüşüm invertörler (dönüştüren elemanlar) vasıtasıyla gerçekleşir. Elde edilen enerji aküler ile depolanır. Güneş enerjisinin yetersiz kaldığı durumlarda, ihtiyaç duyulan elektrik enerjisi aküde depolandığından gerektiğinde kullanılabilir.’ (Yanardağ, 2007).

Kristal silikon (c-Si) hücreleri, tek bir kristal veya bir bloktan kesilmiş 160-240 mm kalınlığında ince silikon dilimden (gofret) elde edilir. Kristal silikon pillerinin (C-Si) renk görünümü kesinlikle malzemeye bağlı değildir, uygulanan yansıma önleyici kaplamasının kalınlığı ile belirlenir. Güneş pilleri, en yüksek verimliliği elde etmek için optimize edilmiş kalınlıkta bir silikon nitrür tabakası ile kaplanır. Kaplama kalınlığını değiştirerek, bir miktar verimlilik kaybı doğası gereği olsa da, istenen renk görünümüne sahip güneş pilleri elde etmek mümkündür (Şekil 36) (Casini, 2016).



Şekil 36. Kristal silikon glass-glass photovoltaik modüller (Casini, 2016).

Amorf silikon hücreler, plastik levhalar ve folyolar gibi bükülebilmeleri bir avantajdır (Schittich, 2006). Kristal PV modülleri, son derece kırılğan olan ve azaltılmış kalınlıkları⁷ nedeniyle kolayca kırılabilen PV hücrelerinin bükülmesinin zorlukları nedeniyle genellikle sadece düz paneller olarak mevcuttur. Bu nedenle, kavisli veya esnek PV ürünleri yakın zamana kadar sadece ince film teknolojisi ile yapılmıştır (Casini, 2016).

Boya güneş pilleri, boyaların ışığı soğurması (elektromanyetik radyasyon) ve bağı bir tüketici ile elektrik akımı üreten katmanlar olarak bir malzemeye entegre edilmesi sonucu temelde bir kompozit oluşturur (Şekil 37) (Ritter, 2007). Boya güneş pilleri gelen ışığın fotonlarını (güneş ışığı ve ortam yapay ışığı) yakalar ve enerjilerini fotosentezdeki klorofil gibi davranarak elektronları uyarmak için kullanır (Ritter, 2007).

⁷ Kristal PV modül kalınlıkları yaklaşık 0.2 mm'dir.



Şekil 37. Renkli fotovoltaik hücreler (Casini, 2016).

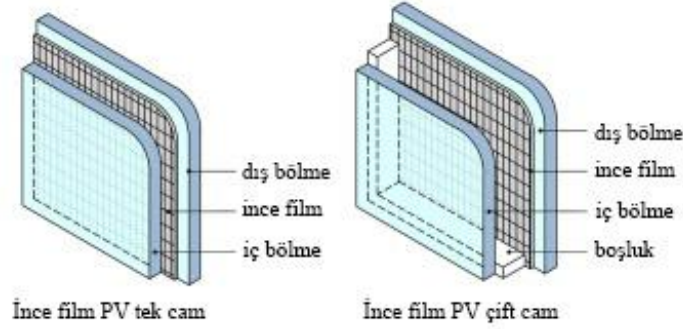
Boya güneş pillerinin keşfi 1991 yılında Almanya’da Michael GRATZEL tarafından gerçekleştirilmiştir (URL-90, 2020). Prensip olarak boya güneş pilleri üretimi; şeffaf bir anot⁸, destekleyici bir tabakanın (örneğin cam) üzerine bırakılır. Anot üzerine bir TiO₂ macunu olarak basılır ve fırınlanır. Son katman, tercih edilen şeffaf elektroda sahip bir substrat katmanıdır (Ritter, 2007). Boya güneş pilleri (DSC) genellikle cephelerin önünde ve yapı çatılarına konvansiyonel silikon veya ince film teknolojisi güneş pilleri gibi takılabilir veya bunlara entegre edilebilir (Ritter, 2007). Boya güneş pillerinin avantajları; az ışıkla elektrik akımı üretimi, düşük ve orta sıcaklıklarda⁹ çalışabilmesi, yaklaşık 500 ila 5000 saat çalışabilmesi ile nispeten uzun ömürlü olması, farklı renlerde üretimi mümkündür (Ritter, 2007). Dezavantajları ise; bükülemez veya eğrilemez olması, silikon güneş pillerine kıyasla pahalı olmaları, boya güneş pillerinin hala zayıf bir nokta olan hücrelerin kenarlarının sızdırmazlığıdır (Ritter, 2007).

İnce film hücreleri, güneş enerjisini son derece düşük kalınlıkta bile etkili bir şekilde yakalayabilen yüksek ışık emme değerlerine sahip malzemeler olarak kullanılır. Bunlar genellikle p-n birleşimini oluşturmak, elektrotları entegre etmek ve cam, paslanmaz çelik

⁸ Kalay oksit.

⁹ Boya güneş pilleri <-20 ° C ila> + 80 ° C sıcaklık arasında çalışabilmektedir.

veya polimer gibi düşük maliyetli bir substrat üzerine biriktirilmiş direncin azalmasını sağlamak için 5-10 farklı katmandan oluşur (Şekil 38) (Casini, 2016).



Şekil 38. Yarı saydam amorf silikon ince film fotovoltaik bölme (Casini, 2016).

Modülün gücü, güneş radyasyonunun dönüşüm verimliliğini belirleyen kullanılan teknolojiye ve filmin şeffaflık derecesine bağlıdır (Casini, 2016). Elektrik üretimine ek olarak, STPV ince film güneş ışığına izin verir, ultraviyole (UV) ve kızılötesi (IR) radyasyondan kaçınır ve camdan görmeye izin verir (Casini, 2016). Cam herhangi bir şekle (dairesel, yamuk, üçgen) sahip olabilir ve aynı zamanda kavisli bir profile sahip olabilir (Casini, 2016). Nötr olabilir veya istenen renkteki ara tabakaların uygulanmasıyla renklendirilebilir. Fakat yarı saydam uygulama için uygun değildir (Casini, 2016).

Organik güneş pilleri, PV teknolojisindeki gelişmelerde üçüncü nesil fotovoltaikler olarak da bilinen organik güneş pilleri (OPV) ve dağınık ışıktan yararlanma yeteneği sayesinde herhangi bir parçaya uygulanabilen boya fotoelektrokimyasal hücrelerden (DSSC) oluşan organik fotovoltaikler ile temsil edilir (Casini, 2016). Bu malzemeler, plastik substratlar için uygun çok ince esnek filmlerin kullanılmasına izin veren yüksek optik emme ile karakterize edilir.

Avantajları, OPV hücreleri gerekli tüm renkleri alabilir ve yapı entegrasyonunda geniş olanaklar sunar (Casini, 2016). Pillerin performansını etkileyen genel parametreler; öncelikle radyasyon yoğunluğu, yüzey alanı ve hücre sıcaklığıdır (Schittich, 2006).

Güneş pilleri; silikon güneş pilleri, boya güneş pilleri, ince film güneş pilleri olarak çeşitlilik göstermektedir.

Silikon güneş pilleri, üretilen kristalli hücre tipi silikon dilim üretim sürecine bağlıdır. Ana kristalin hücre tipleri, monokristal, polikristalin veya çok kristalli olabilmektedir.

Boya güneş pilleri, organik boyalarda antosiyanin (doğal bitki boyaları, örneğin ebegümeci çiçeği ve yabanmersini suyunda), bakteriyel klorofiller (örneğin mor bakterilerde), boya karışımlarında porfirinler ve ftalosiyaninlerden oluşabilmektedir. Fakat rutenyum kompleksleri mimarlıkta en çok tercih edilenlerdir (Ritter, 2007).

İnce film teknolojileri (1) amorf silikon (a-Si), (2) çok eklemli ince silikon film (a-Si / mc-Si), (3) kadmiyum tellür (CdTe), (4) bakır, indiyum, galyum, (di) selenid / (di) sülfür (CIGS), (5) bakır, çinko, kalay, sülfür (CZTS), (6) galyum arsenit (GaAs) içerir (Casini, 2016).

Önceleri sadece uçak sanayinde kullanılan güneş pilleri, artık yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerji ile elektrik üretimi yapma hedefi olan tüm alanlarda kullanılmaktadır. Mimarlığa entegrasyonu PV paneller olarak yapı çatısı ve cephelerinde görülmektedir. Örneğin PV çatı kiremiti, lamine esnek amorf ince film silikon hücreleri içeren yüksek performanslı çatı membranları ürünlerle de entegrasyon görülmektedir (Lyons, 2010). Boya güneş pillerinin hücreleri saydamdır ve bu nedenle cephelerde ve pencerelerde cam bileşenler olarak kullanılabilir (Şekil 39) (Ritter, 2007).



Şekil 39. Avustralya’da bir yapının dış cephede boya güneş pili uygulaması (Ritter, 2007).

Enerji kullanımını azaltmak gibi kullanılan enerjiyi yenilenebilir enerji kaynaklarından elde etmek de önemlidir. Enerji ile ilişkisine bakıldığında, fotoelektrik akıllı malzemeler yapı kabuğuna entegre bir şekilde enerji üretebilmektedir (Ritter, 2007).

Kristal teknolojisine kıyasla, ince film güneş pilleri eşit kurulu güçle daha yüksek bir enerji verimine sahiptir (Tablo 57 ve 58) (Casini, 2016) . Güneş ışınımının doğrudan elektrik enerjisine dönüşümünü sağlayan elemanlar olan güneş pilleri, yenilenebilir enerji

kaynaklarında güneş enerjisini kullanarak temiz enerji sağlaması ile enerji etkinliğine katkı sağlamaktadır. Ayrıca güneş kontrolü amacıyla kullanıldığında fazla ısı kazanımını engelleyerek soğutma yüklerini azaltmaktadır (Altın, 2013b).

Tablo 57. Kristalin silikon güneş hücrelerinde maksimum verimlilik (Casini, 2016).



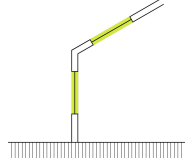
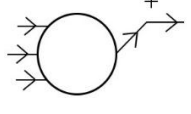
Teknoloji	Üretici	Verimlilik %
Monokristalin heterostrüktür	Panasonic	25.60
Monokristalin hücre	Sunpower	25.00
Eptaksiyel kristal hücre	Solexel	21.20
Polikristalin hücre	Trina Solar	21.25

Tablo 58. İnce film güneş hücrelerinde maksimum verimlilik (Casini, 2016).

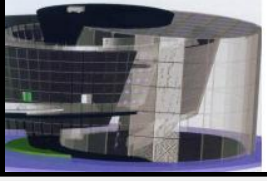
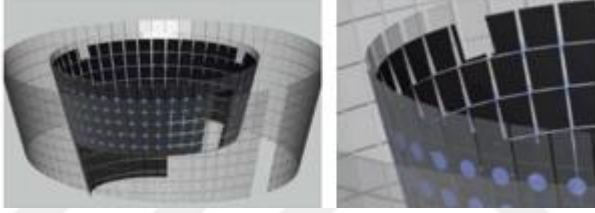
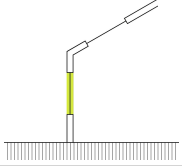
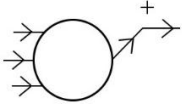
Teknoloji	Üretici	Verimlilik %
GaAs hücre	Alta Devices	28.80
CIGS hücre	ZSW	21.70
CdTe hücre	First Solar	21.50
Amorf Si:H	AIST	13.60
CZTS/Se hücre	IBM / Solar Frontier	12.60

Aşağıda fotoelektrik malzemelerin kullanıldığı yapı örnekleri verilmiştir Tablo 59-71).


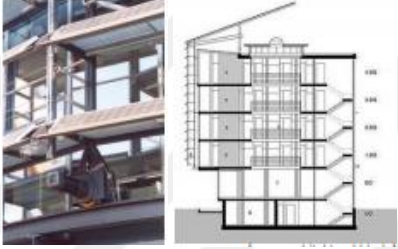
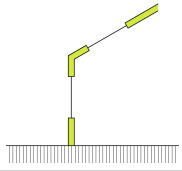
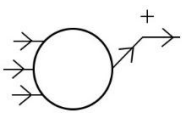
Tablo 59. Yapı künye örnek 41 (URL-91 ve 92, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	41		
ADI	The First SmartWrap		
İŞLEVİ	Pavilyon		
YERİ	New York / USA		
YILI	2003		
MİMARİ	Kieran&Timberlake		
AÇIKLAMALAR			
Yapı kabuğunun tamamında kullanılan Smartwrap, yapıyı sarmak için tasarlanmış, çok görevli ve akıllı duvar gibi davranan ince bir plastik filmidir. Geleneksel duvarın ayrılmış işlevlerini bünyesinde toplayan yüksek teknoloji kompozit bir üründür. Güneş ışığı sağlar ve kontrol eder, aynı zamanda enerjiyi izole eder, depolar ve sıcaklığı düzenler. Malzeme, normal bir duvarın (yalıtım, koruma, elektrik, pencereler) tüm işlevselliğini içerdiği, ancak yalnızca birkaç milimetre kalınlığındaki bir malzemeye sıkıştırıldığı için, insanların inşa şeklini tamamen değiştirme potansiyeline sahiptir.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Organik Fotovoltaik Pil		
MARKASI	ILC Dover		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar	
		Saydam Duvar (pencere)	●
	Çatı	Opak Çatı	
		Saydam Çatı (çatı penceresi)	●
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	PET plastik esaslı kabuk	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyarın			
	Güneş	Işık (UV)	●
		Isı (Sıcaklık)	
		Sıcaklık Farkı	
	Diğer	Elektrik	
Sistem			
		Pasif	●
		Aktif	
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	
		Şekil	
		Adezyon	
	Enerji Alışverişi	Işık Yayan	
Enerji Üreten		●	
		Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		●
	Görsel Konfor	Güneş ışığı Kontrolü (kmi, kmgk)	●
		Kamaşma	
		Manzara	
	Hava Kalitesi		
	UV korunumu		●


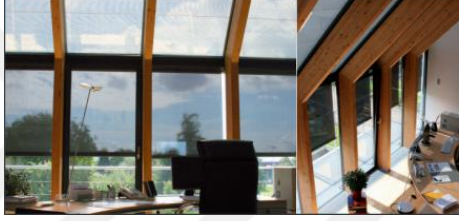

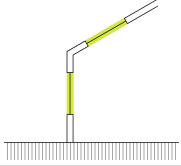
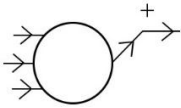
Tablo 60. Yapı künye örnek 42 (Ritter, 2007; Yağlı, 2019).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	42		
ADI	Documentation Centre		
İŞLEVİ	Dokümantasyon Merkezi		
YERİ	Hinzert / Almanya		
YILI	2004		
MİMARİ	-		
AÇIKLAMALAR			
Yapının fuayesini oluşturan duvarlar, kinetik, değişken ışık miktarlarını ileten ve çeşitli derecelerde açılabilen, diyagonal olarak bölünmüş panellere sahip, dış kaplamalı, çerçevesiz bir cam cephe konstrüksiyondan oluşmaktadır. İnce film güneş pilleri ve genleşen akıllı malzeme ile yapının içindeki ışık miktarını otomatik kontrol etmektedir.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	İnce film fotovoltaik pil		
MARKASI	-		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar	
		Saydam Duvar (pencere)	●
	Çatı	Opak Çatı	
		Saydam Çatı (çatı penceresi)	
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Cam	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyarın			
	Güneş	Işık (UV)	●
		Isı (Sıcaklık)	
		Sıcaklık Farkı	
	Diğer	Elektrik	
Sistem			
		Pasif	●
		Aktif	
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	
		Şekil	
		Adezyon	
	Enerji Alışverişi	Işık Yayan	
Enerji Üreten		●	
		Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		
	Görsel Konfor	Güneşli Kontrolü (kmi, kmgk)	●
		Kamaşma	
		Manzara	
	Hava Kalitesi		
	UV korunumu		


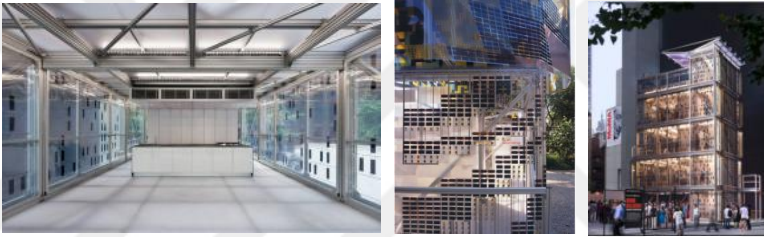
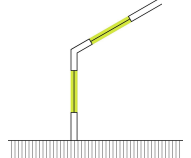
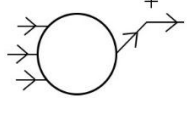
Tablo 61. Yapı künye örnek 43 (Loonen, 2010).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	43		
ADI	Dr. Jockisch Building		
İŞLEVİ	-		
YERİ	Landshut / Almanya		
YILI	2000		
MİMARİ	Architecten HBH		
AÇIKLAMALAR			
Yapının cephe ve çatısında kullanılan, mobil fotovoltaik güneşlik sistemi, cephenin 3/8'ini kaplar ve yapının etrafında yüzerken güneşi takip eder. Asıl görevi elektrik üretmenin yanında çatıya monte edilmiş eğimli bir güneş kırıcı görevi görmektedir.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Fotovoltaik		
MARKASI	-		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar	●
		Saydam Duvar (pencere)	
	Çatı	Opak Çatı	●
		Saydam Çatı (çatı penceresi)	
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Çatı ve cephelerde güneş kırıcı	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyarın			
	Güneş	Işık (UV)	●
		Isı (Sıcaklık)	
		Sıcaklık Farkı	
	Diğer	Elektrik	
Sistem			
		Pasif	●
		Aktif	
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	
		Şekil	
		Adezyon	
	Enerji Alışverişi	Işık Yayan	
Enerji Üreten		●	
		Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		
	Görsel Konfor	Günüşiği Kontrolü (kmi, kmgk)	●
		Kamaşma	
		Manzara	
	Hava Kalitesi		
	UV korunumu		



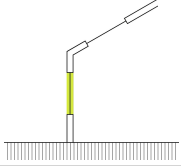
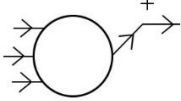
Tablo 62. Yapı künye örnek 44 (URL-93, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	44		
ADI	Heimische		
İŞLEVİ	Barınma		
YERİ	Almanya		
YILI	-		
MİMARİ	-		
AÇIKLAMALAR			
Yapıda çatı kiremitleri yerine fotovoltaik pil entegre cam kullanılmıştır. Bu elektrik üreten cam aynı zamanda gölgeleme de yapmaktadır. Teknoloji, metrekare başına 60 kilowatt saate kadar elektrik üretmektedir.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Yarı Saydam İnce Fotovoltaik Pil		
MARKASI	Volarlux		
 			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar	
		Saydam Duvar (pencere)	●
	Çatı	Opak Çatı	
		Saydam Çatı (çatı penceresi)	●
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Cam	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyarın			
	Güneş	Işık (UV)	●
		Isı (Sıcaklık)	
		Sıcaklık Farkı	
	Diğer	Elektrik	
Sistem			
		Pasif	●
		Aktif	
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	
		Şekil	
		Adezyon	
	Enerji Alışverişi	Işık Yayan	
Enerji Üreten		●	
		Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		
	Görsel Konfor	Güneşli Kontrolü (kmi, kmgk)	●
		Kamaşma	
		Manzara	
	Hava Kalitesi		
	UV korunumu		



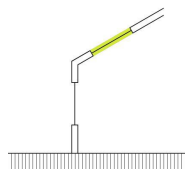
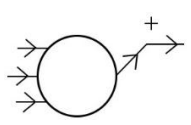
Tablo 63. Yapı künye örnek 45 (URL-94, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	45		
ADI	Cellophane House/ The Museum of Modern Art		
İŞLEVİ	Barınma		
YERİ	New York / ABD		
YILI	2008		
MİMARİ	-		
AÇIKLAMALAR			
Yapıda cephe ve çatı da kullanılan deri tasarımı, mevsime bağlı, seçici olarak gün ışığı ve mevsimsel ısıya izin veren, UV ışığı ve sıcak-soğuk havadan koruyan bir filtredir. İçerisindeki güneş pilleri ile elektrik üretmektedir.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Fotovoltaik Pıl		
MARKASI	SmartWrap		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar	
		Saydam Duvar (pencere)	●
	Çatı	Opak Çatı	
		Saydam Çatı (çatı penceresi)	●
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	PET- plastik esaslı kabuk	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran			
	Güneş	Işık (UV)	●
		Isı (Sıcaklık)	
		Sıcaklık Farkı	
	Diğer	Elektrik	
Sistem			
		Pasif	●
		Aktif	
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	
		Şekil	
		Adezyon	
	Enerji Alışverişi	Işık Yayan	
Enerji Üreten		●	
		Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		●
	Görsel Konfor	Güneşli Kontrolü (kmi, kmgk)	
		Kamaşma	
		Manzara	
	Hava Kalitesi		
	UV korunumu		●



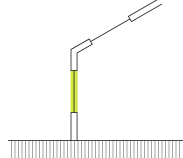
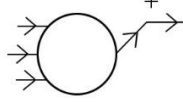
Tablo 64. Yapı künve örnek 46 (URL-95, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	46		
ADI	Mal Dağıtım Merkezi		
İŞLEVİ	Ticari / Ofis		
YERİ	Ingolstadt / Almanya		
YILI	-		
MİMARİ	-		
AÇIKLAMALAR			
Almanya'daki Mal Dağıtım Merkez yapısının cephesine uygulanan Voltarlux fotovoltaiik piller imaj oluşturuucu bir bileşen olarak, ekolojik bilinci ve modern tasarım anlayışını eşit ölçüde vurgulayarak, yılda m ² başına 60 kilovat saate kadar elektrik enerjisi üretebilmektedir.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Fotovoltaiik Pıl		
MARKASI	Voltarlux		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar	
		Saydam Duvar (pencere)	●
	Çatı	Opak Çatı	
		Saydam Çatı (çatı penceresi)	
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Cam	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyararı			
	Güneş	Işık (UV)	●
		Isı (Sıcaklık)	
		Sıcaklık Farkı	
	Diğer	Elektrik	
Sistem			
		Pasif	●
		Aktif	
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	
		Şekil	
		Adezyon	
	Enerji Alışverişi	Işık Yayan	
Enerji Üreten		●	
		Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		
	Görsel Konfor	Günüşğı Kontrolü (kmi,kmgk)	
		Kamaşma	
		Manzara	
	Hava Kalitesi		
	UV korunumu		


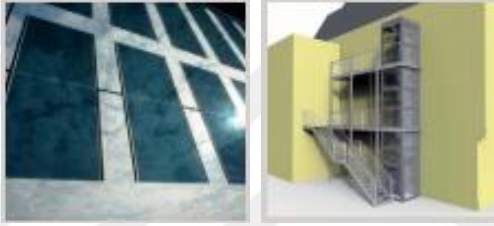
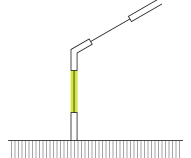
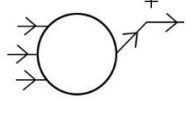
Tablo 65. Yapı künye örnek 47 (URL-96 ve 97, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	47		
ADI	Berlin Hauptbahnhof/Gar		
İŞLEVİ	Ulaşım		
YERİ	Berlin / Almanya		
YILI	2002		
MİMARİ	Gerkan Marg&Partners		
AÇIKLAMALAR			
Yapının eğimli çatısına cama entegre yaklaşık 1700 m ² fotovoltaik piller uygulanmıştır. Bu pillerin yılda 160000 kWh enerji üretmektedir.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Kristal Silikon Fotovoltaik Pil		
MARKASI	-		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar	
		Saydam Duvar (pencere)	
	Çatı	Opak Çatı	
		Saydam Çatı (çatı penceresi)	●
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Cam	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyarın			
	Güneş	Işık (UV)	●
		Isı (Sıcaklık)	
		Sıcaklık Farkı	
	Diğer	Elektrik	
Sistem			
		Pasif	●
		Aktif	
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	
		Şekil	
		Adezyon	
	Enerji Alışverişi	Işık Yayan	
Enerji Üreten		●	
		Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		
	Görsel Konfor	Güneşli Kontrolü (kmi, kmgk)	
		Kamaşma	
		Manzara	
	Hava Kalitesi		
	UV korunumu		



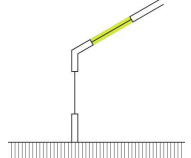
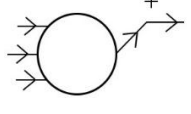
Tablo 66. Yapı künye örnek 48 (URL-98 ve 99, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	48		
ADI	SwissTech Kongre Merkezi		
İŞLEVİ	Kültür		
YERİ	İsviçre		
YILI	2014		
MİMARİ	Richter Dahl Rocha ve Associés		
AÇIKLAMALAR			
Güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştüren panellerin iki işlevi vardır. İlk olarak; pasif fonksiyonu yapıya giren ışık miktarını azaltarak iç ortam soğutma ihtiyacını bir miktar düşürür. İkinci olarak ise; aktif bir işlev olarak; olay güneş ışığının bir kısmı, modern inşaatın yenilenebilir enerji kaygılarına uygun olarak elektrige dönüştürülür. Yapı cephesi boyunca 300 m ² kurulum alanına sahiptir.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Boya Fotovoltaik Pil		
MARKASI	Solaronix		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar Saydam Duvar (pencere)	●
	Çatı	Opak Çatı Saydam Çatı (çatı penceresi)	
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Cam	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyarıcı			
	Güneş	Işık (UV) Isı (Sıcaklık) Sıcaklık Farkı	●
	Diğer	Elektrik	
Sistem			
		Pasif Aktif	●
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik Şekil Adezyon	
	Enerji Alışverişi	Işık Yayan Enerji Üreten Enerji Değiş Tokuşu	●
Konfor			
	Termal Konfor		
	Görsel Konfor	Güneşli Kontrolü (kmi, kmgk) Kamaşma Manzara	●
	Hava Kalitesi		
	UV korunumu		


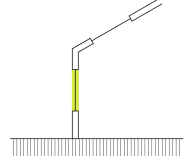
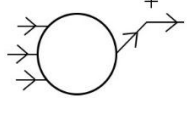
Tablo 67. Yapı künye örnek 49 (URL-100, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	49		
ADI	Sonnenapotheke Marburg		
İŞLEVİ	Ticari		
YERİ	Marburg / Almanya		
YILI	2016		
MİMARİ	Kassel Timo		
AÇIKLAMALAR			
Yapının cephesinde kısmen kullanılan organik fotovoltaik malzeme elektrik üretmektedir.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Organik Fotovoltaik Pil		
MARKASI	Opvius- BI Powersol		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar	
		Saydam Duvar (pencere)	●
	Çatı	Opak Çatı	
		Saydam Çatı (çatı penceresi)	
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Cam	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyarın			
	Güneş	Işık (UV)	●
		Isı (Sıcaklık)	
		Sıcaklık Farkı	
	Diğer	Elektrik	
Sistem			
		Pasif	●
		Aktif	
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	
		Şekil	
		Adezyon	
	Enerji Alışverişi	Işık Yayan	
		Enerji Üreten	●
		Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		
	Görsel Konfor	Güneşli Kontrolü (kmi, kmgk)	●
		Kamaşma	
		Manzara	
	Hava Kalitesi		
	UV korunumu		



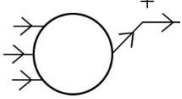
Tablo 68. Yapı künye örnek 50 (URL-101, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	50		
ADI	Afrika Birliği Barış ve Güvenlik		
İŞLEVİ	Kamusal /Ofis		
YERİ	Addis Ababa / Etiyopya		
YILI	2015		
MİMARİ	Carl Stahl GmbH		
AÇIKLAMALAR			
OPV aktif malzemesini kullanan 445 ayrı şeffaf mavi modülden oluşur. Yapının çatısında kullanılan OPV modülleri sayesinde, gölge yelken binanın içindeki LED aydınlatma sistemine yeterli elektrik sağlanır.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Organik Fotovoltaik Pil		
MARKASI	Opvius- BI Powersol		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar	
		Saydam Duvar (pencere)	
	Çatı	Opak Çatı	
		Saydam Çatı (çatı penceresi)	●
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Membran	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyarın			
	Güneş	Işık (UV)	●
		Isı (Sıcaklık)	
		Sıcaklık Farkı	
	Diğer	Elektrik	
Sistem			
		Pasif	●
		Aktif	
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	
		Şekil	
		Adezyon	
	Enerji Alışverişi	Işık Yayan	
		Enerji Üreten	●
		Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		
	Görsel Konfor	Güneşli Kontrolü (kmi, kmgk)	●
		Kamaşma	
		Manzara	
	Hava Kalitesi		
	UV korunumu		



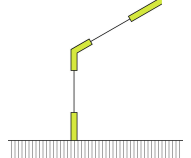
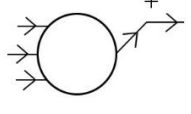
Tablo 69. Yapı künye örnek 51 (URL 102, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	51		
ADI	Stadtwerke Konstanz Müşteri Merkezi		
İŞLEVİ	Kamusal /Ofis		
YERİ	Konstanz / Almanya		
YILI	2011		
MİMARİ	Arnold Wild		
AÇIKLAMALAR			
Yapının güney cephesi 230 m ² 'lik yarı saydam fotovoltaik elemanlarla kaplıdır. Bu paneller 3x4 metreliktir ve yapıda kullanılmak üzere elektrik üretir.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Mono-kristalin Fotovoltaik Pil		
MARKASI	Ertex Solar		
X			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar	
		Saydam Duvar (pencere)	●
	Çatı	Opak Çatı	
		Saydam Çatı (çatı penceresi)	
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Cam	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyarın			
	Güneş	Işık (UV)	●
		Isı (Sıcaklık)	
		Sıcaklık Farkı	
	Diğer	Elektrik	
Sistem			
		Pasif	●
		Aktif	
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	
		Şekil	
		Adezyon	
	Enerji Alışverişi	Işık Yayan	
Enerji Üreten		●	
		Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		
	Görsel Konfor	Günüşiği Kontrolü (kmi,kmgk)	
		Kamaşma	
		Manzara	
	Hava Kalitesi		
	UV korunumu		

Tablo 70. Yapı künye örnek 52 (URL-103, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	52		
ADI	Silo Bleu		
İŞLEVİ	Barınma		
YERİ	Avenue / İsviçre		
YILI	2018		
MİMARİ	Epure Architecture ve Urbanisme SA		
AÇIKLAMALAR			
Yapının cephesinde ve kısmen çatısında elektrik üretmek için fotoelektrik malzeme kullanılmıştır.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Mono-kristalin Fotovoltaik Pil		
MARKASI	Solarwall Mono C- Gruppo STG		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar	●
		Saydam Duvar (pencere)	●
	Çatı	Opak Çatı	
		Saydam Çatı (çatı penceresi)	●
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Kısmi seramik baskılı temperli	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran			
	Güneş	Işık (UV)	●
		Isı (Sıcaklık)	
		Sıcaklık Farkı	
	Diğer	Elektrik	
Sistem			
		Pasif	●
		Aktif	
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	
		Şekil	
	Enerji Alışverişi	Adezyon	
		Işık Yayan	
		Enerji Üreten	●
		Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		
	Görsel Konfor	Güneşli Kontrolü (kmi, kmgk)	●
		Kamaşma	
		Manzara	
	Hava Kalitesi		
UV korunumu			

Tablo 71. Yapı künye örnek 53 (URL-104, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	53		
ADI	Solarsilo		
İŞLEVİ	Yönetim / Ofis		
YERİ	Basel / İsviçre		
YILI	1850 / 2014		
MİMARİ	Baübüro Insitu AG		
AÇIKLAMALAR			
Yapıda elektrik üretmek için fotoelektrik entegre kaplam malzemesi hem cephe hem çatıda kullanılmıştır.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Mono-kristalin Fotovoltaik Pil		
MARKASI	Solvatec AG		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar	●
		Saydam Duvar (pencere)	
	Çatı	Opak Çatı	●
		Saydam Çatı (çatı penceresi)	
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Fayansa entegre	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyarın			
	Güneş	Işık (UV)	●
		Isı (Sıcaklık)	
		Sıcaklık Farkı	
	Diğer	Elektrik	
Sistem			
		Pasif	●
		Aktif	
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	
		Şekil	
	Enerji Alışverişi	Adezyon	
		Işık Yayan	
		Enerji Üreten	●
		Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor			
	Termal Konfor		
	Görsel Konfor	Güneşli Kontrolü (kmi, kmgk)	
		Kamaşma	
		Manzara	
	Hava Kalitesi		
	UV korunumu		

2.3.2.3. Termoelektrik Malzemeler (Thermoelectric) (TE)

‘Termoelektrik malzemeler her iki yüzü arasında sıcaklık farkı bulunduğunda bünyesinde elektrik potansiyeli oluşturan malzemeler’ olarak tanımlanmaktadır (Orhon, 2013b) . Termoelektrik malzemenin gelişimi Thomas Johann Seebeck ve adını taşıyan Seebeck etkisine kadar uzanmaktadır. Seebeck, 1821’de, farklı metallere iki telden oluşan kapalı bir devrenin, iki temas noktası arasında bir sıcaklık farkı olduğunda yarattıkları voltaj nedeniyle manyetik bir alan oluşturduğunu keşfetti. 1834’te Jean Peltier, bir elektrik akımından sıcaklık farkının oluşturulabileceğini buldu. 1920’lerde Termoelektrik malzemelerde kullanılan yeni yarı iletken malzemeler geliştirildi. 1950’lerde Abram Fedorovich Ioffe ve meslektaşları, bugünün teorilerinin dayandığı termoelektrik dönüşüm kavramını geliştirdi. 1960’lara gelindiğinde, günümüzde kullanılmakta olan bizmut tellür de dahil olmak üzere çok sayıda yarı iletken malzeme termoelektrik etkiye uygunluğu açısından incelendi. 2004 yılında, bir güneş pili gibi elektron deliği çiftleri oluşturarak elektrik akımı üretmek için yarı iletken malzeme olarak silikon kullanılan yeni bir teknoloji piyasaya sürüldü (Ritter, 2007).

Termoelektrik malzemenin çalışma prensibine bakıldığında zaman, alüminyumdan yapılmış bir metal çubuğun bir ucu ısıtılıp, diğer ucu ise soğutulduğunda sıcak kısımdaki yük taşıyıcıların (metallerde elektronların) kinetik enerjilerinin soğuk kısımlardakinden daha yüksek ve daha hızlı hareket ettiği görülür. Bu nedenle elektron yoğunluğu sıcak uçta düşüken soğuk uçta yüksektir. Sıcaklığın düşük ve yüksek olduğu kısımlardaki elektron yoğunluklarının farklı olması potansiyel farkının ortaya çıkmasına neden olur (URL-105, 2020).

Davranışını etkileyen parametreler arasında sıcaklık değeri gösterilebilir. Uzun vadeli işlevselliğini sağlamak için, belirli bir ürün için belirtilenlerin üzerindeki sıcaklıklara maruz bırakılmamalıdır (Ritter, 2007).

Termoelektrik jeneratörler filmin kalınlığına bağlı olarak ince film TEJ’ler, kalın film TEJ ’ler veya makro TEJ ’ler olarak sınıflandırılabilirler (Ritter, 2007).

Uzay endüstrisinde kullanımı görülmektedir (Ritter, 2007) . Mimarlıkta, termoelektrik jeneratörler ilgi çekmektedir (Yağlı, 2019). Fakat bu ürünlerin mimariye yansması henüz yeterli ölçekte değildir. İlk kullanıcılar arasında NASA ve ABD ordusu

bulunmaktadır. Günümüzde arama, yanma süreçlerinden veya güneş radyasyonundan kaynaklanan atık ısıyı kullanabilen termoelektrikler içindir (Ritter, 2007).

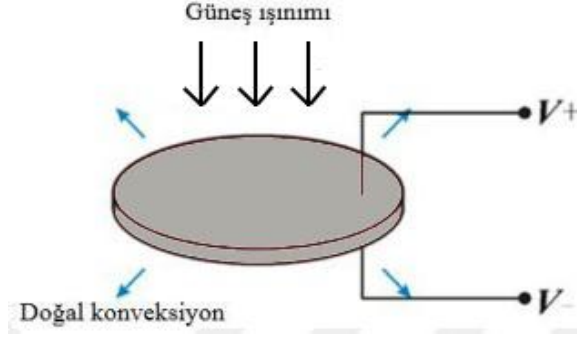
Danimarka'daki Kopenhag Etkileşimli Tasarım Enstitüsü öğrencileri bu teknolojiyi mobilya tasarımında kullanmıştır. Yemek masasına entegre termoelektrik jeneratör üzerine konulan sıcak yiyecek ve içeceklerin oluşturduğu sıcaklık farkı ile enerji üretmekte, ayrıca telefon ve dizüstü bilgisayarlar kablosuz bir şekilde şarj edilebilmektedir (URL-106, 2020).

Enerji ile ilişkisine bakıldığında, termoelektrik malzemeler yapı kabuğunda kullanımı ile iç ve dış ortam arasındaki sıcaklık farkını kullanarak enerji üretme potansiyeline sahiptir (Orhon, 2012). Uygun şekilde yapılandırıldıklarında, camlı yapının içinde sıcaklıklar çok yükseldiğinde bağımsız olarak aktif soğutma için elektrik akımı üretebilirler (Ritter, 2007).

2.3.2.4. Piroelektrik Malzemeler (Pyroelectric) (PE)

Piroelektrik etki, bir malzemedeki sıcaklık değişikliğinin bir elektrik yükü salımına neden olmasıdır. İlk olarak M.Ö. 315'de Theophrastus tarafından tarif edilirken yüzyıllar boyunca fiziksel olarak gözlemlenebilir bir olgu olarak bilinmektedir. Piroelektrikliğin keşfi çok eskiye dayansa da teknolojik uygulamaları sadece 1960'lardan beri yoğunluk kazanmıştır (Whatmore, 1986). Isıtıldığında veya soğutulduğunda yüzeyde elektrik yükleri üretebilen malzemeler piroelektrik etkiye sahip malzemeler olarak tanımlanmaktadır. sıcaklık değişim hızına bağlı olarak üretilen elektrik şiddeti de değişmektedir (URL-107, 2020).

Bazı malzemelere ısı uygulandığında pozitif ve negatif yükler malzemenin zıt uçlarına doğru hareket ederler. Piroelektrik malzemelerin de çalışma prensibi, ısıtılmaya devam etmesi sonucunda statik elektrik oluşmasına dayanmaktadır. Bu özellikten yararlanılarak çeşitli aygıtlardan elektrik akımı elde edilebilmektedir (Şekil 40) (Yağlı, 2019).



Şekil 40. Piroelektrik malzeme çalışma prensibi (Zhang, 2011).

Piroelektrik malzeme ile üretilen elektrik miktarı karşılaştırılmış, sonuçta 20K sıcaklıkta malzeme 80V elektrik üretmiş, 50K sıcaklıkta ise 200V elektrik üretmiştir (Zhang vd., 2016). Enerji üretiminde elde edilecek verim, malzemenin çalışmasında uyarıcı görevi yapan sıcaklığın yüksek olmasına bağlıdır. Malzemelerin kullanım ömrü uzundur (Yağlı, 2019).

Piroelektrik özellik kuvars, turmalin, triglisin sülfat, PVDF (polivinilidinden florid) ve kurşun zirkonat ile elde edilebilir (Yazıcı, Alp, Yılmaz, Celep, & Vieil, 2004).

Sağlık sektöründe iç yaralanma, iltihap ve damar tıkanıklarının tespitinde), savunma sanayi sektöründe savaş uçaklarına yerleştirilmiş bu sensörler hedeflerin vücut sıcaklığı sayesinde tespiti yapılmakta piroelektrik malzemenin kullanıldığı alanlardır. Birçok alanda kullanılan termal sensörlerin yapımında piroelektrik malzeme kullanılmaktadır (URL-108, 2020). Piroelektrik malzemeler, döşeme, çatı ve duvar yüzeylerinde termal sensör olarak kullanılmaktadır (Yağlı, 2019).

Enerji ile ilişkisine bakıldığında, piroelektrik malzemeler ısıtıldıklarında elektrik potansiyeli oluşturan malzemeler oldukları için teorik olarak; gün içinde ısınıp soğuyan yapı kabuğu bileşenlerinde entegre malzeme olarak kullanılması durumunda elektrik üretebilen dolayısı ile enerji etkinliğine katkı sağlayabilen sistemler oluşturabilmektedir (Orhon, 2013b).

2.3.2.5. Faz Değiştiren Akıllı Malzemeler (Isı Depolayan) (PCM/Phase Change Material)

Materyaller farklı fiziksel hallerde bulunurlar bunlar katı, sıvı ve gaz halleridir. Faz değiştiren malzemeler de farklı hallerde yani fazlardadır. FDM'nin çalışma prensibi sıcaklık ya da basınçta meydana gelen bir değişiklikle materyalin bir durumdan diğer duruma geçmesi sırasında sürekli olarak büyük miktarda enerjinin gizli ısı şeklinde emilmesi, depolanması veya serbest bırakılmasına dayanmaktadır. Materyal katı durumdan sıvı duruma ve daha sonra gaz durumuna geçtiğinde büyük miktarda enerji emilimi gerçekleşmekte, gaz durumundan sıvı durumuna ve daha sonra katı durumuna geri döndüğünde büyük miktarda enerji açığa çıkmaktadır. Bu işlemler geri dönüşümlüdür ve faz değiştiren malzemeler bozulma olmadan neredeyse sınırsız sayıda dönüşüme maruz kalabilmektedir (Şekil 41) (Addington ve Schodek, 2005).



Şekil 41. Faz değiştiren malzemeler çalışma prensibi (Sarı A. , 2011).

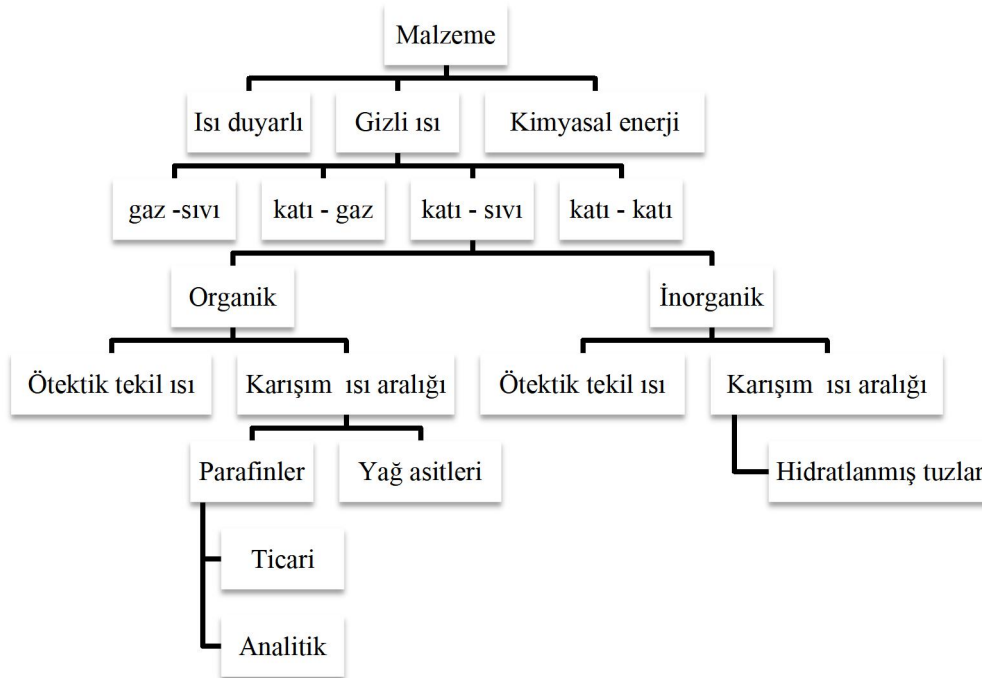
Faz değişimleri gaz-sıvı, katı-gaz, katı-sıvı ve katı-katı gibi çeşitlilik gösterse de ısı depolamaya en uygun olanlar katı-katı ya da katı-sıvıdır. Farklı içerikli FDM'ler olsa da yapı malzemelerinde düşük çözünürlükleri ve su içerisinde neredeyse hiç çözünmemeleri nedeniyle parafirik hidrokarbonlar, yağ alkoller ve yağ asitleri genel olarak tercih edilmektedir (Zalba vd., 2003; Özönur, 2004)

Eğer materyalin bünyesindeki sıcaklık değişimi ile ısı depolanıyorsa buna duyulur ısı depolama, eğer materyal faz değiştirirken çevreden aldığı ısı depolanıyorsa buna gizli ısı

depolama yöntemi denir. Gizli ısı depolama yöntemi, duyulur ısı depolama yöntemine göre daha yaygın kullanıma sahiptir (Özonur, 2004).

Faz değiştiren malzemeler ısı yönteminin alt kollarından biri olan gizli ısı (maddenin faz değişimi sırasında çevresinden aldığı veya verdiği ısı) depolama yöntemi ile termal enerjiyi depolamaktadır (Özonur, 2004).

FDM'ler kimyasal yapılarına göre iki ana kategoriye ayrılır; organik ve inorganikler (Şekil 42). Her iki kategorideki FDM'lerin yapı kullanımının termal, fiziksel, kimyasal, çevresel ve ekonomik noktalarda avantaj ve dezavantajları vardır (Tablo 72 ve 73).



Şekil 42. Enerji depolayan malzemeler (Zalba, Marın, Cabeza, & Mehling, 2003).

Tuz hidratları ve klatrat hidratları inorganik FDM'lere örnektir. Erime sıcaklıkları 5°C-130°C arasındadır. 'Avantajları; yüksek ergime ısısına sahip olma, termal iletkenliğe sahip olma, ucuz olma ve yanıcı olmamalarıdır. Dezavantajları; korozif olmaları, aşırı soğuma göstermeleri, faz bozulmasına uğrayabilmeleridir.' (Coşkuner, 2018).

Tuz hidratlı mikrokapsüllenmiş FDM ile oluşturulan ışık geçirimli cam sistemleri dış cephelerde ve iç duvarlarda kullanılarak pasif iklimlendirmeye katkı sağlamaktadır. Detaylandırmanın görece kolay olması ve geleneksel cam sistemleri ile

birleştirilebilirlikleri nedeniyle pazar payları büyük potansiyel taşırken, geleneksel izolasyon camlarıyla kıyasla yüksek üretim ve kurulum maliyetleri söz konusudur (Addington ve Schodek, 2005).

Parafinler ve yağ asitleri organik FDM'lere örnektir (Addington ve Schodek, 2005).

'Avantajları; kimyasal yönden kararlı, genel olarak az veya hiç aşırı soğuma göstermemesi, korozif ve toksik olmamaları, yüksek ergime ısı ve düşük buhar basıncı göstermeleridir.

Dezavantajları; düşük termal iletkenlik, faz değişimi sırasında büyük hacim değişimi göstermeleri ve yanıcı olmalarıdır.' (Coşkuner, 2018).

Organik FDM'ler parafinler ve parafin özelliği olmayanlardan oluşmaktadır. Erime sıcaklığı -5°C ile 60°C arasında olan FDM'ler iklime uyumu nedeniyle dünyanın neredeyse her yerinde kullanılabilir (Coşkuner, 2018). Organik FDM'ler uzun süreli stabiliteleri, uygulama kolaylığı ve mikrokapsülleme imkanları ile bugüne kadar en yaygın çözüm olmuştur (Casini, 2016).

Tablo 72. Faz değiştiren malzemelerin karşılaştırılması (Koşan ve Aktaş, 2018).

FDM'ler	Avantajları	Dezavantajları
Organik	Isıl kararlılık Aşırı soğumadan donma Düşük buhar basıncı Özgün çekirdekleşme Reaktif ve zehirli değil Uyumlu erime Düşük hacim değişikliği Geleneksel malzeme uyumu Geniş çalışma sıcaklık aralığı	Sıvı FDM sızması Düşük termal iletkenlik Yanıcı
İnorganik	Gizli ısı depolama kapasitesi Yanıcı değil Düzensiz faz değişimi Yüksek termal iletkenlik	Aşırı soğumaya yatkın Ayrışma Uyumsuz erime Metal ile korozif Faz döngülerinde faz ayrılma Yüksek hacim değişikliği
Ötektik	Keskin erime noktaları Özellikleri uyarlanabilir	Maliyet Termofiziksel özelliklerinde sınırlı veriler

Tablo 73. Organik ve inorganik malzemelerde ısı depolamanın karşılaştırılması (Zalba vd., 2003).

FDM	Avantajları	Dezavantajları
Organik	Korozif olmayan Düşük ya da olmayan soğuma Kimyasal ve termal stabilite	Düşük faz değişim entalpisi Düşük termal iletkenlik Yanıcı
İnorganik	Daha büyük faz değişim entalpisi	Aşırı soğumaya yatkın Korozif Faz ayrışması Termal stabilite yok

FDM'lerin davranışı birçok parametreye dayanmaktadır bunlar; güneş radyasyonu, ortam sıcaklığı, iç ortam termal yükleri gibi iklim varyasyonları, yapı kullanımı ve özellikleri, gölgeleme elemanları gibi tasarım varyasyonları ve seçilen FDM türü, miktarı, konumu gibi parametrelerdir. Özellikle uygun FDM seçimi için tanımlanacak parametreler; faz geçiş sıcaklık aralığı, gizli ısı depolaması ve termal iletkenliktir. Tüm FDM'lerin değişim sıcaklığı hemen hemen aynı aralıktadır fakat iç ortam konfor koşulları için bu aralık 21.7°C -27.0°C olarak belirlenmektedir (Casini, 2016).

FDM'ler termal enerji depolama yöntemleri ve kimyasal yapılarına göre iki farklı şekilde sınıflandırılabilir. Termal enerji depolama yöntemleri ısıl yöntem ve kimyasal yöntem olarak iki ana kola ayrılmaktadır (Özonur, 2004).

FDM'ler yapı sektörü, elektrik elektronik ve bilgisayar mühendisliği, gıda ve tarım sektörü, uzay ve ulaşım sektörleri, tıpta ve güneş enerjisi santralleri gibi birçok sektörde kullanılmaktadır (Zalba vd., 2003).

FDM'ler, büyük miktarda enerji tasarrufu sağlaması, istenilen sıcaklık aralığında etkinleşmesi, faz değişimi sırasında hacim değişikliğinin yüksek olmaması, çok sayıda tekrarlanan faz değişimine rağmen bozulmaması, yanıcı, patlayıcı ya da toksik olmaması ve korozif olmaması gibi özgünleşen özellikleriyle yapı elemanlarında kullanıma uygun olması nedeni ile tercih edilmektedir (Tablo 74) (Ayvaz, 2019). Son on yıldır FDM teknolojisindeki gelişmeler yapı sektöründe önemli bir yere sahiptir. Piyasada çeşitli ham, ara ve son ürünler mevcuttur. FDM'lerin yapıda, HVAC sistemleri, duvar, tavan, döşeme ve camlar gibi farklı kullanım alanları bulunmaktadır. Özellikle, beton, harç karışımları, kuru duvar (alçıpan, alçı paneller), kompozit paneller, tavan ve yer karoları, yalıtım malzemeleri, beton tuğla ve camlar gibi yapı elemanları ve malzemelerine entegre

edilmiştir. Yapının enerji performansını arttırmak için hem yeni yapılarda hem de yapılarda iyileştirme projelerinde kullanılmaktadır (Casini, 2016).

Tablo 74. Enerji depolayan malzemelerin belirgin özellikleri (Zalba vd., 2003).

Termal	Fiziksel	Kimyasal	Ekonomik
Uygulamaya bağlı faz değişim sıcaklığı	Düşük yoğunluklu değişimi	Stabilite	Ucuz ve yaygın
Kullanım ısısında yüksek entalpi değişimi	Yüksek yoğunluk	Faz ayrışması yok	
Hem sıvı hem katı fazlarda termal iletkenlik yüksek	Düşük ya da olmayan soğuma	Toksik, yanıcı, kirletici değil	

FDM'ler makro kapsülleme, daldırma ve doğrudan birleştirme olmak üzere üç genel yöntem kullanılarak geleneksel yapı malzemelerine entegre edilebilmektedir. FDM'ler yapı malzemelerine entegre edildiklerinde donma ve erime sıcaklıklarında bir miktar değişme eğilimi göstermektedir (Kosny, 2015). Doğrudan birleştirme; toz veya sıvı FDM'lerin üretim sırasında sıva, beton veya alçı içeren yapı malzemelerine dahil edildiği basit bir tekniktir. Fakat bu yöntem uyumsuzluklara ve sızıntıya sebebiyet verebilmektedir. Daldırma tekniğinde beton, tuğla veya alçı gibi malzemeleri, eritilmiş FDM'lere daldırılır. Bu teknikte uzun süreli kullanımda kaçak sorunları oluşmaktadır. Kapsülleme işleminde diğer yöntemlere göre verimi artırılan FDM'lerin küre ya da küplere kapsüllemesi söz konusudur. Bu yöntem sıvı FDM'yi tutmak ve çevre ile reaksiyona girmesi sonucu oluşabilecek problemleri çözmek için iyi bir çözümdür (Kosny, 2015). Kapsüllemiş bir faz geçiş malzemesi, bir yapının tavan, zemin ve duvarlarındaki ısı enerjisinin korunumunu arttırmaktadır. FDM kullanımı güneş enerjisini emmeyi ve yapının iç sıcaklığını uzun süre korumayı hedeflemektedir (Kosny, 2015). FDM'lerin doğrudan kullanımı da mümkündür fakat parafinin kapsüllemesinde gözenekli yapıdan sızması daha verimli çözüm olan MFDM kullanımına yani kapsüllemiş FDM'ye yönelimi arttırmıştır (Beyhan vd., 2016).

Enerji ile ilişkisine bakıldığında, güneş enerjisinden yararlanarak yapı içi ısı konforu sağlayan FDM'nin doğrudan veya mikrokapsüllemiş halinin kullanımı sonucu soğutmada %30, ısıtmada %20'ye kadar enerji tasarrufu sağlamaktadır. Seçilen FDM'lerin donma ve erime sıcaklık aralığının yapının ortalama oda sıcaklığına yakın seçilmesinin tüketilen enerjide azalmaya yardımcı olduğu deneylerle görülmektedir (Beyhan vd., 2016). FDM'ler



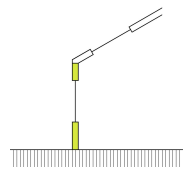
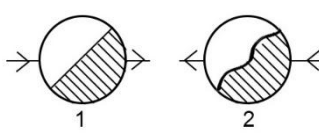
termal enerji ısı depolama ve serbest bırakma özellikleri ile hem ısıtma hem de soğutma sistemlerinde önemli kazançlar sağlamaktadır (Orhon, 2012).

FDM'ler yapılarda aktif ve pasif sistemler kapsamında kullanılabilir. Pasif sistem uygulamalarında mekanik sistem ya da cihazlara ihtiyaçları yoktur. Herhangi bir kullanıcı kontrolü olmadan uygun sıcaklık noktasına geldiğinde sıcak ya da soğuk emilimi ya da salınımı yapabilmektedir. FDM'ler ısı kazancı için yenilenebilir enerji sistemlerinin bir parçası olarak kabul edilmektedir. Aktif sistem FDM uygulamalarında sıcak ya da soğuk emilimi ya da salınımı mekanik ekipmanlar yardımıyla yapılır (Casini, 2016) . FDM'ler enerji depolama özellikleri ile mimaride ısı enerjisini depolama amacıyla yaygın olarak pasif iklimlendirmede kullanılmaktadır (Orhon, 2012).



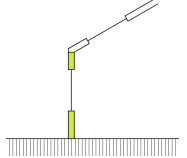
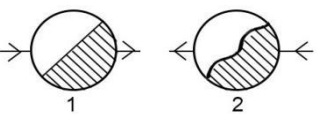
Dünyada enerji kaynaklarının kontrolsüz tüketiminin neden olduğu sera gazı etkisi küresel ısınmaya sebep olurken, tüm sektörler enerjinin hem etkin hem de yenilenebilir kaynaklardan kullanımına yönelmektedir. Yapılan araştırmalar sonucu öngörüler yapı sektöründe enerjinin etkin kullanımının %35 oranında tasarruf sağlayabileceği yönündedir. Faz değiştiren malzemeler termal enerji depolama sistemleri ile sera gazı salınımı olmadan ısıtma ve soğutmada etkin ve yenilenebilir enerji kullanımı ile yüksek potansiyele sahiptir (Beyhan vd., 2016).

Aşağıda faz değiştiren malzemelerin kullanıldığı yapı örnekleri verilmiştir Tablo (75-80).

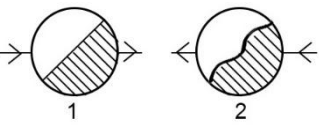
Tablo 75. Yapı künye örnek 54 (URL-109, 110 ve 111, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	54		
ADI	The ICon Innovation Centre		
İŞLEVİ	İnovasyon Merkezi		
YERİ	Daventry/ İngiltere		
YILI	-		
MİMARİ	Consarc Architects		
AÇIKLAMALAR			
Yapıdaki termal kütle eksikliğinden dolayı düşük atalet ve aşırı ısı kazanımları problemi oluşma potansiyeline karşı duvarlarda faz değiştiren malzeme kullanılmıştır. Bu durum, pahalı soğutma ve ısıtma sistemleri olmadan hızlı sıcaklık değişimlerini etkin bir şekilde kontrol etmeyi sağlar ve hem enerji tüketimini azaltır hem de iç mekan termal konfor koşullarına katkı sağlar.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Faz Değiştiren Malzemeler		
MARKASI	DuPont- Energain		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüze Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar Saydam Duvar (pencere)	●
	Çatı	Opak Çatı Saydam Çatı (çatı penceresi)	
	Diğer		
	Yüze Malzemesi	Alçı levha yüzeyi	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyarın			
	Güneş	Işık (UV) Isı (Sıcaklık) Sıcaklık Farkı	●
	Diğer	Elektrik	
Sistem			
		Pasif	●
		Aktif	
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	
		Şekil	
	Enerji Alışverişi	Adezyon	
		Işık Yayan Enerji Üreten Enerji Değiş Tokuşu	●
Konfor			
		Termal Konfor	●
		Görsel Konfor	
		Günüşiği Kontrolü (kmi, kmgk)	
		Kamaşma	
		Manzara	
		Hava Kalitesi	
		UV korunumu	



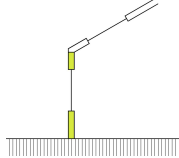
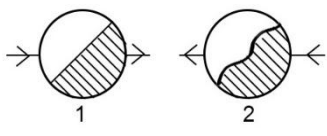
Tablo 76. Yapı künye örnek 55 (URL-112 ve 113, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	55		
ADI	Self		
İŞLEVİ	Barınma		
YERİ	Basel / İsviçre		
YILI	-		
MİMARİ	Mark Zimmermann vd.		
AÇIKLAMALAR			
Yapıda FDM ısı depolama malzemesi kullanılmaktadır. Isıya ve soğuğa karşı mükemmel bir şekilde korunur ve bu sayede hoş ve dengeli bir iç ortam iklimine sahip olmaktadır. Enerji depolama ve yayma özelliği sayesinde bir yapının genel enerji verimliliğini artırır.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Faz Değiştiren Malzemeler		
MARKASI	DuPont- Energain		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar	●
		Saydam Duvar (pencere)	
	Çatı	Opak Çatı	
		Saydam Çatı (çatı penceresi)	
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	-	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran			
	Güneş	Işık (UV)	
		Isı (Sıcaklık)	
		Sıcaklık Farkı	●
	Diğer	Elektrik	
Sistem			
		Pasif	●
		Aktif	
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	
		Şekil	
		Adezyon	
	Enerji Alışverişi	Işık Yayan	
		Enerji Üreten	
		Enerji Değiş Tokuşu	●
Konfor			
	Termal Konfor		●
	Görsel Konfor	Günüşiği Kontrolü (kmi, kmgk)	
		Kamaşma	
		Manzara	
	Hava Kalitesi		
	UV korunumu		


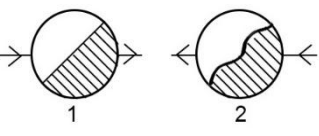
Tablo 77. Yapı künye örnek 56 (URL-114, 115 ve 116 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	56		
ADI	SARL Busipolis		
İŞLEVİ	Ticari / Ofis		
YERİ	Metz / Fransa		
YILI	2010		
MİMARİ	-		
AÇIKLAMALAR			
500 m ² 'den fazla faz değiştiren malzeme panosu içermektedir. Gerekli termal ataleti sağlamak ve yapıdaki konforu arttırmak için asma tavanlarda da kullanılmıştır. FDM, aşırı güneş kazançlarını emmek için tampon olarak kullanılmak, dış ortam hava koşullarındaki değişikliklerin etkisini azaltmak, enerji tüketim faturası ve karbon ayak izi azalmak, pasif çözüm olmak için kullanılmıştır.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Faz Değiştiren Malzemeler		
MARKASI	DuPont- Energain		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar	●
		Saydam Duvar (pencere)	
	Çatı	Opak Çatı	
		Saydam Çatı (çatı penceresi)	
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Alçı levha yüzeyi	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran			
	Güneş	Işık (UV)	
		Isı (Sıcaklık)	
		Sıcaklık Farkı	●
	Diğer	Elektrik	
Sistem			
		Pasif	●
		Aktif	
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	
		Şekil	
	Enerji Alışverişi	Adezyon	
		Işık Yayan	
		Enerji Üreten	
		Enerji Değiş Tokuşu	●
Konfor			
	Termal Konfor		●
	Görsel Konfor	Günüşiği Kontrolü (kmi, kmgk)	
		Kamaşma	
		Manzara	
	Hava Kalitesi		
	UV korunumu		



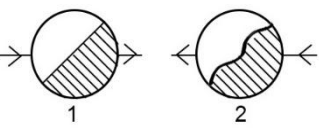
Tablo 78. Yapı künve örnek 57 (URL-115, 116, 117 ve 118, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	57		
ADI	Crossway Eco Evi		
İŞLEVİ	Barınma		
YERİ	Staplehurst - Kent / İngiltere		
YILI	2008		
MİMARİ	Richard Hawkes		
AÇIKLAMALAR			
Yaklaşık 127 m ² 'lik FDM'nin yapıda iki yıllık kullanımı boyunca yapılan analiz sonucu, iç mekanda yaz tepe sıcaklıklarının ortalama 4 derece azalmasına yardımcı olduğu görülmektedir. Yapının iç mekanında termal konfor sağlamaktadır.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Faz Değiştiren Malzemeler		
MARKASI	DuPont- Energain		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar	●
		Saydam Duvar (pencere)	
	Çatı	Opak Çatı	
		Saydam Çatı (çatı penceresi)	
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	-	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran			
	Güneş	Işık (UV)	
		Isı (Sıcaklık)	
		Sıcaklık Farkı	●
	Diğer	Elektrik	
Sistem			
		Pasif	●
		Aktif	
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	
		Şekil	
		Adezyon	
	Enerji Alışverişi	Işık Yayan	
		Enerji Üreten	
		Enerji Değiş Tokuşu	●
Konfor			
	Termal Konfor		●
	Görsel Konfor	Günüşiği Kontrolü (kmi, kmgk)	
		Kamaşma	
		Manzara	
	Hava Kalitesi		
	UV korunumu		

Tablo 79. Yapı künye örnek 58 (URL-119 ve 120, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	58		
ADI	Marche		
İŞLEVİ	Ticari / Ofis		
YERİ	Winterthur / İsviçre		
YILI	2007		
MİMARİ	Beat Kämpfen Mimarlık		
AÇIKLAMALAR			
Yapı cephesinde kullanılan malzeme, dört işlevi tek bir birime entegre eder. Bunlar; şeffaf yalıtım, aşırı ısınma koruması, enerji dönüşümü ve termal depolamadır. Yapıda öteki enerji etkin önlemlerle birlikte faz değiştiren malzeme içeren cam sistemi de kullanılmıştır. Kullanılan faz değiştiren malzemenin enerji depolama kapasitesi yaklaşık 20 cm betonun kapasitesine eşdeğer niteliktedir. Oluşturulan bu sistem %50 oranında ışık geçirgenliğine sahip bir duvara dönüşmektedir.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Faz Değiştiren Malzemeler		
MARKASI	GlassX- SaintGobain		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar	
		Saydam Duvar (pencere)	●
	Çatı	Opak Çatı	
		Saydam Çatı (çatı penceresi)	
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	Katkılı Cam	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran			
	Güneş	Işık (UV)	
		Isı (Sıcaklık)	
		Sıcaklık Farkı	●
	Diğer	Elektrik	
Sistem			
		Pasif	●
		Aktif	
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	
		Şekil	
		Adezyon	
	Enerji Alışverişi	Işık Yayan	
Enerji Üreten			
Enerji Değiş Tokuşu		●	
Konfor			
	Termal Konfor		●
	Görsel Konfor	Günüşiği Kontrolü (kmi, kmgk)	
		Kamaşma	
		Manzara	
	Hava Kalitesi		
	UV korunumu		

Tablo 80. Yapı künye örnek 59 (URL-121 ve 122, 2020).

YAPIYA AİT BİLGİLER			
ÖRNEK NO	59		
ADI	Wilo Nederland Sanayi		
İŞLEVİ	Ticari / Ofis		
YERİ	Westzaan / Hollanda		
YILI	2009		
MİMARİ	Bentham Crowel Architects		
AÇIKLAMALAR			
Çelik çatıdaki faz değiştiren malzeme, esas olarak iç ortamların çok hızlı ısınmasını veya aşırı ısınmasını önlemek içindir. FDM, çatı konstrüksiyonunun kütlesinin sadece %4'üdür, ancak bu %4, termal kütlenin iki katına çıkmasına neden olur. Böylece termal konfora katkı sağlamaktadır.			
MALZEMEYE AİT BİLGİLER			
TÜRÜ	Faz Değiştiren Malzemeler		
MARKASI	BASF		
			
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi			
	Cephe	Opak Duvar	
		Saydam Duvar (pencere)	
	Çatı	Opak Çatı	●
		Saydam Çatı (çatı penceresi)	
	Diğer		
	Yüzey Malzemesi	FDM Katkılı Beton	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyarın			
	Güneş	Işık (UV)	
		Isı (Sıcaklık)	
		Sıcaklık Farkı	●
	Diğer	Elektrik	
Sistem			
		Pasif	●
		Aktif	
Davranış			
	Nitelik Değişimi	Renk Optik	
		Şekil	
	Enerji Alışverişi	Adezyon	
		Işık Yayan	
		Enerji Üreten	
		Enerji Değiş Tokuşu	●
Konfor			
	Termal Konfor		●
	Görsel Konfor	Günüşiği Kontrolü (kmi, kmgk)	
		Kamaşma	
		Manzara	
	Hava Kalitesi		
	UV korunumu		

Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi

- Elektrokromik malzeme cam malzemelerde katmanlı bir sistem oluşturacak şekilde uygulanmaktadır.
- Yapı kabuğunda cephe ve çatıda pencere olarak kullanılmıştır.

Girdi Enerjisi/ Dış Uyarın

- Girdi enerjisi elektriktir.

Sistem

- Aktive olmak için dışarıdan bir müdahaleye ihtiyaç duyduklarından dolayı aktif sistemlerdir.
- Etkinleştirme için ihtiyaç duydukları enerji oldukça küçük miktardadır.

Davranış

- İncelenen elektrokromik malzemenin güneşin en yoğun saatlerinde uyarın (elektrik) karşısında davranış olarak renk-optik (nitelik) değişimi gösterdiği belirlenmiştir. Elektrik akımı kesildiğinde cam tekrar şeffaf haline döner yani bu malzemeler tersinir çalışır. Gün boyunca güneş hareketine otomatik yanıt vererek kararır veya berraklaşır.
- Camın renklendirme (kararma) süreci, ışık sensörleri ile otomasyon sistemi kullanılarak kontrol edilebileceği gibi, ayrıca gerektiğinde manuel olarak da kontrol edilebilir. Bu alternatif, tasarımcı için tercih potansiyeli oluşturmaktadır.

Güneş Enerjisinin Yapıda Değerlendirilmesi

- İncelenen örnekler malzemenin kullanım amacının, termal, görsel konfor ve UV korunum sağlama olduğu tespit edilmiştir. Ele alınan yapıların işlevlerinin restoran, alışveriş merkezi, hastane ve havalimanı olmasının bu malzemenin tercih edilmesinde önemli olduğu düşünülmüştür.
- Termal konfora katkıyı, kontrolsüz güneş ışığının iç ortama alınmasının sebep olduğu aşırı ısınmayı kontrollü günışığı optimizasyonu ile sağlamaktadır. Böylece soğutma gereksinimlerinde azalma sağlamaktadır.

- Literatürde elektrokromik malzemenin kamaşma problemine çözüm getiremedikleri ifade edilse de sahada üretici firmaların bu sorunu çözdüğü görülmektedir¹⁰.
- Görsel konfora, günışığı ve kamaşma (parlama) kontrolü ve kesintisiz manzara ile katkı sağlamaktadır. İç ortamda dengeli bir günışığı seviyesi, parlamanın önlenmesi, kullanıcının verimini ve konforunu arttırmaktadır.
- Elektrokromik camlar sadece yeni projelerde değil, iyileştirme projelerinde de kullanılmaktadır. Yapı ömrünün her aşamasında entegrasyonu mümkündür.
- Gün ışığı aydınlık düzeyine göre kendini ayarlaması yapı aydınlatma yükünü düşürebilmektedir.
- Literatürde yapılarda kullanılan ek güneş kontrol elemanlarının enerji etkinliğini arttırdığı söylenmektedir. Elektrokromik malzemeler¹¹, ise ek güneş kontrol elemanlarına ihtiyaç duymadan gölgeleme yapabilmektedir.
- UV ışınlarını bloke eder. İç ortamda mobilya ya da eşyaların UV ışınından zarar görmesini engeller ve ömürlerini arttırır.
- Termal ve görsel konfora sağladığı ısı ve aydınlatma amaçlı katkılar, HVAC için gerekli enerji yükünü azaltmaktadır.

¹⁰ İlgili malzeme Saint Gobain firmasının SageGlass elektrokromik cam ürünüdür.

¹¹ İlgili malzeme Saint Gobain tarafından üretilen SageGlass markalı elektrokromik malzeme için yapılmış değerlendirmedir.

3.2. Asıntı Taneciklere Sahip Malzemeler

Tablo 82. Asıntı taneciklere sahip malzemeye ait bilgiler matrisi.

MALZEMEYE AİT BİLGİLER MATRİSİ						
TÜRÜ		SPD				
		NO				
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi		9	10	11	12	S
Cephe	Opak Duvar					
	Saydam Duvar (pencere)	●	●	●	●	●
Çatı	Opak Duvar					
	Saydam Duvar (pencere)				●	●
Diğer	Uygulama Potansiyeli					
Yüzey Malzemesi	Cam					
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran						
Güneş	Işık (UV)					
	Isı (Sıcaklık)					
	Sıcaklık Farkı					
Diğer	Elektrik	●	●	●	●	●
Sistem						
	Pasif					
	Aktif	●	●	●	●	●
Davranış						
Nitelik Değişimi	Renk Optik	●	●	●	●	●
	Şekil					
	Adezyon					
Enerji Alışverişi	Işık Yayan					
	Enerji Üreten					
	Enerji Değiş Tokuşu					
Konfor						
Termal Konfor		●	●	●	●	●
Görsel Konfor	Güneş Kontrolü	●	●	●	●	●
	Kamaşma	●	●	●	●	●
	Manzara					
Hava Kalitesi						
UV korunumu		●	●	●	●	●

Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi

- Elektrooptik özellik cam malzemeye uygulanmaktadır.
- Yapı kabuğunda cephe ve çatıda pencere olarak kullanılmıştır.
- Ele alınan yapıların işlevlerinin laboratuvar, mağaza ve pavilyon olmasının konfor koşullarının yanı sıra mahremiyet de sağlayabilmesinden ötürü bu malzemenin hangi amaçla tercih edildiğinin önemli olduğu düşünülmüştür.

Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran

- Girdi enerjisi elektriktir.

Sistem

- Aktive olmak için dışarıdan bir müdahaleye ihtiyaç duyduklarından dolayı aktif sistemlerdir.

Davranış

- Uyaran (elektrik) karşısında tersinir bir şekilde davranış olarak renk-optik (nitelik) değişimi gösterir. Voltajın uygulanmasıyla polimerik tanecikler hizalanarak ışık geçişine izin vermektedir. Aksi takdirde cam opak olarak kalır.
- Camın renklendirme (kararma) süreci, ışık sensörleri ile otomasyon sistemi kullanılarak kontrol edilebileceği gibi, ayrıca gerektiğinde manuel olarak da kontrol edilebilir¹². Bu alternatif, tasarımcı için tercih potansiyeli oluşturmaktadır.
- Malzemenin voltaj uygulanmadığı zamanlar tam opaklaşması, manzaranın kesilmesine neden olmaktadır.

Güneş Enerjisinin Yapıda Değerlendirilmesi

- İncelenen örneklerde malzemenin kullanım amacının, termal ve görsel konfor sağlama olduğu tespit edilmiştir.
- Termal konfora katkıyı, kontrolsüz güneş ışığının iç ortama alınmasının sebep olduğu aşırı ısınmayı kontrollü gün ışığı optimizasyonu ile sağlamaktadır. Böylece soğutma gereksinimlerinde azalma sağlamaktadır.
- Görsel konfora, gün ışığı ve kamaşma (parlama) kontrolü ile katkı sağlamaktadır. İç ortamda dengeli bir gün ışığı seviyesi, parlamanın önlenmesi, kullanıcı için önemlidir.

¹² İlgili malzeme SPD-SmartGlass markalı asıntıparçacıklı malzeme için yapılmış değerlendirmedir.

- Görsel konfor için ayrıca bir panjur ya da gölgeleme sistemine ihtiyaı ortadan kaldırmaktadır ki bu ihtiyaç geleneksel camlarda maliyete sebep olmaktadır.
- UV ışınlarını bloke eder. İç ortamda mobilya ya da eşyaların UV ışınından zarar görmesini engeller ve ömürlerini artırır.
- Ayrıca malzeme yapı ömrünün her aşamasında yapıya entegre edilebilir.



3.3. Polimer İçerisine Dağılmış Sıvı Kristal İçeren Malzemeler

Tablo 83. Polimer içerisine dağılmış sıvı kristal içeren malzemeye ait bilgiler matrisi.

MALZEMEYE AİT BİLGİLER MATRİSİ		
TÜRÜ		PDLC
		NO
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi		S
Cephe	Opak Duvar	
	Saydam Duvar (pencere)	
Çatı	Opak Duvar	
	Saydam Duvar (pencere)	
Diğer	Uygulama Potansiyeli	●
Yüzey Malzemesi	Cam	
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran		
Güneş	Işık (UV)	
	Isı (Sıcaklık)	
	Sıcaklık Farkı	
Diğer	Elektrik	●
Sistem		
	Pasif	
	Aktif	●
Davranış		
Nitelik Değişimi	Renk Optik	●
	Şekil	
	Adezyon	
Enerji Alışverişi	Işık Yayan	
	Enerji Üreten	
	Enerji Değiş Tokuşu	
Konfor		
Termal Konfor		
Görsel Konfor	Günüşiği Kontrolü	
	Kamaşma	
	Manzara	
Hava Kalitesi		
UV korunumu		

Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi

- Yapı kabuğunda kullanımına rastlanmamıştır fakat cam yüzeylerle kullanımı potansiyel olarak mümkündür.

Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran

- Girdi enerjisi elektriktir.

Sistem

- Aktive olmak için dışarıdan bir müdahaleye ihtiyaç duyduklarından dolayı aktif sistemlerdir.

Davranış

- İncelenen literatür örneklerinde uyaran elektrik karşısında davranıl olarak renk-optik (nitelik) değişimi gösterir. Elektrik akımı verildiği sürece şeffaf kalan camlar akım kesilince opaklaşmaktadır. Sistem tersinir çalışmaktadır.

Güneş Enerjisinin Yapıda Değerlendirilmesi

- Yapı kabuğunda kullanım amacı güneş enerjisinden korunuma potansiyel katkı sağlaması, termal ve görsel konfor sağlaması olabilir. Fakat gözlem yapılacak örnek kullanımı görülmemiştir.

3.4. Fotokromik Malzemeler

- Örnek bir prototiptir.

Tablo 84. Fotokromik malzemeye ait bilgiler matrisi.

MALZEMEYE AİT BİLGİLER MATRİSİ			
TÜRÜ		PC	
		NO	
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi		13	S
Cephe	Opak Duvar		
	Saydam Duvar (pencere)	●	●
Çatı	Opak Duvar		
	Saydam Duvar (pencere)		
Diğer	Uygulama Potansiyeli		●
Yüzey Malzemesi	Cam		
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran			
Güneş	Işık (UV)	●	●
	Isı (Sıcaklık)		
	Sıcaklık Farkı		
Diğer	Elektrik		
Sistem			
	Pasif	●	●
	Aktif		
Davranış			
Nitelik Değişimi	Renk Optik	●	●
	Şekil		
	Adezyon		
Enerji Alışverişi	Işık Yayan		
	Enerji Üreten		
	Enerji Değiş Tokuşu		
Konfor			
Termal Konfor		●	●
Görsel Konfor	Güneşli Kontrolü	●	●
	Kamaşma	●	●
	Manzara	●	●
Hava Kalitesi			
UV korunumu		●	●

Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi

- Yapı kabuğunda bulunan örnek yapılarda saydam duvarda (pencere) ve saydam çatılarda (çatı penceresi) teorik kullanımı görülmektedir.
- Fakat ürün çeşitliliği yapı kabuğunda farklı kullanım potansiyeli olduğunu göstermektedir.

Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran

- Girdi enerjisi ışıktır (UV).

Sistem

- Aktive olmak için dışarıdan bir müdahaleye ihtiyaç duymadıklarından dolayı pasif sistemlerdir.

Davranış

- İncelenen teorik örnekte fotokromik malzeme güneşin en yoğun saatlerinde uyaran güneş ışığı (UV) karşısında davranış olarak renk-optik (nitelik) değişimi gösterir. Gün boyunca güneş hareketine otomatik yanıt vererek kararır veya berraklaşır. Sistem tersinir çalışmaktadır.

Güneş Enerjisinin Yapıda Değerlendirilmesi

- Yapı kabuğunda kullanım amacı güneş enerjisi etkileşimiyle, termal ve görsel konfor sağlamasıdır.
- Termal konfora katkıyı, fotokromik camların çalışma prensibine göre; yani karararak iç ortama yeterli aydınlık seviyesini sağlarken gün ışığı geçişini azaltması ile soğutma gereksinimlerinde azalma sağlamaktadır.
- İç ortama kontrollü ışık alarak görsel konfora katkı sağlar.

3.5. Termokromik Malzemeler

Tablo 85. Termokromik malzemeye ait bilgiler matrisi.

MALZEMEYE AİT BİLGİLER MATRİSİ								
TÜRÜ		TC						
		NO						
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi		14	15	16	17	18	19	S
Cephe	Opak Duvar							
	Saydam Duvar (pencere)	●	●	●	●	●	●	●
Çatı	Opak Duvar							
	Saydam Duvar (pencere)							
Diğer	Uygulama Potansiyeli							●
Yüzey Malzemesi	Cam							
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran								
Güneş	Işık (UV)							
	Isı (Sıcaklık)	●	●	●	●	●	●	●
	Sıcaklık Farkı							
Diğer	Elektrik							
Sistem								
	Pasif	●	●	●	●	●	●	●
	Aktif							
Davranış								
Nitelik Değişimi	Renk Optik	●	●	●	●	●	●	●
	Şekil							
	Adezyon							
Enerji Alışverişi	Işık Yayan							
	Enerji Üreten							
	Enerji Değiş Tokuşu							
Konfor								
Termal Konfor		●	●	●	●	●	●	●
Görsel Konfor	Güneşli Kontrolü	●		●				●
	Kamaşma	●	●	●	●	●	●	●
	Manzara	●	●	●	●	●	●	●
Hava Kalitesi								
UV korunumu		●	●	●	●	●	●	●

Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi

- Literatürde termokromik malzemenin pigment, plastik ve polimer formlarda kullanıldığı ifade edilse de, sahada yaygın olarak uygulama şekilleri cam malzeme yüzeyine uygulanmaktadır.
- Yapı kabuğunda, cephe ve çatılarda pencere olarak kullanımı görülmektedir. Fakat ürün çeşitliliği kullanım potansiyelini arttırmaktadır. Yapı kabuğunun opak bileşenlerine entegre kullanım potansiyelleri de bulunmaktadır.

Girdi Enerjisi/ Dış Uyarı

- Girdi enerjisi ısıdır (sıcaklık).

Sistem

- Pasif sistemler olmasına rağmen tercihe bağlı olarak eklenen bir sıcaklık kaynağı ile istenildiği zaman açılıp kapatılarak aktif sisteme dönüştürülebilir. Fakat bu durum, cam sistemlerinde enerji verimliliğini düşürmektedir.

Davranış

- İncelenen termokromik malzemelerin uyarı (ısı) karşısında davranış olarak renk-optik (nitelik) değişimi göstereceği belirlenmiştir. Teknoloji, doğrudan güneş ışığına yanıt olarak ton seviyesini sürekli ve otomatik olarak uyarlar. Tersinir olarak çalışırlar.

Güneş Enerjisinin Yapıda Değerlendirilmesi

- İncelenen örneklerde malzemenin kullanım amacının, termal ve görsel konfor sağlama olduğu tespit edilmiştir.
- Ele alınan yapıların işlevlerinin ofis, fakülte, sanat merkezi, konut ve havalimanı olmasının bu malzemenin kullanıcı konforunu sağlaması amacıyla tercih edilmesinde önemli olduğu düşünülmüştür.
- Ayrıca malzeme yapı ömrünün her aşamasında yapıya entegre edilebilir.
- Radyasyonu engellemesi ile iç ortamların ısınmasının önüne geçmektedir.
- Bir yapının ısıtma ve soğutma sistemlerini önemli ölçüde küçültme potansiyeline sahiptir. Bu durum HVAC sistemlerine ihtiyacı azaltacağından enerji etkinliğine katkı sağlamaktadır.

- Görsel konfora, günüışığı ve kamaşma (parlama) kontrolü ile katkı sağlamaktadır. İç ortamda dengeli bir gün ışığı seviyesi, parlamanın önlenmesi, kullanıcı için önemlidir.
- Görsel konfor için ayrıca bir panjur ya da gölgeleme sistemine ihtiyacı ortadan kaldırmaktadır ki bu ihtiyaç geleneksel camlarda işçilik ve maliyete sebep olmaktadır.
- Literatürde saydam haldeyken sıcaklığın artması ile kararmakta ve yansıtıcı özelliği artmakta fakat camda görüntünün bulanıklaşmasından bahsedilmektedir. Fakat incelenen örnek yapılar da malzemenin bu problemini/dezavantajını çözmüş ürünler mevcuttur¹³.
- UV ışınlarını bloke eder. İç ortamda mobilya ya da eşyaların UV ışınından zarar görmesini engeller ve ömürlerini arttırır.

¹³ İlgili malzeme Suntuitive markalı ürünü kesintisiz manzara sunmaktadır.

3.6. Gazokromik Malzemeler

Tablo 86. Gazokromik malzemeye ait bilgiler matrisi.

MALZEMEYE AİT BİLGİLER MATRİSİ			
TÜRÜ		GC	
		NO	
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi		20	21 S
Cephe	Opak Duvar		
	Saydam Duvar (pencere)	●	●
Çatı	Opak Duvar		
	Saydam Duvar (pencere)		● ●
Diğer	Uygulama Potansiyeli		
Yüzey Malzemesi	Cam		
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran			
Güneş	Işık (UV)		
	Isı (Sıcaklık)		
	Sıcaklık Farkı		
Diğer	Elektrik	● ● ●	
Sistem			
	Pasif		
	Aktif	● ● ●	
Davranış			
Nitelik Değişimi	Renk Optik	● ● ●	
	Şekil		
	Adezyon		
Enerji Alışverişi	Işık Yayan		
	Enerji Üreten		
	Enerji Değiş Tokuşu		
Konfor			
Termal Konfor		● ● ●	
Görsel Konfor	Güneşiği Kontrolü	● ● ●	
	Kamaşma	● ● ●	
	Manzara		
Hava Kalitesi			
UV korunumu		● ● ●	

Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi

- Gazokromik özellik cam malzemeye uygulanmaktadır.
- Yapı kabuğunda cephe ve çatıda pencere olarak kullanılmıştır.

Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran

- Girdi enerjisi elektriktir.

Sistem

- Gazokromik malzemeler, anahtar sistemi ile active edildikleri için aktif sistemlerdir.

Davranış

- Gazokromik malzeme system içerisinde özel bir gaz karışımının active edilmesi ile optic özelliklerini değiştirir. Tersinir olarak çalışır.

Güneş Enerjisinin Yapıda Değerlendirilmesi

- Görsel konfora, güneşliği ve kamaşma (parlama) kontrolüne katkı sağlamaktadır.
- Ayrıca malzeme yapı ömrünün her aşamasında yapıya entegre edilebilir.

3.7. Şekil Hafızalı Alaşım Malzemeler

- Örnek bir prototiptir.

Tablo 87. Şekil hafızalı alaşım malzemeye ait bilgiler matrisi.

MALZEMEYE AİT BİLGİLER MATRİSİ			
TÜRÜ		SMA	
		NO	
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi		22	S
Cephe	Opak Duvar		
	Saydam Duvar (pencere)	●	●
Çatı	Opak Duvar		
	Saydam Duvar (pencere)		
Diğer	Uygulama Potansiyeli		●
Yüzey Malzemesi	Çift cidarlı cam arası entegre, vb.		
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran			
Güneş	Işık (UV)		●
	Isı (Sıcaklık)	●	●
	Sıcaklık Farkı		
Diğer	Elektrik		
Sistem			
	Pasif	●	●
	Aktif		
Davranış			
Nitelik Değişimi	Renk Optik		
	Şekil	●	●
	Adezyon		
Enerji Alışverişi	Işık Yayan		
	Enerji Üreten		
	Enerji Değiş Tokuşu		
Konfor			
Termal Konfor		●	●
Görsel Konfor	Güneşli Kontrolü	●	●
	Kamaşma		
	Manzara		
Hava Kalitesi			
UV korunumu			

Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi

- Yapı kabuğunda prototiplerin cephe ve çatıda güneş kırıcı, yapı kabuğunun tamamında cephe ve çatı penceresine entegre kullanım potansiyeli vardır.

Girdi Enerjisi/ Dış Uyarı

- Girdi enerjisi ışık, sıcaklık ve elektrik gibi çeşitliliğe sahiptir.

Sistem

- Genellikle pasif olan şekil hafızalı alaşımların, aktif çalışan çeşitleri de vardır. Bir elektrik alanının uygulanması ile sıcaklık yükseltilir, sıcaklığının artırılmasıyla malzeme harekete geçer.
- Bu alternatif, tasarımcı için tercih potansiyeli oluşturmaktadır.

Davranış

- Literatürde şekil hafızalı alaşım malzemenin farklı uyarılar (ışık, sıcak, elektrik vs.) karşısında davranış olarak şekil (nitelik) değişimi gösterdiği belirtilmektedir.
- İncelenen örnekte uyarı ısıya karşı davranışını değiştirdiği belirlenmiştir.
- Şekil hafızalı alaşım dış uyarılarla şeklini, geçici deforme halinden önceden programlanmış haline dönüştürmektedir. Tersinir çalışır.

Güneş Enerjisinin Yapıda Değerlendirilmesi

- Uygulama şekilleri yapı kabuğunda mevcut olmamakla beraber prototipler ve diğer mevcut tasarımlardan yola çıkılmıştır.
- Prototip örnekte cephede saydam bir kabuk olarak kullanımı görülmektedir.
- Yapı kabuğunda havalandırma sağlayarak hava kalitesini artırma potansiyeline sahiptir. Aynı zamanda farklı sıcaklıklardaki serbest hacim değişim özelliğine dayanmaktadır.
- Yapı kabuğunda, termal ve görsel konfor sağlama potansiyeline sahiptir. Örneğin; strüktürde kullanımı, uyarı güneş enerjisi ile güneş hareketine göre açılıp kapanan gözeneklere sahip şekil hafızalı alaşım, hem iç ortamın aşırı ısınmasını hem de kontrolsüz güneş ışığı alımını önlemektedir. Yapı kabuğunda kullanımı da benzer 'potansiyellere' sahiptir.

Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi

- Yapı kabuğunda cephede ve çatıda pencere ve kaplama olarak yani tüm kabukta kullanıldığı tespit edilmiştir.

Girdi Enerjisi/ Dış Uyarı

- Girdi enerjisi ışıktır.

Sistem

- Aktive olmak için dışardan bir müdahaleye ihtiyaç duymadığından dolayı pasif sistemlerdir.

Davranış

- İncelenen fotokatalitik malzeme uyarı güneş (UV) karşısında davranış olarak adezyon (nitelik) değişimi ile reaksiyon gösterdiği belirlenmiştir.
- Uygulandığı yüzeye tutunan atıkları UV ile parçalar ve yağmurla tamamen atılmasını sağlamaktadır.

Güneş Enerjisinin Yapıda Değerlendirilmesi

- Fotokatalitik malzeme katkı boyalar, camlar, kompozitler gibi yüzeylere uygulanmaktadır.
- Ele alınan yapıların işlevlerinin ofis, müze, konut, hastane, spor salonu, tren garı, dini yapı ve pavilyon olmasının bu malzemenin tercih edilmesinde önemli olduğu düşünülmüştür.
- Yapı kabuğunda kullanımı güneş enerjisi etkileşimi sayesinde hava kalitesini arttırmaktadır.

3.9. Fotolüminesan Malzemeler

Tablo 89. Fotolüminesan malzemeye ait bilgiler matrisi.

MALZEMEYE AİT BİLGİLER MATRİSİ				
TÜRÜ		PL		
		NO		
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi		38	39	S
Cephe	Opak Duvar	●	●	●
	Saydam Duvar (pencere)			
Çatı	Opak Duvar			
	Saydam Duvar (pencere)			
Diğer	Uygulama Potansiyeli			●
Yüzey Malzemesi	Katkılı boya, vb.			
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran				
Güneş	Işık (UV)	●	●	●
	Isı (Sıcaklık)			
	Sıcaklık Farkı			
Diğer	Elektrik			
Sistem				
	Pasif	●	●	●
	Aktif			
Davranış				
Nitelik Değişimi	Renk Optik			
	Şekil			
	Adezyon			
Enerji Alışverişi	Işık Yayan	●	●	●
	Enerji Üreten			
	Enerji Değiş Tokuşu			
Konfor				
Termal Konfor				
Görsel Konfor	Güneşliği Kontrolü			
	Kamaşma			
	Manzara			
Hava Kalitesi				
UV korunumu				

Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi

- İncelenen örneklerde fotolüminesan malzemenin katkılı boya kullanımı görülmüştür. Fakat ürün bazında opak ve saydam malzemeler entegre edilebildiği görüldüğü için potansiyel olarak yapı kabuğunda tüm elemanlarda kullanılabilmesi ön görülmektedir.

Girdi Enerjisi/ Dış Uyarı

- Girdi enerjisi ışıktır.

Sistem

- Aktive olmak için dışarıdan bir müdahaleye ihtiyaç duymadıklarından dolayı pasif sistemlerdir.

Davranış

- Fotolüminesan malzeme güneş enerjisini gün boyu emer ve güneş battığında bu enerjiyi başka bir uyarana ihtiyaç duymadan yayar. Bu malzemeler yapay ışıktan da bünyesinde depolama yapabilir fakat tez kapsamında yapı kabuğunda kullanımı güneş ile etkileşimi üzerinden ele alındığı için günışığı depolaması ve yayması kapsamında irdelenmiştir.

Güneş Enerjisinin Yapıda Değerlendirilmesi

- Güneş enerjisini depolaması ve sonra dışarıya yayması ile yenilebilir enerjiyi bir formadan başka bir forma (kullanılabilir) dönüştürdüğü görülmektedir. Dolayısı ile enerji üreten bir malzemedir.
- Günışığını depolaması ve sonra yayması ile yapı aydınlatma yükünü düşürebilmektedir.

Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi

- Yapı kabuğunda cephede ve çatıda pencere ve kaplama olarak tüm kabukta kullanılmıştır.

Girdi Enerjisi/ Dış Uyarı

- Girdi enerjisi ışıktır (UV).

Sistem

- Aktive olmak için dışarıdan bir müdahaleye ihtiyaç duymadıklarından dolayı pasif sistemlerdir.

Davranış

- İncelenen fotoelektrik malzeme uyarı güneş ışınları (UV) karşısında davranış (enerji üretimi) olarak enerji ürettiği belirlenmiştir.

Güneş Enerjisinin Yapıda Değerlendirilmesi

- Fotoelektrik malzeme kaplama malzemeleri ve camlara entegre kullanımları olduğu gibi membranlar ve çatı kiremitleri olarak da kullanılmaktadır. Bu çeşitlilik tasarımcının işini kolaylaştırmaktadır.
- İncelenen örneklerin malzemenin kullanım amacının, yenilenebilir enerji kaynaklarında enerji üretmek olduğu tespit edilmiştir.
- Ele alınan yapıların işlevlerinin Müze, konut, ofis, tren istasyonu, kongre merkezi ve pavilyon olmasının bu malzemenin kullanıcı konforu sağlamak amacıyla tercih edilmesinde önemli olduğu düşünülmüştür.
- Ayrıca malzeme yapı ömrünün her aşamasında yapıya entegre edilebilir.
- Yapı kabuğunda kullanım amacı güneş enerjisinden yararlanarak yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisini elektrik enerjine dönüştürmektedir.
- HVAC sisteme katkısı sistemin ihtiyaç duyduğu enerjiyi yenilenebilir kaynaklardan olan güneşten sağlamasıdır. Bu durum enerji etkinliğine katkısını da ortaya koymaktadır.

- Güneş enerjisinden korunuma katkı sağlanması kabukta malzemenin konumu ile söz konusu olabilmektedir. Bu konulamaya örnek¹⁴; güneş pillerinin cama entegrasyonunun içeriye girecek güneş ışınlarını bir miktar engellemesi verilebilir. Böylece enerji üretmesinin yanı sıra görsel konfora katkı sağlama potansiyelleri de vardır.



¹⁴ İncelenen yapı örneklerinde geçen SwissTech Kongre Merkezi'nde güneş pillerinin iki işlevli olduğu vurgulanmakta ve enerji üretmesinin yanısıra, pasif fonksiyonu ile binaya giren ışık miktarını azaltarak iç mekan soğutma ihtiyacını bir miktar düşürdüğü belirtilmektedir.

3.11. Termoelektrik Malzemeler

- Örnek yoktur. Literatür bilgisi ile oluşturulmuştur.

Tablo 91. Termoelektrik malzemeye ait bilgiler matrisi.

MALZEMEYE AİT BİLGİLER MATRİSİ		
TÜRÜ		TE
		NO
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi		S
Cephe	Opak Duvar	
	Saydam Duvar (pencere)	
Çatı	Opak Duvar	
	Saydam Duvar (pencere)	
Diğer	Uygulama Potansiyeli	●
Yüzey Malzemesi		
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran		
Güneş	Işık (UV)	
	Isı (Sıcaklık)	
	Sıcaklık Farkı	●
Diğer	Elektrik	
Sistem		
	Pasif	●
	Aktif	
Davranış		
Nitelik Değişimi	Renk Optik	
	Şekil	
	Adezyon	
Enerji Alışverişi	Işık Yayan	
	Enerji Üreten	●
	Enerji Değiş Tokuşu	
Güneş Enerjisinin Yapıda Değerlendirilmesi		
Termal Konfor		
Görsel Konfor	Günüşiği Kontrolü	
	Kamaşma	●
	Manzara	
Hava Kalitesi		●
UV korunumu		

Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi

- Henüz bir uygulama örneği görülmesine de yüzeyleri arasında sıcaklık farkı oluşması sebebiyle yapı kabuğunda termoelektrik akıllı malzeme kullanımı potansiyele sahiptir.

Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran

- Girdi enerjisi sıcaklık farkıdır.

Sistem

- Aktive olmak için dışarıdan bir müdahaleye ihtiyaç duymadıklarından dolayı pasif sistemlerdir.

Davranış

- Termoelektrik malzeme uyaran sıcaklık farkı karşısında davranış (enerji üretimi) olarak enerji üretmektedir.

Güneş Enerjisinin Yapıda Değerlendirilmesi

- Bu malzeme Literatürde; uygun şekilde yapılandırıldıklarında, camlı yapının içinde sıcaklıklar çok yükseldiğinde bağımsız olarak elektrik akımı üretebilirler şeklinde ifade edilmektedir. Yapı kabuğundaki dış ve iç ortam arasındaki sıcaklık farkını kullanarak enerji üretmeleri ile büyük potansiyel taşımaktadır. Günümüz verileri ile yapı kabuğunun opak bileşenlerinde kullanılabileceği düşünülmektedir.
- Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisini elektrik enerjine dönüştürmekte ve böylece elektrik enerjisi (kullanılabilir) üretmektedir.
- Bu malzemenin HVAC sisteme katkısı teorik olarak sistemin ihtiyaç duyduğu enerjiyi yenilenebilir kaynaklardan olan güneşten enerjisinde sağlamasıdır.

3.12. Piroelektrik Malzemeler

- Tablo literatür bilgisi ile oluşturulmuştur.

Tablo 92. Piroelektrik malzemeye ait bilgiler matrisi.

MALZEMEYE AİT BİLGİLER MATRİSİ		
TÜRÜ		PE
		NO
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi		S
Cephe	Opak Duvar	
	Saydam Duvar (pencere)	
Çatı	Opak Duvar	●
	Saydam Duvar (pencere)	
Diğer	Uygulama Potansiyeli	●
Yüzey Malzemesi		
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran		
Güneş	Işık (UV)	
	Isı (Sıcaklık)	●
	Sıcaklık Farkı	
Diğer	Elektrik	
Sistem		
	Pasif	●
	Aktif	
Davranış		
Nitelik Değişimi	Renk Optik	
	Şekil	
	Adezyon	
Enerji Alışverişi	Işık Yayan	
	Enerji Üreten	●
	Enerji Değiş Tokuşu	
Güneş Enerjisinin Yapıda Değerlendirilmesi		
Termal Konfor		
Görsel Konfor	Güneş Kontrolü	
	Kamaşma	
	Manzara	
Hava Kalitesi		
UV korunumu		

Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi

- Günümüz verileri ile yapı kabuğunun opak bileşenlerinde kullanılabileceği düşünülmektedir.

Girdi Enerjisi/ Dış Uyarın

- Girdi enerjisi ısıdır (sıcaklık).

Sistem

- Aktive olmak için dışarıdan bir müdahaleye ihtiyaç duymadıklarından dolayı pasif sistemlerdir.

Davranış

- Piroelektrik malzeme güneşin ısıtması ile uyarın (sıcaklık) karşısında davranış olarak enerji üretmektedir.

Güneş Enerjisinin Yapıda Değerlendirilmesi

- Piroelektrik malzemeler ısıtıldıklarında elektrik potansiyeli oluşturan malzemeler oldukları için teorik olarak; gün içinde ısınıp soğuyan yapı kabuğu bileşenlerinde entegre malzeme olarak kullanılması durumunda elektrik üretebilme potansiyeline sahiptir. Dolayısıyla enerji etkinliğine katkı sağlayabilen sistemler oluşturabilmeleri söz konudur.
- Yapı kabuğunda kullanım amacı; yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisini elektrik enerjine dönüştürme potansiyelidir.
- Bu malzemenin HVAC sisteme katkısı sistemin ihtiyaç duyduğu enerjiyi yenilebilir kaynaklardan olan güneşten sağlaması mümkündür. Bu durum enerji etkinliğine katkı potansiyelini da ortaya koymaktadır.

3.13. Faz Değiştiren Malzemeler

Tablo 93. Faz değiştiren malzemeye ait bilgiler matrisi.

MALZEMEYE AİT BİLGİLER MATRİSİ								
TÜRÜ		PCM						
		NO						
Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi		1	2	3	4	5	6	S
Cephe	Opak Duvar	●	●	●	●			●
	Saydam Duvar (pencere)					●		●
Çatı	Opak Duvar						●	●
	Saydam Duvar (pencere)							
Diğer	Uygulama Potansiyeli							●
Yüzey Malzemesi	Alçı duvar, katkılı cam, katkılı beton vb.							
Girdi Enerjisi/ Dış Uyaran								
Güneş	Işık (UV)							
	Isı (Sıcaklık)							
	Sıcaklık Farkı	●	●	●	●	●	●	●
Diğer	Elektrik							
Sistem								
	Pasif	●	●	●	●	●	●	●
	Aktif							●
Davranış								
Nitelik Değişimi	Renk Optik							
	Şekil							
	Adezyon							
Enerji Alışverişi	Işık Yayan							
	Enerji Üreten							
	Enerji Değiş Tokuşu	●	●	●	●	●	●	●
Güneş Enerjisinin Yapıda Değerlendirilmesi								
Termal Konfor		●	●	●	●	●	●	●
Görsel Konfor	Günişliği Kontrolü							
	Kamaşma							
	Manzara							
Hava Kalitesi								
UV korunumu								

Yapı Kabuğunda Uygulandığı Yer ve Yüzey Malzemesi

- Yapı kabuğunda incelenen örneklerde çatı penceresi hariç kullanımı görülmektedir.
- Alçı duvar, katkılı cam, katkılı beton çeşitli malzemelerle birlikte kullanımı görülmektedir.

Girdi Enerjisi/ Dış Uyarın

- Girdi enerjisi sıcaklık farkıdır.

Sistem

- Aktive olmak için dışarıdan bir müdahaleye ihtiyaç duymadıkların dolayı pasif sistemlerdir.
- Literatürde erime sıcaklıkları 5°C - 130°C arasında olduğu belirtilmektedir. Fakat sahada ideal aralık oda sıcaklığına yakın değerler olduğu için 22°C ile 18°C arasında faz değişimi tercih edilmektedir.

Davranış

- İncelenen faz değiştiren malzemeler güneşin ısıtması ile uyarın sıcaklık farkı karşısında davranış olarak enerji değiş tokuşu yaptığı belirlenmiştir.
- Faz değiştiren malzeme sıcaklık artarsa bu ısıyı emer ve düştüğü zaman tekrar serbest bırakır.

Güneş Enerjisinin Yapıda Değerlendirilmesi

- Faz değiştiren malzeme birçok malzeme ile birlikte çalışabildiği için çeşitli malzemelerle uygulanmaktadır. Bu durum tasarımcı için avantajlıdır.
- Bahsedilen bu çeşitlilik alçı duvar, katkılı cam, katkılı beton vs. kullanım formları görülmektedir.
- İncelenen örneklerin malzemenin kullanım amacının, termal konfor sağlama olduğu tespit edilmiştir.
- Ele alınan yapıların işlevlerinin araştırma merkezi, konut, ofis, ticaret yapısı olmasının kullanıcı konforunu arttırması amacıyla tercih edilmesinde önemli olduğu düşünülmüştür.

- Termal konfora katkıyı güneşin etkisi azaldığında soğuyan ortamı tekrar ısıtmak için bünyesindeki ısıyı faz değişimi ile tekrar salarak gerçekleştirir. Bu durum kullanıcı için konforlu sıcaklıkta tutulmasını sağlamaktadır.
- Tüm bu termal kontrol, HVAC için gerekli enerji yükünü azaltmaktadır. FDM'ler termal enerji ısı depolama ve serbest bırakma özellikleri ile hem ısıtma hem de soğutma sistemlerinde önemli kazançlar sağlamaktadır.

3.14. Genel Bulgular ve İrdemeler

Elektrokromik Malzemeler:

- Başlangıç yatırımları, geleneksel camlara göre yüksek maliyetli olsa da yapılan çalışmalar uzun vadede EC camların geleneksel camlara göre enerji tasarrufuna önemli miktarda katkı sağladığını göstermektedir.
- Elektrokromik malzeme¹⁵, bir yapının yaşam döngüsü boyunca toplam enerji yüklerini ortalama %20'ye ve pik enerji talebini %26'ya kadar azaltmaktadır. Yapının yaşam ömrü boyunca tasarruflu olmasını sağlar.
- Elektrokromik cam¹⁶ kullanımı, yapının yeşil krediler (LEED, BREEAM ve HQE) kazanmasına yardımcı olur.
- Geleneksel camlarla çözülemeyen ya da çözülmesi için panjurlar, gölgelikler gibi ek maliyet ve zahmetli ek durumlar gerektiren sorunlara direkt çözüm oluşturmaktadır.

Elektrooptik malzemeler:

- Pazara yeni girdiği için maliyeti yüksektir. Yeni araştırmalar ve yatırım sağlanırsa, yaygınlaşması ile fiyatının düşeceği ön görülmektedir.
- LED teknolojisinin entegrasyonuna¹⁷ izin vermesi ile mağaza vitrinlerinde kullanımı görülmekte, tasarımda esneklik sağlaması tasarımcı için cazip hale gelmesine neden olmaktadır.

¹⁵ İlgili malzeme Saint Gobain tarafından üretilen SageGlass markalı elektrokromik malzeme için yapılmış değerlendirmedir.

¹⁶ İlgili malzeme Saint Gobain tarafından üretilen SageGlass markalı elektrokromik malzemenin LEED, BREEAM ve HQE katkısıdır.

¹⁷ Chanel Ginza Binası'nda (2004) ilgili malzeme Saint Gobain firmasının PRIVA-LITE markalı ürünün uygulaması mevcuttur.

- Ayrıca malzeme mahremiyet sağlanmak istenilen yerlerde de görüntü bölücü olarak kullanımı mevcuttur.

Fotokromik malzemeler:

- Termal ve görsel konfora katkısı ile solar kazanç sağladıkları ve sonuçta ekolojik bir malzeme olduğu söylenebilmektedir.

Termokromik malzemeler:

- Bir yapının toplam enerji tüketiminin %50'sine kadar olan klima, armatür aydınlatması ve ısı ile ilişkili maliyetleri düşürebilme potansiyeline sahiptir¹⁸.

Şekil Hafızalı Alaşım:

- Soğutma ve havalandırmaya katkısı ile HVAC için gerekli enerji yükünü azaltma potansiyeline de sahiptir.
- Görsel konfora katkısı kabuk malzemesinde göreceli konumuyla, kullanıcı konforuna katkı sağlama potansiyeline sahiptir.

Fotokatalitik malzemeler:

- Çimento, beton malzemeler dışında ayrıca cam malzemelere de entegre edilebilmesi, uygulama alanında diğer akıllı malzemelere göre kullanımında geniş yelpaze oluşturur.
- Kendi kendini temizlemesi ile bakım maliyetini azaltması ile enerjinin etkinliğine katkı sağlamaktadır.
- Atmosfer koşullarına karşı dayanıklıdır¹⁹.

Fotolüminesan malzemeler:

- Günışığını depolaması ve sonra yayması ile yapı aydınlatma yükünü düşürebilmektedir.

Fotoelektrik malzemeler:

¹⁸ İlgili malzeme Suntuitive markalı ürünün özelliğidir.

¹⁹ Referan ürün; KEIM Soldalit, hava koşullarına (yağmur, kar, rüzgar vb.) dayanıklı, yüksek yoğunlaşma direncine sahip, ışığa dayanıklı ve UV ışınlarına dayanıklı kaplamalar oluşturan modern, yenilikçi bir mineral boyadır. KEIM kaplamanın yüksek performansı, uzun ömürlülüğü ve nefes alabilirliğinin yanı sıra KEIM Soldalit-ME, kir ve alg büyümesine karşı daha fazla direnç sağlayacaktır.

- Fotoelektrik malzemenin çeşitliliği tasarımcıya farklı alternatifler sunması bakımından da önemlidir. Örneğin renkli boya güneş pilleri camlara entegrasyonu ile mekan için bir tasarım kararı haline gelmektedir.
- Bazı fotoelektrik ürünlerin²⁰ düşük ışık hassasiyeti ve daha küçük açısız bağımlılıkları, güneş hücrelerinin dikey kurulumlarda da çalışmasını sağlar. Bu da tasarım kararında esneklik sağlamaktadır.

Termoelektrik malzemeler:

- Literatürde bu malzemenin yapı kabuğunda kullanımının verimli olacağı yönünde ifadeler olmakla birlikte henüz mimari uygulamasına rastlanmamıştır.

Piroelektrik malzemeler:

- Literatürde mimarlıkta, piroelektrik malzemenin termal sensör olarak kullanımı ifade edilse de incelenen örneklerde bu ürünlerin mimariye yapı kabuğunda kullanımı henüz görülmemektedir.

Faz Değiştiren malzemeler:

- Malzemenin camda kullanımı ışık geçirgenliğini azalttığı²¹ için dezavantajlı olsa da sağladığı termal katkı²² göz önüne alınarak tercih edilebilir.
- Literatürde klimalı yapılarda maliyeti ortalama %35 azaltabilir ve kışın ısıtma faturalarını da %15'e²³ kadar azaltabildiği ifade edilmiştir.

Tüm akıllı malzemeler:

- Ayrıca yapılar incelendiğinde bazılarında birden fazla akıllı malzeme kullanıldığı görülmektedir (Tablo 94). Tablo 94'de Güneş Enerjisinin Yapıda Değerlendirilmesi (G. E. Y. D.) termal konfor (1), görsel konfor (2), hava kalitesi (3) ve UV korunumu (4) bağlamında yapılmıştır.

²⁰ İlgili malzeme Solaronix markasına ait güneş pilleri için belirtilmektedir.

²¹ İlgili malzeme GlassX ile oluşturulan bu sistem %50 oranında ışık geçirgenliğine sahip bir duvara dönüşmektedir.

²² İlgili malzeme GlassX ile oluşturulan bu sistemin enerji depolama kapasitesi yaklaşık 20 cm betonun kapasitesine eşdeğer niteliktedir.

²³ İlgili malzeme DuPont™ firmasının Energain® faz değiştiren ürünüdür.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında mimaride uygulanmış akıllı malzemeler ele alınmıştır. Bu kapsamda 59 adet örnek yapının analiz tabloları oluşturulmuş, elde edilen bulgular ve irdelemeler ile birlikte ulaşılan sonuçlar iki başlık altında açıklanmıştır. Bunlardan birincisi güneş etkileşimli akıllı malzemelerin yapı kabuğunda kullanımı ile ilgili sonuçlar ve ikincisi genel sonuçlar olarak belirlenmiştir.

4.1. Güneş Etkileşimli Akıllı Malzemelerin Yapı Kabuğunda Kullanımı İle İlgili Sonuçlar

- Mevcut uygulamalar bu malzemelerin daha çok yapı kabuğunda kullanıldığını göstermektedir. Doğası gereği, maruz kaldığı farklı uyarıcılarla tersinir değişen bu malzemelerin, yapının iç ortamından ziyade dış ortamında, sürekli ve çeşitli değişkenlere sahip atmosferle en çok etkileşim halinde olduğu yapı kabuğunda kullanımı oldukça makul görünmektedir.
- Yapı kabuğunda akıllı malzeme kullanımı klasik malzemenin kullanıldığı geleneksel kabuk beklentisi olan yapıyı atmosfere karşı savunulması anlayışını bir kenara bırakıp çevresi ile etkileşimli, çevresinde olup biten değişikliklere uyum sağlayarak değişim gösteren yeni bir kabuk anlayışı ortaya çıkarmaktadır.
- Akıllı malzemelerin davranışları (şekil değiştirmesi, optik özelliğini değiştirmesi vb.) tasarıma yeni bir bakış açısı kazandırmaktadır. Yapı cephelerinin kimlik kazanmasındaki rolü düşünüldüğünde, akıllı malzeme kullanımı henüz fark edilememiş bir potansiyele sahiptir.
- Akıllı malzemelerin yapı kabuğunda kullanımı konfor koşullarına ve enerji etkinliğine katkı sağlarken davranışındaki çeşitlilikte de tasarımcı seçimi için alternatifler sağlamaktadır.
- Bu malzemelerin güneş ile etkileşim bağlamında incelenmesinin sebebi yapı kabuğunda yenilebilir enerji kaynaklarından en fazla maruz kalınan enerji kaynağı olmasının yanı sıra, bu kaynağın malzeme için hem bir uyarıcı, hem de kazanım ve korunum sağlayabileceği bir etki olduğunun keşfi yatmaktadır. Yenilenebilir

- enerji kaynaklarından güneş enerjisinin kullanımı, enerji tasarrufu ve enerji üretimi ile enerji etkinliği sağlamaktadırlar.
- Akıllı malzemenin yapı kabuğunda kullanımı, güneş etkileşimi bağlamında ele alındığında; termal konfora, görsel konfora, hava kalitesine ve enerji üretimine katkı sağladığı görülmektedir.
- Yapı, işlevi ne olursa olsun ihtiyacı doğrultusunda kabukta kullanımı kullanıcıya görsel ve termal konfor sağlayabilmektedir.
- Yapı kabuğunda cephe ve çatıda kullanımı görülmekle birlikte cephede kullanım yaygınlığı daha fazladır.
- Güneşten korunum sağlayan elektrokromik, termokromik, gazokromik ve iklimlendirmeye katkı sağlayan faz değiştiren akıllı malzemelerin yapı kabuğunda kullanımı HVAC sistemlerinin yüklerini azaltmaktadır.
- Şekil hafızalı alaşım, fotokromik, piroelektrik gibi bazı akıllı malzemelerin yapı kabuğunda uygulamaları görülmesi de, uyarınları, sistemleri ve davranış şekilleri vasıtasıyla potansiyel taşıdıkları düşünülmektedir.
- Akıllı malzemeler konfor koşullarını sağlarken klasik malzemelerden nitelik değişimi ve enerji alışverişi ile farklı bir proses geçirirler.
- Elde edilmesi büyük maliyetlere sebep olacak hava kalitesini artırma işlemini fotokatalitik özelliğin güneş etkisi ile sadece yatırım maliyeti ile sağlanabildiği görülmüştür.
- Ülkemizin yer küredeki konumu, güneş enerjisi ile ilişkisi açısından avantajlı olsa da, bunun yapı sektörüne yansımaları son derece yetersizdir. Dolayısıyla akıllı malzeme kullanımını arttırmak için ar-ge çalışmalarına önem verilmesi gerektiği düşünülmektedir.
- Tablo 94’de incelenen 59 yapı örneğinden 23 tanesinde termal konfor, görsel konfor ve UV korunumunun birlikte sağlandığı, 1 örnekte termal konfor ve görsel konforun birlikte sağlandığı, 15 örnekte sadece hava kalitesinin sağlandığı, 7 örnekte sadece görsel konfor sağlandığı, 6 örnekte sadece termal konfor sağlandığı ve son olarak 6 örnekte bahsedilen konforların hiçbiri görülmezken güneş etkileşimi sayesinde enerji etkinliğine katkı sağlandığı görülmektedir.

4.2. Genel Sonuçlar

- 1970'lerde başlayan enerji krizi günümüzde hemen hemen tüm sektör enerji politikalarında yeni yaklaşımlar arayışı doğurmuştur. Yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanan akıllı malzeme kullanımı mimarlıkta enerji etkinliğine katkı sağlayacaktır.
- İncelenen yapı örnekleri dünyanın çeşitli ülkelerinde uygulanmışken Türkiye'de akıllı malzeme kullanımı ilk yatırım maliyetinin diğer ülkelere göre yüksek olması ve yönlendirici çalışmaların olmamasından kaynaklı olarak yeterli lde değildir.
- Türkiye, güneş enerjisinin etkin olduğu bir coğrafyada bulunması nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanma konusunda güneş etkileşimli akıllı malzemeler iyi bir alternatif olarak görünmektedir.
- Günümüzde tıp, ulaşım, enerji gibi birçok sektörde kullanımı olan akıllı malzemelerin mimarlığa yansımaları, yapabileceği potansiyel değişim ile kıyaslandığında, henüz yeterli lkte değildir.
- evresindeki değişimlere yanıt veren akıllı malzemeler, yapının atmosferle sorunlu ilişkisine yeni bir soluk ve açılım getirme potansiyeline sahiptir.
- Günümüzde birkaç geleneksel malzemenin gösterebildiği performans rek bir akıllı malzeme ile elde edilebilirken, gelecekte birkaç akıllı malzemenin entegrasyonu ile yapısal performansın artırılması mümkündür.
- Literatürde akıllı malzemelerin sahip olduğu dezavantajların bir kısmının piyasadaki üreticiler tarafından zldği görülmektedir.
- Uyarıcı ve davranış ilişkisine bakılarak yapı kabuğunda kullanımının son derece yüksek potansiyel taşıdığı bazı malzemelerin henüz uygulamada görülmemesi büyük bir kayıp olmakla birlikte, malzeme davranışında henüz zlemediği sorunlar veya malzeme hakkında yeterince bilgi sahibi olunmaması bu durumun nedenleri arasında görünmektedir.
- Piyasadaki bazı ürünlerin, akıllı malzemelerin literatürde tanımlanan özelliklerine ek avantajlara sahip olduğu görülmektedir. Gelecekte akıllı malzemelere, ar-ge çalışmaları sayesinde daha fazla zm üretme imkanı sağlanabilecektir.

- Sadece yeni projelerde değil, iyileştirme projelerinde de kullanımını görülmektedir. Dolayısıyla yapı ömrünün farklı aşamalarında entegre olarak katkı sağlayabilmektedir.
- Mevcutta çoğu akıllı malzeme grubunun kullanımının kısıtlı olma nedeni maliyetlerin yüksek olmasıdır. Bu problemin üretim miktarının ve üretici çeşitliliğinin yaygınlaşması ile ortadan kalkması mümkün olacaktır.
- Doğası gereği birçok avantaj barındıran akıllı malzemelerin şu an için sahip olduğu dezavantajların çözümü ile daha yaygın bir kullanıma sahip olacağı düşünülmektedir.
- Akıllı malzemelerin bir kısmı alçı duvar, katkılı cam, katkılı beton gibi birçok geleneksel malzemeye entegre edilebilmekte, böylece kullanım çeşitliliği sağlamaktadır.
- Çalışma kapsamında incelenen yapıların bir kısmında birden fazla akıllı malzeme kullanıldığı görülmektedir. Bu durum çeşitli akıllı malzemelerin birlikte çalışmasının herhangi bir sorun oluşturmadığı, aksine yapının performansına çok yönlü katkı sağlamasının mümkün olduğunu göstermektedir.
- Literatürde tasarımcıya kaynak oluşturabilecek temel kaynaklar olmasına karşın, pratik bir seçim yapmak isteyen tasarımcı, çoklu parametreler arasında malzemeyi tanımada ve ihtiyacını karşılayacak alternatifleri seçmede yeterince verimli yönlenebileceği düşünülmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada yapıldığı gibi tasarımcının akıllı malzemeyi tanımalarını kolaylaştıracak parametreler belirli bağlamlarda ele alınarak yeni çalışmalar yapılması, malzemenin tanınması ve kullanılmasının önünü açacaktır.
- Tasarımcıların bu çok yönlü malzemeleri tanımaları ve kullanmaktan çekinmemesi önemlidir.

4.3. Öneriler

- Belirlenen ihtiyaçlar için kompleks katmanlar oluşturmak yerine yeni akıllı malzemeler uygulanabilir.

- Mevcut akıllı malzemelerin performansındaki zafiyetleri çözmeye yönelik çalışmalar yürütülebilir.
- Akıllı malzemeler üzerine yapılan laboratuvar çalışmaları başlangıçtaki yatırım maliyetini düşürmeye yönelterek bu malzemelerin yaygınlaşması sağlanabilir.
- Henüz yapı kabuğunda kullanılmamış ama potansiyel içeren akıllı malzemelerin denenmesi ve gözlemlerinin aktarılması yaygınlığını da arttıracaktır.
- Bu malzemelerin kullanımının artmasına katkı sağlayacak bir başka etken de devlet desteği ve teşviki olacaktır.
- Yapılabilecek bir başka çalışma ise yenilenebilir enerji kaynağı olan rüzgar etkileşimli akıllı malzemelerin gruplandırılması ile tasarımcı seçimini kolaylaştırmak hedef alınabilir.
- Yapılabilecek bir başka çalışmada konforla ilgili parametreler değiştirilebilir; örneğin akustik konfor eklenebilir veya çalışma spesifik olarak konfor üzerine kurgulanabilir.
- Yapılabilecek bir başka çalışma ile Türkiye'deki iklim tiplerine göre tasarımcıyı ideal akıllı malzeme kullanımına yönlendirecek gruplandırmalar oluşturulabilir.

5. KAYNAKLAR

- Açıksarı, C. ve Karasu, B., 2018. Akıllı Camlar ve Teknolojik Gelişmeler, El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi, 5, 2, 437-457.
- Addington, M. ve Schodek, D., 2005. Smart Materials and New Technologies. Elsevier, Amsterdam.
- Akdoğan, A. ve Nurveren, K., 2003. Şekil Hafızalı Alaşım, Mühendis ve Makina Dergisi, Haziran.
- Al-Baldawi, M. T., 2015. Application of Smart Materials in the Interior Design of Smart Houses, Civil and Environmental Research, 7, 2, 1-16.
- Altın, M., 2013b. Sürdürülebilir Bina Kabuğu Tasarımı Ve Fotovoltaik Paneller, 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Nisan, İzmir, Bildiriler Kitabı: 1491-1501.
- Altın, M. ve Orhon, A. V., 2014a. Akıllı Yapı Cepheleri ve Sürdürülebilirlik, 7. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, Nisan, İstanbul, 1-10.
- ASHRAE-62. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality.
- Ateş, Ö., 2018. Aydınlatma Enerjisi Tasarrufu Amacıyla Bina Kabuğu Saydamlık Oranlarının Yazılım Aracılığıyla Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi-Eskişehir Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Atıl, A., Gülgün, B. ve Yörük, İ., 2005. Sürdürülebilir Kentler ve Peyzaj Mimarlığı, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 42,2, 215-226 .
- Atmaca, İ. ve Yiğit, A., 2011. Isıl Konfor ile İlgili Mevcut Standartlar ve Konfor Parametrelerinin Çeşitli Modeller ile İncelenmesi, IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Mart-Nisan, Ankara, Bildiriler Kitabı, 543-555.
- Ayçam, İ., 2011. Enerji Etkin Ofis Binalarında Gelişmiş Cephe Sistemlerinin İncelenmesi, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Nisan, İzmir, 1593-1609 .
- Aydın, D., 2017. Yüksek Konut Yapılarında İç Ortam Kalitesinin Enerji Verimliliği ve Kullanıcı Konforuna Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Edirne.
- Ayvaz, Ö. Y., 2019. Akıllı Malzemelerin Mimarlıkta Kullanım Olanakları, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon.

- Balkar, İ. G., 2006. Saf Titanyum ve Tin Kaplamaların Alkali Çözeltilerde Anodizasyonu ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Bedeloğlu, A. Ç., 2011. Şekil Hafızalı Alaşımlar ve Tekstil Malzemelerindeki Uygulamaları, The Journal of Textiles and Engineers, 83, 27-37.
- Behl, M., Langer, R. ve Lendlein, A., 2008. Intelligent Materials: Shape-Memory Polymers. M. Shahinpoor, & H.-J. Schneider (Dü) içinde, Intelligent Materials, 301-316.
- Bessoudo, M., 2008. Building Facades and Thermal Confort.
- Beyhan, B., Cellat , K., Karahan , O., Kunuklu, Y., Dündar , C., Güngör , C. ve Paksoy, H., 2016. Bina Yapı Malzemeleri İçin Mikrokapsüllenmiş Faz Değiştiren Madde Geliştirilmesi, Tesisat Mühendisliği, 154, 63-69.
- Bilgin, S., 2014. Yapılarda Kullanılan Nanoürünlerin Yapı Biyolojisi Açısından İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bouas-Laurent, H., 2001. Organic Photochromism, Pure and Applied Chemistry, 73, 4, 639-665.
- Bozdoğan, B., 2003. Mimari Tasarım ve Ekoloji, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bozdoğan, R., 2010. Sürdürülebilir Gelişme Düşüncesinin Tarihsel Arka Planı, Sosyal Siyaset Konferansları Dergisi, 50, 1011-1028.
- Carmody, J., Selkowitz, S., Lee, E., Arasteh, D. ve Willmert, T., 2004. Window Systems for High-Performance Buildings, New York: W. W. Norton Company.
- Casini, M., 2016. Smart Buildings: Advanced Materials and Nanotechnology to Improve Energy-Efficiency and Environmental Performance, Cambridge, Elsevier Ltd.
- Casini, M., 2016b. Smart Buildings: Advanced Materials and Nanotechnology to Improve Energy-Efficiency and Environmental Performance, Cambridge, Elsevier Ltd., 6-9.
- Casini, M., 2017a. Active dynamic windows for buildings: A review. 119, 923-934.
- Cengiz, G., 2016. Mimarlıkta Sürdürülebilirlik Nanoteknolojik Malzeme Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Ceylan, E. E., 2020. Enerji etkin stadyum tasarım kriterleri önerisi, Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Konya.
- Compagno, A., 2002. Intelligent Glass Facade, Berlin, Birkhauser.

- Coşkun, K., 2006. Çatı Sistemleri ile İlgili Performans Gereksinimleri, 3. Ulusal Çatı&Cephe Kaplamaları Çağdaş Malzeme ve Teknolojiler Sempozyumu, İTÜ, Ekim, İstanbul, Bildiriler Kitabı: 1-6.
- Coşkuner, A., 2018. Faz Değiştiren Malzemelerin Sıcak-Kuru Ve Soğuk İklim Bölgelerindeki Yapı Kabuğu Enerji Performansının Karşılaştırmalı Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çakmak, Ö. ve Kaya, M., 2017. Akıllı Malzeme Şekil Hafızalı Alaşımların Termodinamiği, Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi, 6, 2, 541-555.
- Çakmaklı, B., Ateş Can, S. ve Muraçal, E., 2015. Deprem ve Mimarlıkta Kullanılan Polimer, Uluslararası Burdur Deprem ve Çevre Sempozyumu, Mayıs, Burdur, 448-455.
- Demir, N., 2011. Yüksek Yapılar ve Sürdürülebilir Enerji, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Deniz, A., 2018. Yapı Kabuğunun Düşük Maliyetli Enerji Etkin İyileştirilmesine Yönelik Bir Yaklaşım-Kamu Yapısı Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Dikici, T. ve Yurddaşkal, M., 2018. Anodik Spark Oksitleme Tekniği ile Üretilen Titanyum dioksit (TiO₂) Kaplamaların Karakterizasyonu ve Fotokatalitik Özellikleri, BAUN Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 20, 83-93.
- Dikmen, Ç. B., 2011. Enerji Etkin Yapı Tasarım Ölçütlerinin Örneklenmesi, Politeknik Dergisi, 14,2, 121-134.
- Elbi, D., 2019. Yapı Bilgi Modelleme Aracılığı ile Enerji Etkin Yapı Tasarımı Ve Geliştirilmesi: Bir Konut Projesi Örneği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- EN., 2004. Europeane Norm of Performance Requirements for Ventilation and Air-Conditioning Systems in Non-residential Buildings, EN 137779, Avrupa Standartları Kuruluşu.
- Engin, N., 2012. Enerji Etkin Tasarımda Pasif İklimlendirme: Doğal Havalandırma, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 129, 62-70.
- Ergin, Ö., 2019. Uyarlanabilir Cephe Sistemlerinde Güncel Yaklaşımlar Ve Akıllı Malzemelerin Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Feng, W., Zou, L., G. Shen, J. ve Li, W., 2016. Gasocromic Smart Window: Optical and Thermal Properties, Energy Simulation and Feasibility Analysis, Solar Energy Materials and Solar Cells, 144, 316-323.

- Gazioğlu, A., 2012. Enerji Etkin Bina Tasarımında Isıtma Enerjisi Harcamalarını Azaltmaya Yönelik Bir İyileştirme Çalışması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, İstanbul.
- Georg, A., Graf, W., Neumann, R. ve Wittwer, V., 2000. Mechanism of the Gasochromic Coloration of Porous WO₃ Films, Solid State Ionics, 127, 319-328.
- Gezer, H., 2008b. Polimer Malzeme ile Portatif Mimari, 4.Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi. TMMOB yayını, ISBN 978-9944-89- 663-7, İstanbul.
- Gezer, H., 2012a. Malzemenin Gizil Güçlerinin Mimariye Katkısı, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, İstanbul, 10, 20, 97-118.
- Ghodke, S. ve Jangid, R., 2016. Equivalent Linear Elastic-viscous Model of Shape Memory Alloy, Advances in Engineering Software, 99, 1-8 .
- Görgün, B., 2012. Enerji Verimli Yeşil Bina Sertifikasyonunda Yol Haritasının Belirlenmesi İçin LEED ve BREEAM Örneklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Güler, H. ve Ülkü, S., 2007. Bitişik Nizamlı Villa Tipi Konutlarda Yapısal Konfor Koşulları Üzerine Bir Araştırma, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 12, 2, 97-107 .
- Güncü, A. ve Kurnuç, A., 2013. Güneş Enerjisine Dayalı Yenilikçi Kinetik Yapı Kabuğu Uygulamaları, I.Uluslararası Mühendislik ve Fen Bilimlerinde Yenilikçi Teknolojiler Sempozyumu, Haziran, Sakarya, 1292-1302.
- Gür, 2010. Nanomimarlık Bağlamında Nanomalzemeler. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 2, 81-90.
- Gür, 2007. Mimaride Sürdürülebilirlik Kapsamında Değişen Yapı Kabukları İçin Bir Tasarım Destek Sistemi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Gür, 2004. Yapı Kabuklarının Geleceği- Değişkenlik ve Adaptasyon İhtiyacı. Nisan, İstanbul, Çatı Cephe Fuarı.
- Gürakın, H. K., 2012. Elektrokromik Uygulamalar İçin İletken Polimer Elektrolitlerin Hazırlanması Ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniveritesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Gürdal, E., 1989. Yüksek Binalar İçin Isıtma, Havalandırma Klima Sistemleri ve Enerji Tasarrufu Yüksek Binalar, I. Ulusal Sempozyumu, Kasım, İstanbul.
- Güvenç, B., 2008. Sürdürülebilirlik Bağlamında Ekolojik Tasarım Prensiplerinin Mimaride Uygulanabilirliğinin İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Güvenli, Ö., 2006. Tarihsel Süreç İçinde Malzeme Cephe İlişkisi ve Giydirme Cepheler. Yüksek Lisans, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- İncedere Sarı, B., 2014. Cephelerde Kullanılan Yapı Ürünlerinin Geleneksel Bakım Süreci ile Kendi Kendini Temizleme Sürecinin Karşılaştırmalı Değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Inoue, T., Ichinose, M. ve Ichikawa, N., 2008. Thermotropic Glass with Active Dimming Control for Solar Shading and Daylighting, Energy and Buildings, 40, 3, 385-393.
- Kanan, N. Ö., 2014. Enerji Verimli Yapı Kabuğunun Yangın Anındaki Davranışı: Cephe Yangınları, 7. Ulusal Çatı&Cephe Sempozyumu, Nisan, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 137-146.
- Karakoç, E., 2015. Performansa Dayalı Adaptif Bina Kabuğu Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Karamanlıoğlu, Ş., 2011. Enerji Etkin Bina Cephe Sistemlerine Yönelik Yaklaşımların İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Karasu, B. ve Sarıcaoğlu, B., 2018. Cam Yüzey Kaplama Teknolojileri,. El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi, 5, 2, 475-500.
- Kazanasmaz, T. ve Diler, Y., 2011. Gelişmiş Cam Teknolojileri İle Enerji Etkinliğin Değerlendirmesi, VI. Ulusal Aydınlatma Sempozyum ve Sergisi, Kasım, İzmir, Bildiriler Kitabı, 84-93.
- Kiria , P., Hyettb, G. ve Binionsa, R., 2010. Solid State Thermochromic Materials, University College London, Review Article.
- Kızıltoprak, S., 2019. Akıllı Yapı Kabuğunda Cephe Bileşeni Olarak Kullanılan Akıllı Camların Seçimi İçin Sistem Önerisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kızıltoprak, S., 2019. Akıllı Yapı Kabuğunda Cephe Bileşeni Olarak Kullanılan Akıllı Camların Seçimi İçin Sistem Önerisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Knapp, T. ve Wagner , A., 2009. Whole Buildings: Sustainability and Energy Efficiency. 15-18 Haziran 2009, 4th International Building Physics Conference, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Taşkışla, Taksim.
- Koç, A., Yağlı, H., Koç, Y. ve Uğurlu, İ., 2018. Dünyada ve Türkiye'de Enerji Görünümünün Genel Değerlendirilmesi, Mühendis ve Makina, 59, 86-114 .
- Kolarevic, B., 2015. Bina Kaplamalarında Yeni Özellik: Uyarlanabilirlik, Dosya, 35, 14-19.
- Kosny, J., 2015. PCM-Enhanced Building Components: An Application of Phase Change, B. Derby, Dü., Heidelberg: Springer International Publishing Switzerland.
- Koşan, M. ve Aktaş, M., 2018. Faz Değiştiren Malzemelerle Termal Enerji Depolayan Bir Isı Değiştiricisinin Sayısal Analizi, Politeknik Dergisi, 21, 403-409.

- Kreidl, N. J., 1970. Photochromic Glass. Leonardo, 429-432.
- Lampert, C., 2004. Chromogenic Smart Materials, Materials Today.
- Loonen, R., 2010. Overview of 100 Climate Adaptive Building Shells, MSc. Thesis, Architecture, Building & Planning Eindhoven University of Technology, Eindhoven.
- Lyons, A., 2010. Materials For Architects & Buildings. Hong Kong: Elsevier.
- Marchwiński, J., 2014. Architectural Evaluation Of Switchable Glazing Technologies As Sun Protection Measure. Energy Procedia, 57, 1677-1686.
- Mohammed, A. S., 2017. Smart Materials Innovative Technologies In Architecture; Towards Innovative Design Paradigm. Energy Procedia, 115, 139-154.
- Nasr, Y. T. 2017. Using smart materials to mimic nature in architecture, Master Thesis, Alexandria University, The Graduate School Faculty of Engineering. İskenderiye.
- Nitz, P. ve Hartwig, H., 2005. Solar Control with Thermotropic Layers.
- Oğuz, O., 2007. Akıllı Bina Kavramı ve Akıllı Bina Değerlendirme Metodları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Okay, O., 2003. Polimerik Malzemelerin Bugünü ve Yarını.
- Oktay, D., 2007. Sürdürülebilirlik, Yaşanılabilirlik ve Kentsel Yaşam Kalitesi, Mayıs-Haziran, Mimarlık, 335, 37-40.
- Oral, G. K. ve Manioğlu, G., 2010. Bina Cephelerinde Enerji Etkinliği ve Isı Yalıtımı, 5. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, İzmir, Nisan, 1-9.
- Orhon, A. V., 2012. Akıllı Malzemelerin Mimarlıkta Kullanımı, Ege Mimarlık, 82, 18-21.
- Orhon, A. V., 2013a. Akıllı Yapı Kabukları, 11. Ulusal Mühendislik Kongresi. Nisan, İzmir, Bildiriler Kitabı, 1481-1487.
- Orhon, A. V., 2013b. Sürdürülebilir Mimaride Akıllı Malzeme Kullanımı, 8. Uluslararası Sinan Sempozyumu, Nisan, Edirne, Bildiriler Kitabı, 297-304.
- Orhon, A. V., 2014. Kendini Temizleyen Cephe Sistemleri, 7.Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, Nisan. İstanbul, Bildiriler Kitabı, 139-147.
- Orhon, A. V., ve Altın, M., 2014. Akıllı Yapı Cepheleri ve Sürdürülebilirlik, 7. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, Nisan, İstanbul, 1-10.
- Özeler Kanan, N., 2014. Enerji Verimli Yapı Kabuğunun Yangın Anındaki Davranışı: Cephe Yangınları, 7. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, İstanbul, Nisan, Bildiriler Kitabı, 3-4.

- Özonur, Y., 2004. Düşük Sıcaklıkta Termal Enerji Depolamasına Uygun Faz Değişiren Maddelerin Mikrokapsüllemesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Öztürk, G. S., 2018. İstanbul'da Bir Ofis Binası Örneğinde Elektrokromik Pencerelelerin Performans Değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Parkin, I. ve Manning, T., 2006. Intelligent Thermochromic Windows, Journal of Chemical Education, 83, 3, 393.
- Ritter, A., 2007. Smart Materials in Architecture, Interior Architecture and Design., A. Müller, Dü., Basel: Birkhäuser.
- Sancar Utkuğu, G., 1999. Binayı Oluşturan Sistemler Arasındaki Etkileşim ve Ekip Çalışmasının Önemi, IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, Kasım, İzmir, Bildiriler Kitabı, 21-36.
- Sarı, A., 2011. Faz Değişimi Yoluyla Isıl Enerjinin Depolanması ve Bu Alanda Yapılan Çalışmalar, Kimya Lisans Öğrencileri Araştırma Projesi Çalıştayı, Temmuz, Çanakkale.
- Sarı, B. İ., 2014. Cephelerde Kullanılan Yapı Ürünlerinin Geleneksel Bakım Süreci İle Kendi Kendini Temizleme Sürecinin Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi, İstanbul.
- Sarı, B. İ., 2014. Cephelerde Kullanılan Yapı Ürünlerinin Geleneksel Bakım Süreci İle Kendi Kendini Temizleme Sürecinin Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Sarı, M., 2019. Kırsal Yaşam Alanlarının Dönüştürülmesinde Enerji Etkin Yapı Kabuğu Sistemlerinin İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Sayın, S., 2006. Yenilenebilir Enerjinin Ülkemiz Yapı Sektöründe Kullanımının Önemi ve Yapılarda Güneş Enerjisinden Yararlanma Olanakları, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Schittich, C., 2006. In Detail: Building Skins. Kösel, Almanya: Institut für Internationale Architektur-Dokumentation.
- Soylu, A. ve Türkay, M., 2005. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Geçiş Sürecinin Planlanmasında Doğrusal En İyileme Tekniğinin Kullanılması, III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildirileri, Mersin.
- Süyük Makaklı, E., 2017. Potential Of Smart Materials For Sustainable Architecture, The Journal of Academic Social Science Studies, 265-276.
- Şam, E. D., Ürgen, M. ve Tepehan, F. Z., 2007. TiO₂ Fotokatalistleri, İtü Dergisi/d, 5-6, 81-92.

- Şener Yılmaz, F. ve Yener, A., 2013. Aydınlatma Tasarımında Görsel Konfor, Enerji Performansı ve Çevresel Etki Değerlendirmesi, 3. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi 7. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, Kasım, İzmir.
- Şensan, S. Ö., 2009. Application of Smart Materials in Sustainable Architecture, Yüksek Lisans Tezi, İzmir Ekonomi Üniversitesi Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi, İzmir.
- Talbot, D., 2003. Smart Materials London: Institute of Materials, Minerals and Mining.
- Tavil, A., 2004. Cephe Sistemlerinde Yeni Teknolojiler Elektrokromik Pencereleler, 2.Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi, Ekim, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 111-116.
- Tokuç, A. ve Taşçı, B., 2014. Enerji Etkin Cephelerde Nanoteknoloji, Yapı, 397, 146-150.
- Tomozawa, M. ve Doremus, R. H., 1977. Glass I: Interaction With Electromagnetic Radiation, (12), New York: Academic Press.
- Toydemir, N. ve Bulut, Ü., 2004. Çatılar, Yapı Endüstri Merkezi, İstanbul.
- Uçurum, E., 2007. Sürdürülebilirlikte Ekolojik Çatının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Uğurlu, Ö., 2006. Türkiye'de Çevresel Güvenlik Bağlamında Sürdürülebilir Enerji Politikaları, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Varınca, K. ve Gönüllü, M., 2006. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımının Çevresel Olumlu Etkileri, VI. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, Isparta, Mayıs, Bildiriler Kitabı.
- Wahid, M. A., Hosseini, S. E., Hussien, H. M., Akeiber, H. J., Saud, S. N. ve Mohammad, A. T., 2017. An overview of phase change materials for construction architecture thermal management in hot and dry climate region, Applied Thermal Engineering, 1240-1259.
- Whatmore, R., 1986. Pyroelectric Devices and Materials, Reports on Progress in Physics, (49), Brighton.
- Wilson, H., Blessing, R., Hagenstrom, H., Hutchins, M., Dvorjetski, D. ve Platzer, W., 2002. The Optical Properties of Gasochromic Glazing, 4th International Conference on Coatings on Glass, Kasım, Braunschweig.
- Wooley, K., 1995. Green Building Handbook; Sustainable Roofing, Harrison and Harrison, E&FN Spon, 1, London.
- Yağlı, S., 2019. Teknolojik Gelişmelerin Etkisi İle Yüzeylerde Malzeme Kullanımı: Akıllı Malzemeler, Yüksek Lisans, Hacettepe Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü, Ankara.

- Yanardağ, H. M., 2007. Farklı Bina Formlarında Güneş Pili Uygulamalarının Enerji Ve Maliyet Etkinliği Açısından Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Yao, J. ve Neng, Z., 2011. Evaluation of Indoor Thermal Environmental, Energy and Daylighting Performance of Thermotropic Windows, *Building and Environment*.
- Yaşar, Y., Pehlevan, A. ve Maçka Kalfa, S., 2010. Akıllı Camlar Ve Mimaride Kullanımı. 5.Ulusal Yapı Kongresi ve Sergisi, Kasım, İstanbul, 102-112.
- Yazıcı, E., Alp, İ., Yılmaz, A., Celep, O. ve Vieil, M., 2004. Piezoelektrik Teknoloji ve Piezo-Malzeme Olarak Turmalin, 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Mayıs.
- Ye, H., Meng, X., Long, L. ve Xu, B., 2013. The Route to a Perfect Window, *Renewable Energy*, 55, 448-455.
- Yelkenci Sert, F. ve Güzel, N., 2015. Camda Gelişmiş Teknoloji Uygulamaları, 2. Ulusal Yapı Kongresi, Haziran, Ankara, Bildiriler Kitabı, 5-14.
- Yener, A., 2007. Binalarda Günışığından Yararlanma Yöntemleri: Çağdaş Teknikler, VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Ekim, İzmir, Bildiriler Kitabı, 231-241.
- Yeşildal, B., 2002. Enerji Korunumu Açısından Dış Duvarlarda Saydam Yalıtım Kullanımının İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yeşilli, G., 2016. Gelişmiş Cephe Sistemlerinin Ekolojik Enerji Etkin Tasarım Çerçevesinde İncelenmesi, İklim Verilerine Göre Değişimi ve Geleceğe Yönelik Öngörüler, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.
- Yılmaz, S., 2014. Nanomalzemelerin Mimaride Kullanım Olanakları, Yüksek Lisans, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Yüksek, İ., Mıhlayanlar, E. ve Esin Tıkansak, T., 2015. Konut Kullanıcılarının İç Ortam Konfor Koşullarından Memnuniyetlerinin Tespitine Yönelik Bir Çalışma, 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Nisan, İzmir, Bildiriler Kitabı: 2141-2148.
- Zalba, B., Marín, J. M., Cabeza, L. F. ve Mehling, H., 2003. Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications, *Applied Thermal Engineering*, 23, 251-283.
- Zorlu, K., 2019. Yapı Malzemelerinin İç Mekan Hava Kalitesine Etkisi Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Gebze.

URL-1, <https://ytong.com.tr/blog-detay.asp?blogid=23>. 30.01.2020.

URL-2, <https://www.britannica.com/science/solar-energy>. 01.02.2020.

URL-3, URL <https://smart.materialsconferences.com/>. 13.02.2020.

- URL-4, <https://www.sageglass.com>. 20.4.2020.
- URL-5, <https://www.sageglass.com>. 20.4.2020.
- URL-6, <https://www.sageglass.com/en/case-studies/dirty-habit-restaurant-usa>. 30.03.2020.
- URL-7, <http://www.stantonarchitecture.com/restaurants#/dirty-habit-dc>. 30.03.2020.
- URL-8, <https://www.sageglass.com/en/case-studies/mall-america-usa>. 30.03.2020.
- URL-9, <https://www.dlrgroup.com/work/the-collections-at-mall-of-america/>. 30.03.2020.
- URL-10, http://sageglass.com/sites/default/files/chuv_casestudy.pdf. 30.03.2020.
- URL-11, http://sageglass.com/sites/default/files/mos_casestudy.pdf. 30.03.2020.
- URL-12, <http://dcbeanconstruction.com/portfolio-item/museum-of-science-boston-lobby-curtain-wall-renovation/>. 30.03.2020.
- URL-13, <http://dcbeanconstruction.com/portfolio-item/museum-of-science-boston-lobby-curtain-wall-renovation/>. 30.03.2020.
- URL-14, https://sageglass.com/sites/default/files/mkt_143_msp_casestudy_en_us.pdf. 02.04.2020.
- URL-15, <http://www.alliance.us/our-work/aviation/minneapolis-st-paul-international-airport/>. 02.04.2020.
- URL-16, www.iata.org. 02.04.2020.
- URL-17, <https://www.sageglass.com/en/case-studies/iata-executive-office-switzerland>. 02.04.2020.
- URL-18, https://www.sageglass.com/sites/default/files/siemens_casestudy.pdf. 02.04.2020.
- URL-19, https://www.sageglass.com/sites/default/files/mkt_059_kimmel.pdf. 02.04.2020.
- URL-20, <https://www.petermarinoarchitect.com/work/projects/chanel-ginza/info>. 04.04.2020.
- URL-21, <http://www.privalite.com/en/projects/dljm-building-cracow-poland>. 30.03.2020.
- URL-22, http://smartglassinternational.com/wp-content/uploads/Case-Study_East-Wintergarden.pdf. 30.03.2020.
- URL-23, <https://www.archdaily.com/628092/usa-pavilion-milan-expo-2015-biber-architects>. 30.03.2020.
- URL-24, <http://www.smartglass.com/products/#Architectural>. 30.03.2020.
- URL-25, https://www.archdaily.com/321480/or2-project-wins-good-design-award-orproject?ad_source=search&ad_medium=search_result_all. 30.03.2020.

- URL-26, <http://www.iaacblog.com/programs/c-h-r-o-m-a-t-i-c-s-k-i-n-s/>. 01.05.2020.
- URL-27, <https://groupidea.com/image/roof-tiles-color-effect-on-sunlight-reflection-and-absorption-illustration-71f88bed>. 23.02.2020.
- URL-28, <http://news.mit.edu/2009/madmec-roof>. 23.02.2020.
- URL-29, <https://suntuitiveglass.com/dynamic-glass-projects/>. 02.04.2020.
- URL-30, <https://borgheserealestate.nl/portfolio/1530/?lang=en>. 02.04.2020.
- URL-31, http://lindhout.com/work/masco_headquarters/. 02.04.2020.
- URL-32, https://suntuitiveglass.com/wp-content/uploads/2019/01/Com-Brochure.2019_compressed-1.pdf. 02.04.2020.
- URL-33, <https://suntuitiveglass.com/dynamic-glass-projects/>. 02.04.2020.
- URL-34, <https://suntuitiveglass.com/dynamic-glass-projects/>. 02.04.2020.
- URL-35, <https://www.glassonline.com/cambridge-university-chooses-suntuitive-dynamic-glass/>. 02.04.2020.
- URL-36, <https://www.prismarchitectural.co.uk/portfolio/civil-engineering-building-cambridge>. 02.04.2020.
- URL-37, <https://www.em.admin.cam.ac.uk/what-we-do/development-estate/building-projects/civil-engineering-building>. 02.04.2020.
- URL-38, <https://hope.edu/directory/buildings/jack-h-miller-musical-arts-ctr/index.html>. 02.04.2020.
- URL-39, <https://hga.com/projects/hope-college-jack-h-miller-center-for-musical-arts/>. 02.04.2020.
- URL-40, <https://spaces4learning.com/articles/2017/10/01/hope-college.aspx>. 02.04.2020.
- URL-41, <http://www.suntuitiveglass.eu/wp-content/uploads/2018/10/brochure-lead-S11.pdf>. 02.04.2020.
- URL-42, <http://www.suntuitiveglass.eu/wp-content/uploads/2018/10/Suntuitive-Commercial-Brochure.pdf>. 02.04.2020.
- URL-43, <https://www.hobbs-black.com/first-and-main-senior-living>. 02.04.2020.
- URL-44, <http://www.grangerconstruction.com/project/first-main-of-metro-health-village/>. 02.04.2020.
- URL-45, <http://www.suntuitiveglass.eu/projects/>. 02.04.2020.
- URL-46, <https://www.progressiveae.com/portfolio/west-michigan-regional-airport/>. 02.04.2020.

- URL-47, <https://suntuitiveglass.com/west-michigan-regional-airport-installation%ef%bb%bf/>. 02.04.2020.
- URL-48, <http://www.aee.at/aee/zeitschrift-erneuerbare-energie?id=583>. 04.05.2020.
- URL-49, https://www.greentalents.de/science-forum_fraunhofer-ise.php. 4.5.2020.
- URL-50, <http://www.bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/bu-malzemelerin-hafizasi-var>. 01.03.2020.
- URL-51, https://issuu.com/natalia_aloupi/docs/shape_memory_materials_designer_s_m. 01.03.2020.
- URL-52, <https://www.archdaily.com/101578/moving-homeostatic-facade-preventing-solar-heat-gain>. 06.05.2020.
- URL-53, https://www.fastcompany.com/1662975/mighty-building-facade-beats-solar-heat-with-mechanical-muscles?utm_medium=website&utm_source=archdaily.com. 06.05.2020.
- URL-54, <https://technologyinarchitecture.com/homeostatic-facade/>. 06.05.2020.
- URL-55, <https://www.archdaily.com/533679/how-do-mysterious-memory-materials-work>. 06.05.2020.
- URL-56, https://www.archdaily.com/catalog/us/products/17017/facade-cladding-microsoft-germany-hq-corian-exterior?ad_source=search&ad_medium=search_result_all. 06.05.2020.
- URL-57, https://www.archdaily.com/catalog/us/products/17017/facade-cladding-microsoft-germany-hq-corian-exterior?ad_source=search&ad_medium=search_result_all. 06.05.2020.
- URL-58, <https://www.keim.com/en-gb/project-gallery/detailed-view-uk/battersea-power-station-chimneys/>. 30.03.2020.
- URL-59, https://www.archdaily.com/catalog/us/products/14888/exterior-mineral-paint-keim-soldalit-me-keim?ad_source=neufert&ad_medium=company_landing_page&ad_name=company_product. 30.03.2020.
- URL-60, <https://www.keim.com/en-gb/project-gallery/detailed-view-uk/madame-tussauds/>. 30.03.2020.
- URL-61, https://www.archdaily.com/catalog/us/products/14888/exterior-mineral-paint-keim-soldalit-me-keim?ad_source=neufert&ad_medium=company_landing_page&ad_name=company_product. 30.03.2020.
- URL-62, <https://www.keim.com/en-gb/project-gallery/detailed-view-uk/madame-tussauds/>. 30.03.2020.

- URL-63, <https://www.dezeen.com/2014/05/13/italy-milan-expo-pavilion-nemesi-air-cleaning-facade/>. 30.03.2020.
- URL-64, <https://interestingengineering.com/building-covered-smog-eating-concrete>. 30.03.2020.
- URL-65, <http://maeda-inc.jp/works/%e7%be%a4%e5%b3%b0%e3%81%ae%e6%a3%ae-cosmic/>. 25.03.2020.
- URL-66, <https://www.dezeen.com/2014/07/24/cosmic-house-japan-uid-architects/>. 25.03.2020.
- URL-67, <http://www.yka.co.jp/gallery2/tetotenote.html>. 30.03.2020.
- URL-68, <https://www.dezeen.com/2017/06/03/oblong-windows-puncture-concrete-walls-japanese-office-yoshihiro-kato-atelier-architecture-offices/>. 30.03.2020.
- URL-69, <https://www.theblm.com/video/what-are-smog-eating-buildings>. 03.04.2020.
- URL-70, <http://www.prosolve370e.com/home>. 03.04.2020.
- URL-71, https://neufertcdn.archdaily.net/uploads/product_file/file/68160/Product_Brochure.pdf. 03.04.2020.
- URL-72, <https://www.archdaily.com/874298/brise-soleil-house-ruben-muedra-estudio-de-arquitectura>. 03.04.2020.
- URL-73, <https://www.richardmeier.com/?projects=jubilee-church-2>. 03.04.2020.
- URL-74, <https://www.lehighhanson.com/products/cement/tx-active>. 03.04.2020.
- URL-75, <http://www.arcvision.org/jubilee-church/?lang=en>. 03.04.2020.
- URL-76, <https://www.archdaily.com/867288/cefn-castell-stephenson-studio>. 03.04.2020.
- URL-77, <https://www.keim.com/en-gb/project-gallery/detailed-view-uk/cefn-castell/>. 03.04.2020.
- URL-78, <https://www.saint-gobain-facade-glass.com/references/product/739>. 03.04.2020.
- URL-79, <https://salto.ee/projects/sports-hall-of-the-estonian-university-of-life-sciences/>. 03.04.2020.
- URL-80, <https://www.saint-gobain-facade-glass.com/references/product/266>. 03.05.2020.
- URL-81, <http://www.grupa5.com.pl/projekty/budynki-publiczne/wroclaw-dworzec>. 03.05.2020.
- URL-82, <https://www.heidelbergcement.com/en/magnet-residential-center>. 04.04.2020.
- URL-83, <https://www.richardmeier.com/?projects=italcementi-i-lab-2>. 04.04.2020.

- URL-84, https://www.archdaily.com/322819/italcementi-i-lab-richard-meier-partners?ad_source=search&ad_medium=search_result_all. 04.04.2020.
- URL- 85, <https://tr.decoratex.biz/kraski/fluorescentnaya/>. 23.06.2020.
- URL-86, <https://www.archdaily.com>. 04.04.2020.
- URL-87, <https://www.dezeen.com/2015/07/11/can-misses-hospital-ibiza-spain-photo-luminescent-stripes-glow-night/>. 30.03.2020.
- URL-88, <https://www.luisvidal.com/en/pdfs/hospital-can-misses-y-centro-de-salud-ibiza.pdf>. 30.03.2020.
- URL-89, <http://www.lucedentro.com/en/blog-en/8-photoluminescent-work-of-art/>. 06.04.2020.
- URL-90,
https://tr.wikipedia.org/wiki/Boyaya_duyarl%C4%B1_g%C3%BCne%C5%9F_pilleri. 06.05.2020.
- URL-91, <https://inhabitat.com/smart-wrap/>. 06.05.2020.
- URL-92, <https://kierantimberlake.com/pages/view/28>. 06.05.2020.
- URL-93, <https://www.dbz.de/download/428224/voltarlux.pdf>. 30.03.2020.
- URL-94, <https://kierantimberlake.com>. 30.03.2020.
- URL-95, <https://www.dbz.de/download/428224/voltarlux.pdf>. 30.03.2020.
- URL-96, <https://www.berlin.de/en/airports-and-stations/1833747-2932875-station-hauptbahnhof-central-station.en.html>. 06.04.2020.
- URL-97, <https://solarchitecture.ch/timeline/lerther-railway-station/>. 06.04.2020.
- URL-98, <https://www.archdaily.com/519434/epfl-quartier-nord-swisstech-convention-center-retail-and-student-housing-richter-dahl-rocha-and-associes>. 06.04.2020.
- URL-99, <https://www.solaronix.com/>. 06.04.2020.
- URL-100, <http://www.opvius.com/project-title-marburg.html>. 06.04.2020.
- URL-101, <http://www.opvius.com/energy-generating-shade-sail-in-shape-of-african-continent.html>. 06.04.2020.
- URL-102, <https://solarchitecture.ch/stadtwerke-konstanz/>. 06.04.2020.
- URL-103, <https://solarchitecture.ch/silo-bleu/>. 06.04.2020.
- URL-104, <https://solarchitecture.ch/in-a-nutshell-solarsilo/>. 06.04.2020.

- URL-105, <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/telefonunuzu-sarj-ede-bilen-mobilyalar>. 02.03.2020.
- URL-106, <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/telefonunuzu-sarj-ede-bilen-mobilyalar> 23.05.2020.
- URL-107, <http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/piroelektrik-pyroelectric.html>. 02.03.2020.
- URL-108, <https://www.muhandisbeyinler.net/termal-sensorler/>. 02.03.2020.
- URL-109, <https://www.archdaily.com/138218/icon-innovation-center-consarc-architects/>. 29.03.2020.
- URL-110, <https://www.e-architect.co.uk/products/dupont-energain>. 29.03.2020.
- URL-111, www.energain.co.uk. 29.03.2020.
- URL-112, <https://www.stavbaweb.cz/mezinarodni-projekt-self-sobstane-bydleni-5418/clanek.html>. 29.03.2020.
- URL-113, <https://www.designcabinet.cz/doporucujeme/duponttm-energain>. 29.03.2020.
- URL-114, <https://www.wiconafinder.com/en/references/france/busipolis/>. 29.03.2020.
- URL-115, [http://www.edsl.myzen.co.uk/downloads/misc/DuPont%20ENERGAIN\(r\)%20PC M%20Guidebook_December%202010.pdf](http://www.edsl.myzen.co.uk/downloads/misc/DuPont%20ENERGAIN(r)%20PC%20M%20Guidebook_December%202010.pdf). 29.03.2020.
- URL-116, https://www.brikbases.org/sites/default/files/BEST4_2.2%20kosny.pdf. 29.03.2020.
- URL-117, <https://elemental.green/crossway-passive-house-an-unbelievable-eco-arch-in-the-countryside/>. 29.03.2020.
- URL-118, <http://www.hawkesarchitecture.co.uk/crossway/>. 29.03.2020.
- URL-119, <https://www.detail-online.com/article/marche-international-support-office-zero-energy-architecture-in-switzerland-13794/>. 29.03.2020.
- URL-120, <https://inhabitat.com/phase-change-glassx-windows-offer-amazing-performance/>. 29.03.2020.
- URL-121, https://www.sustainablesteel.eu/p/558/pcm_projects.html. 04.4.2020.
- URL-122, <https://www.archdaily.com/350880/wilo-benthem-crouwel-architects>. 04.04.2020.
- URL-123, <https://haliccevre.com/termal-konfor-nedir/>. 04.04.2020.

ÖZGEÇMİŞ

1993 yılında Samsun'da doğdu. Canik İMKB Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2012 yılında lise eğitimine başladı. 2017 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'nden mezun oldu. Lise ve üniversitede yabancı dil eğitimi aldı. 2017 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mimarlık Anabilim Dalı'nda tezli yüksek lisans eğitimine başladı. 2019 yılından beri Kırklareli Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

