

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MİMARLIK ANABİLİM DALI**

**AKILLI MALZEMELERİN MİMARİDE KULLANIM OLANAKLARI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mimar Özge YÜKSEL AYVAZ**

**HAZİRAN 2019  
TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MİMARLIK ANABİLİM DALI**

**AKILLI MALZEMELERİN MİMARİDE KULLANIM OLANAKLARI**

**Mimar Özge YÜKSEL AYVAZ**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde**  
**'YÜKSEK MİMAR'**

**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20 / 05 / 2019**

**Tezin Savunma Tarihi : 14 / 06 / 2019**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Nilhan VURAL**

**Trabzon 2019**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Mimarlık Anabilim Dalında  
Özge YÜKSEL AYVAZ Tarafından Hazırlanan**

**AKILLI MALZEMELERİN MİMARİDE KULLANIM OLANAKLARI**



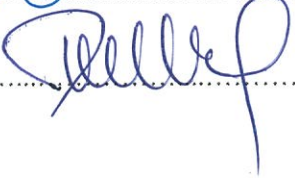
başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 28 / 05 / 2019 gün ve 1806 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Prof. Dr. Asiye PEHLEVAN**

**Üye : Doç. Dr. Ahmet Vefa ORHON**

**Üye : Doç. Dr. Nilhan VURAL**

**Prof. Dr. Asim KADIOĞLU  
Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

‘Akıllı Malzemelerin Mimaride Kullanım Olanakları’ adlı bu çalışma KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı Yapı Bilgisi Bilim Dalı Yüksek Lisans Programı’nda hazırlanmıştır.

Tez danışmanlığımı üstlenerek çalışmanın başından sonuna kadar her konuda desteğini esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Nilhan VURAL’a, tez jürimde yer alan değerli hocam Prof. Dr. Asiye PEHLEVAN ve Doç. Dr. Ahmet Vefa ORHON’a; bu çalışmanın gerçekleşmesinde her koşulda desteklerini esirgemeyen eşim Emrah AYVAZ’a, aileme, Murat Eray KORKMAZ’a; Sivas Vakıflar Bölge Müdürü Cemal KARACA’ya, Sivas Vakıflar Bölge Müdürlüğü çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Özge YÜKSEL AYVAZ

Trabzon 2019

## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Akıllı Malzemelerin Mimaride Kullanım Olanakları” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Nilhan VURAL‘ın 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. 14/06/2019

Özge YÜKSEL AYVAZ

## 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.....	XVIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.1.1. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı.....	2
1.2. Akıllı Malzemeler.....	3
1.2.1. Akıllı Malzeme Kavramı.....	3
1.2.2. Akıllı Malzemelerin Tarihsel Gelişimi.....	4
1.2.3. Akıllı Malzemelerin Kullanım Alanları.....	5
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	6
2.1. Literatür Çalışması ve Analizler.....	6
2.1.1. Akıllı Malzemelerin Mimaride Kullanımı.....	9
2.1.1.1. Özellik Değiştiren Akıllı Malzemeler.....	12
2.1.1.1.1. Renk ve Optik Özelliklerini Değiştiren Akıllı Malzemeler.....	12
2.1.1.1.1.1. Elektrokromik Malzemeler.....	14
2.1.1.1.1.1.1. Uygulama Alanları.....	22
2.1.1.1.1.1.2. Avantajları ve Dezavantajları.....	23
2.1.1.1.1.1.3. Yapı Elemanlarında Uygulanması.....	25
2.1.1.1.1.1.3.1. Duvar Yüzeyinde Kullanımı ile İlgili Örnekler.....	26
2.1.1.1.1.1.3.2. Çatı Yüzeyinde Kullanımı ile İlgili Örnekler.....	30
2.1.1.1.1.2. Fotokromik Malzemeler.....	34
2.1.1.1.1.2.1. Uygulama Alanları.....	37
2.1.1.1.1.2.2. Avantajları ve Dezavantajları.....	37
2.1.1.1.1.2.3. Yapı Elemanlarında Uygulanması.....	38
2.1.1.1.1.2.3.1. Strüktürel Kullanımı ile İlgili Örnek.....	39

2.1.1.1.1.3.	Termokromik Malzemeler.....	40
2.1.1.1.1.3.1.	Uygulama Alanları.....	44
2.1.1.1.1.3.2.	Avantajları ve Dezavantajları.....	45
2.1.1.1.1.3.3	Yapı Elemanlarında Uygulanması.....	47
2.1.1.1.1.3.3.1.	Duvar Yüzeyinde Kullanımı ile İlgili Örnekler.....	49
2.1.1.1.1.3.3.2.	Döşeme Yüzeyinde Kullanımı ile İlgili Örnek.....	55
2.1.1.1.1.3.3.3.	Çatı Yüzeyinde Kullanımı ile İlgili Örnek.....	56
2.1.1.1.1.3.3.4.	Strüktürel Kullanımı ile İlgili Örnek.....	57
2.1.1.1.1.4.	Gazokromik Malzemeler.....	58
2.1.1.1.1.4.1.	Uygulama Alanları.....	61
2.1.1.1.1.4.2.	Avantajları ve Dezavantajları.....	61
2.1.1.1.1.4.3.	Malzemenin Kullanıldığı Örnekler.....	62
2.1.1.1.2.	Adezyon Değiştiren Akıllı Malzemeler.....	62
2.1.1.1.2.1.	Fotokatalitik Malzemeler.....	63
2.1.1.1.2.1.1.	Uygulama Alanları.....	70
2.1.1.1.2.1.2.	Avantajları ve Dezavantajları.....	70
2.1.1.1.2.1.3.	Yapı Elemanlarında Uygulanması .....	72
2.1.1.1.2.1.3.1.	Duvar Yüzeyinde Kullanımı ile İlgili Örnekler.....	75
2.1.1.1.2.1.3.2.	Çatı Yüzeyinde Kullanımı ile İlgili Örnekler.....	97
2.1.1.1.2.1.3.3.	Döşeme Yüzeyinde Kullanımı ile İlgili Örnekler.....	108
2.1.1.1.3.	Şekil Değiştiren Akıllı Malzemeler.....	111
2.1.1.1.3.1.	Şekil Hafızalı Alaşımlar.....	111
2.1.1.1.3.1.1.	Uygulama Alanları.....	117
2.1.1.1.3.1.2.	Avantajları ve Dezavantajları.....	119
2.1.1.1.3.1.3.	Yapı Elemanlarında Uygulanması .....	120
2.1.1.1.3.1.3.1.	Döşeme Yüzeyinde Kullanımı ile İlgili Örnek.....	121
2.1.1.1.3.1.3.2.	Çatı Yüzeyinde Kullanımı ile İlgili Örnek.....	122
2.1.1.1.3.1.3.3.	Strüktürel Kullanımı ile İlgili Örnek.....	123
2.1.1.2.	Enerji Alışverişi Yapan Akıllı Malzemeler.....	124
2.1.1.2.1.	Faz Değiştiren Akıllı Malzemeler.....	124
2.1.1.2.1.1.	Uygulama Alanları.....	133
2.1.1.2.1.2.	Avantajları ve Dezavantajları.....	134
2.1.1.2.1.3.	Yapı Elemanlarında Uygulanması.....	135

2.1.1.2.1.3.1.	Duvar Yüzeyinde Kullanımı ile İlgili Örnekler.....	137
2.1.1.2.1.3.2.	Çatı Yüzeyinde Kullanımı ile İlgili Örnek.....	145
2.1.1.2.1.3.3.	Döşeme Yüzeyinde Kullanımı ile İlgili Örnek.....	146
2.1.1.2.2.	Elektrik Üreten Akıllı Malzemeler.....	147
2.1.1.2.2.1.	Piezoelektrik Malzemeler .....	147
2.1.1.2.2.1.1.	Uygulama Alanları.....	151
2.1.1.2.2.1.2.	Avantajları ve Dezavantajları.....	152
2.1.1.2.2.1.3.	Yapı Elemanlarında Uygulanması.....	153
2.1.1.2.2.1.3.1.	Strüktürel Kullanımı ile İlgili Örnek.....	154
2.1.1.2.2.2.	Piroelektrik Malzemeler.....	155
2.1.1.2.2.2.1.	Uygulama Alanları.....	158
2.1.1.2.2.2.2.	Avantajları ve Dezavantajları.....	158
2.1.1.3.	Madde Alışverişi Yapan Akıllı Malzemeler.....	159
2.1.1.3.1.	Gaz/Su Depolayan Akıllı Malzemeler.....	159
2.1.1.3.1.1.	Mineral Emilimi Yapan Malzemeler.....	159
2.1.1.3.1.1.1.	Uygulama Alanları.....	161
2.1.1.3.1.1.2.	Avantajları ve Dezavantajları.....	162
2.1.1.3.1.1.3.	Yapı Elemanlarında Uygulanması.....	163
2.1.1.3.1.1.3.1.	Çatı Yüzeyinde Kullanımı ile İlgili Örnek.....	164
2.2.	Çalışma Kapsamında İncelenen Örneklerin Listesi.....	164
3.	BULGULAR VE İRDELEME.....	178
3.1.	Malzeme Özelinde Yapılan Bulgular ve İrdeleme.....	178
3.2.	Genel Bulgular ve İrdeleme.....	185
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	194
4.1.	Akıllı Malzemelerin Mimaride Kullanımı ile İlgili Sonuçlar.....	194
4.2.	Genel Sonuçlar.....	196
4.3.	Öneriler.....	197
5.	KAYNAKLAR.....	198
ÖZGEÇMİŞ		



Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

AKILLI MALZEMELERİN MİMARİDE KULLANIM OLANAKLARI

Özge YÜKSEL AYVAZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Mimarlık Anabilim Dalı  
Danışman: Doç. Dr. Nilhan VURAL  
2019, 216 Sayfa

Günümüzde mimari tasarımların değişken, çevresel uyaranlara yanıt veren, kullanıcıya kolaylık sağlayan bir anlayışta olması istenmektedir ve bu anlayış doğrultusunda akıllı malzeme kavramı mimari tasarımlarda daha da fazla yer almaktadır.

Akıllı malzemeler fiziksel, kimyasal ve biyolojik dış uyaranlara karşı kendi kendini harekete geçirerek özelliklerini değiştiren, enerji ve/veya madde alışverişi yaparak cevap veren, tepkileri öngörülebilir malzemeler olarak tanımlanmaktadır.

Yapılan çalışmanın amacı, her geçen gün hayatın her alanında daha da fazla yer alan ve sunduğu kolaylıklar nedeniyle dikkatleri üzerine çeken akıllı malzemelerin mimaride kullanım olanaklarını kapsamlı bir şekilde inceleyerek, detaylı bir çalışma sunmaktır.

Tez kapsamında akıllı malzemelerin türleri, özellikleri, tarihçesi, kullanım alanları, avantajları ve dezavantajları incelenmiş ve malzemelerin uygulama örnekleri analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular ve irdelemeler sonucunda akıllı malzemelerin farklı özelliklere sahip olduğu ve daha çok dış mekanda tercih edildiği, çeşitli malzemelerle birlikte uygulanabildiği, en yaygın kullanılan malzeme türünün adezyon değiştiren akıllı malzeme olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar ve öneriler bölümlerinde akıllı malzemeler ile ilgili avantajlar ve dezavantajlar anlatılarak akıllı malzemelerin uygulanabilirliği incelenmiş ve gelişimi, üretimi devam eden akıllı malzemelerin önümüzdeki süreçte mimarinin üretken ve bütünleştirici bir parçası haline geleceği öngörülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Akıllı malzemeler, Mimarlık, Teknoloji

Master Thesis

SUMMARY

APPLICATIONS OF SMART MATERIALS IN ARCHITECTURE

Özge YÜKSEL AYVAZ

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Architecture Graduate Program

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Nilhan VURAL  
2019, 216 Pages

Nowadays, architectural designs are expected to be in a manner that variable, responsive to environmental stimuli and user friendly and as a result of this manner smart material concept has become more common in architectural designs.

Smart materials are defined as materials that respond to physical, chemical and biological external stimuli by self-activating through changing their properties, exchanging energy and/or substance and have predictable reactions.

The purpose of this study is to present a detailed study by examining the applications of smart materials in architecture, which are increasingly take part in every part of our lives and attract attention due to providing easiness.

Within the scope of the thesis, types, properties, history, usage areas, advantages and disadvantages of smart materials were studied and application examples of smart materials were analyzed. As a result of the findings and discussions, it has been determined that smart materials have different properties and they are mostly preferred outdoor areas, they can be used together with various materials and the most widely used smart material type are the adhesion changing intelligent materials. The advantages and disadvantages of smart materials were explained in the conclusions and recommendations sections and applicability of smart materials were examined and it is foreseen that the smart materials which are developing and producing will become a productive and integrative part of architecture within the next years.

**Key Words:** Smart materials, Architecture, Technology

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Yapı malzemelerinin gelişim süreci.....	3
Şekil 1.2. Akıllı malzemelerin kullanım alanları.....	5
Şekil 2.1. Akıllı malzemelerin mimaride kullanım örnekleri.....	9
Şekil 2.2. Akıllı cam piyasa değeri(geliri) Dünya piyasası 2012-2020.....	13
Şekil 2.3. Renk ve optik özelliklerini değiştiren akıllı malzemelerin sınıflandırılması.....	13
Şekil 2.4. Elektrokromik camda elektriksel alan karşısında gözlenen değişimler.....	16
Şekil 2.5. Tungsten kaplamalı 2 adet cam sol cam renksiz sağ cam Prusya mavisi.....	17
Şekil 2.6. Elektrokromik cam kesiti, çalışma prensibi ve geçirgen ve yansıtıcı konumda davranışı.....	17
Şekil 2.7. Elektrokromik camlar ve geleneksel cam çözümleri.....	18
Şekil 2.8. Farklı oranda uygulanmış elektrokromik camlara ait ışık geçirgenlik oranları.....	19
Şekil 2.9. Elektrokromik camın gün içinde güneş konumuna göre davranışı.....	20
Şekil 2.10. Çeşitli dalga boylarında elektrokromik camların iletim değeri ve renk değişimi.....	21
Şekil 2.11. Elektrokromik cam ve geleneksel cam çözümlerinin mekana etkisi.....	22
Şekil 2.12. Fotokromik cam ve berrak camın güneş ışınımı etkisi altındaki davranışı.....	34
Şekil 2.13. Fotokromik camın çalışma prensibi.....	35
Şekil 2.14. Fotokromik camın oluşumu.....	35
Şekil 2.15. Fotokromik boyanın ışık etkisi ile davranışı.....	36
Şekil 2.16. Fotokromik boyanın ışık etkisi ile renk değişimi.....	37
Şekil 2.17. Termokromik ( $VO^2$ ) cam örneği (a), basit cam örneği (b).....	40
Şekil 2.18. Termokromik cam kesiti.....	41
Şekil 2.19. Farklı sıcaklıklarda termokromik cam çalışma prensibi.....	42
Şekil 2.20. Termokromik camın ısıtıldıktan önce ve sonra normal ve termografik görünüşleri.....	43
Şekil 2.21. Termokromik camın gün içindeki değişimi.....	44
Şekil 2.22. Termokromik boya, Juergen Mayer tarafından.....	45
Şekil 2.23. Termokromik cam yaz ve kış mevsiminde davranışı.....	46
Şekil 2.24. Termokromik camda homojen olmayan görüntü.....	47
Şekil 2.25. Gazokromik cam.....	58

Şekil 2.26. Gazokromik cam çalışma prensibi.....	59
Şekil 2.27. Gazokromik cam kesiti.....	59
Şekil 2.28. Gazokromik cam kimyasal reaksiyon ile değişimi.....	60
Şekil 2.29. Gazokromik cam spektral geçirgenliği değişimi.....	60
Şekil 2.30. Fotokatalitik etkili malzeme yüzeyinde gerçekleşen temizlenme olayının şematik gösterimi.....	63
Şekil 2.31. TiO <sub>2</sub> in fotokatalitik, klorofilin fotosentez etkisi.....	64
Şekil 2.32. Daldırma yönteminin aşamalarının şematik gösterimi.....	65
Şekil 2.33. TiO <sub>2</sub> kaplama yüzeyde UV ışıkla kendini temizleme mekanizması.....	66
Şekil 2.34. TiO <sub>2</sub> kaplamalı cam yüzeyin UV ışıkla kendini temizleme mekanizması.....	67
Şekil 2.35. Kaplanmış ve kaplanmamış yüzeydeki bakterilerin gösterimi.....	67
Şekil 2.36. Fotokatalitik hava temizleme, iç mekan tipik fotokatalitik hava temizleyici.....	68
Şekil 2.37. TiO <sub>2</sub> 'in yerine getirdiği 5 ana görev.....	69
Şekil 2.38. Jübile Kilisesi konumu.....	77
Şekil 2.39. Jübile Kilisesi Mayıs 2017 fotoğrafları.....	77
Şekil 2.40. Vodafone Village konumu.....	81
Şekil 2.41. Vodafone Village Mayıs 2016 fotoğrafları.....	81
Şekil 2.42. Vodafone Village Ekim 2017 fotoğrafları.....	81
Şekil 2.43. Lesu Kilisesi konumu.....	88
Şekil 2.44. Lesu Kilisesi Mayıs 2017 fotoğrafları.....	88
Şekil 2.45. Magnet Yaşam Merkezi konumu.....	90
Şekil 2.46. Magnet Yaşam Merkezi Mayıs 2016 fotoğrafları.....	90
Şekil 2.47. Magnet Yaşam Merkezi Eylül 2016 fotoğrafları.....	90
Şekil 2.48. Muhammed Ali Center konumu.....	92
Şekil 2.49. Muhammed Ali Center Kasım 2016 fotoğrafları.....	92
Şekil 2.50. Muhammed Ali Center Eylül 2017 fotoğrafları.....	92
Şekil 2.51. Bertham ve Judith Kohl Binası konumu.....	95
Şekil 2.52. Bertham ve Judith Kohl Binası Temmuz 2016 fotoğrafları.....	95
Şekil 2.53. Centre Pompidou-Metz konumu.....	101
Şekil 2.54. Centre Pompidou-Metz Haziran 2012 fotoğrafları.....	101
Şekil 2.55. Centre Pompidou-Metz Haziran 2015 fotoğrafları.....	101
Şekil 2.56. Brasilia Stadyumu konumu.....	103
Şekil 2.57. Brasilia Stadyumu Mayıs 2013 fotoğrafları.....	103

Şekil 2.58. Medikal Park Stadyumu konumu.....	105
Şekil 2.59. Medikal Park Stadyumu Mayıs 2018 fotoğrafları.....	105
Şekil 2.60. Adams-Sangamon Parkı konumu.....	109
Şekil 2.61. Adams-Sangamon Parkı Ağustos 2013 fotoğrafları.....	109
Şekil 2.62. Adams-Sangamon Parkı Haziran 2017 fotoğrafları.....	109
Şekil 2.63. Şekil hafızalı alaşımın iki fazının görünüşleri.....	112
Şekil 2.64. Şekil hafıza mekanizmasının mikro ve makro yapı görünüşleri.....	112
Şekil 2.65. William J. Buehler, 1968.....	113
Şekil 2.66. Ni-Ti alaşımlı kancaların ısı etkisi altındaki davranışları.....	114
Şekil 2.67. Ni-Ti tel üzerinde şekil hafıza etkisi.....	115
Şekil 2.68. Şekil hafızalı alaşım kullanılarak geliştirilmiş karıştırma valfi.....	115
Şekil 2.69. Deprem dayanımını arttırmak için şekil hafızalı alaşım kullanımı.....	116
Şekil 2.70. Şekil hafızalı alaşım uygulamaları.....	117
Şekil 2.71. Şekil hafızalı alaşım uygulamaları.....	118
Şekil 2.72. Malzemelerin birim ünite başına depolanan enerji miktarları.....	125
Şekil 2.73. Faz değiştiren malzeme çalışma prensibi.....	126
Şekil 2.74. Faz değiştiren malzemelerin gün içinde yapıya etkisi.....	128
Şekil 2.75. Faz değiştiren cam kesiti, görünüşü, yüksek ve düşük ışıktaki davranışı, faz değiştiren camda ısı transfer süreci.....	129
Şekil 2.76. Faz değiştiren malzemelerin yapıda kullanımı.....	130
Şekil 2.77. Mikrokapsül görünümü.....	130
Şekil 2.78. FDM kullanımı ile geri ödeme süresi hesabı.....	131
Şekil 2.79. Farklı sıcak aralıklarında faz değiştiren malzeme kullanımı.....	132
Şekil 2.80. FDM'lerin yapıda ısıtma ve soğutma amaçlı kullanılması.....	133
Şekil 2.81. FDM'lerin ısı yalıtım amaçlı kullanılması.....	134
Şekil 2.82. Piezoelektrik malzeme devresi.....	148
Şekil 2.83. Kutuplanma süreci.....	148
Şekil 2.84. Doğal piezoelektrik malzemeler.....	149
Şekil 2.85. Piezoelektrik malzemelerin şematik gösterimi.....	149
Şekil 2.86. Kutuplanmış piezoelektrik malzemenin piezoelektrik ve ters piezoelektrik olaylarındaki elektron hareketi.....	150
Şekil 2.87. MATscape projesinde yapı kabuğunda kullanımı önerilen elektrik üretici rüzgâr tüyleri.....	150
Şekil 2.88. Piezoelektrik malzemenin zeminde uygulanması.....	151

Şekil 2.89. Piezoelektrik malzemenin zeminde uygulanması.....	151
Şekil 2.90. Piezoelektrik malzemenin jeneratör ve sensör olarak kullanımı.....	152
Şekil 2.91. Piroelektrik malzeme devresi.....	155
Şekil 2.92. Piroelektrik malzeme çalışma prensibi.....	156
Şekil 2.93. Sıcaklık etkisi ile piroelektrik malzemenin elektrik üretimi.....	156
Şekil 2.94. Piroelektrik malzemelerin farklı sıcaklıklarda üretmiş olduğu elektrik miktarları.....	157
Şekil 2.95. Turmalin kristali.....	157
Şekil 2.96. Piezoelektrik malzemenin termal sensör olarak kullanımı.....	158
Şekil 2.97. Bentonit minerali.....	160
Şekil 2.98. Bentonitin su ile teması sonucu yapısında oluşan değişim.....	160
Şekil 2.99. Bentonitin mimaride kullanımı.....	161
Şekil 2.100. Bentonitin duvarda ve derzde yalıtım amaçlı kullanımı.....	162
Şekil 3.1. Analiz edilen yapıların özelliklerine göre uygulama sayısı.....	186
Şekil 3.2. Analiz edilen yapıların uygulama yıllara göre dağılımı.....	187

## TABLolar DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Tablo 2.1. Örnek analiz tablosu.....	7
Tablo 2.2. Mimaride kullanılan akıllı malzemelerin sınıflandırılması.....	11
Tablo 2.3. Elektrokromik cam performans özellikleri.....	21
Tablo 2.4. Elektrokromik malzemelerin uygulama alanları.....	22
Tablo 2.5. Analizi yapılan örnek listesi.....	25
Tablo 2.6. Miami Üniversitesi Frost Müzik Okulu analiz tablosu.....	26
Tablo 2.7. Chabot Koleji analiz tablosu.....	27
Tablo 2.8. Butler County Sağlık Merkezi analiz tablosu.....	28
Tablo 2.9. Bilim Müzesi analiz tablosu.....	29
Tablo 2.10. CERN Bilim ve Yenilik Küresi analiz tablosu.....	30
Tablo 2.11. Ball State University/Dehority Hall analiz tablosu.....	31
Tablo 2.12. St. Johnsbury Athenaeum analiz tablosu.....	32
Tablo 2.13. America Alışveriş Merkezi analiz tablosu.....	33
Tablo 2.14. Fotokromik kaplı cam ve basit camın termofiziksel özellikleri.....	36
Tablo 2.15 Fotokromik malzemelerin uygulama alanları.....	37
Tablo 2.16. Analizi yapılan örnek listesi.....	38
Tablo 2.17. OR <sup>2</sup> analiz tablosu.....	39
Tablo 2.18. Termokromik cam termofiziksel özellikleri.....	41
Tablo 2.19. Termokromik malzemelerin uygulama alanları.....	45
Tablo 2.20. Analizi yapılan örnek listesi.....	48
Tablo 2.21. Modern Sanat Müzesi analiz tablosu.....	49
Tablo 2.22. Magnusmüller Galerisi analiz tablosu.....	50
Tablo 2.23. Rehau Ecosmart Evi analiz tablosu.....	51
Tablo 2.24. Glasswork PTY LTD Ofis Binası analiz tablosu.....	52
Tablo 2.25. BIG Dutchman Merkezi analiz tablosu.....	53
Tablo 2.26. Hope Koleji Jack H. Miller Müzik Sanatları Merkezi analiz tablosu.....	54
Tablo 2.27. Tate Galeri analiz tablosu.....	55
Tablo 2.28. Atrium Facility Alışveriş Merkezi analiz tablosu.....	56
Tablo 2.29. Dünya analiz tablosu.....	57

Tablo 2.30. Gazokromik malzemelerin uygulama alanları.....	61
Tablo 2.31. Kullanım örnekleri.....	62
Tablo 2.32. Fotokatalitik malzemelerin uygulama alanları.....	70
Tablo 2.33. Analizi yapılan örnek listesi.....	72
Tablo 2.34. Müzik ve Güzel Sanatlar Merkezi analiz tablosu.....	75
Tablo 2.35. Jübile Kilisesi analiz tablosu.....	76
Tablo 2.36. Air France Yönetim Binası analiz tablosu.....	78
Tablo 2.37. Bank HQ analiz tablosu.....	79
Tablo 2.38. Vodafone Village analiz tablosu.....	80
Tablo 2.39. Expo 2015 İtalyan Pavilion analiz tablosu.....	82
Tablo 2.40. MSV Arena Stadyumu analiz tablosu.....	83
Tablo 2.41. Helen De Vos Çocuk Hastanesi analiz tablosu.....	84
Tablo 2.42. AKT-am Kaiser's Turm analiz tablosu.....	85
Tablo 2.43. Kurakuen Evi analiz tablosu.....	86
Tablo 2.44. Lesu Kilisesi analiz tablosu.....	87
Tablo 2.45. Magnet Yerleşim Merkezi analiz tablosu.....	89
Tablo 2.46. Muhammad Ali Center MAC Louisville analiz tablosu.....	91
Tablo 2.47. Monte Verde Kulesi analiz tablosu.....	93
Tablo 2.48. Bertram ve Judith Kohl Binası analiz tablosu.....	94
Tablo 2.49. Manuel Gea Gonzalez Hastanesi analiz tablosu.....	96
Tablo 2.50. Narita Uluslararası Havalimanı 1.Terminal analiz tablosu.....	97
Tablo 2.51. YAS Marina Pisti analiz tablosu.....	98
Tablo 2.52. Dallas Cowboys Stadyumu analiz tablosu.....	99
Tablo 2.53. Centre Pompidou-Metz analiz tablosu.....	100
Tablo 2.54. Brasilia Stadyumu analiz tablosu.....	102
Tablo 2.55. Medikal Park Arena analiz tablosu.....	104
Tablo2.56. East Otel analiz tablosu.....	106
Tablo 2.57. Italcementi Araştırma İnovasyon Merkezi analiz tablosu.....	107
Tablo 2.58. Adams-Sangamon Parkı analiz tablosu.....	108
Tablo 2.59. Yürüyüş yolu analiz tablosu.....	110
Tablo 2.60. Şekil hafızalı alışımın uygulama alanları.....	117
Tablo 2.61. Analizi yapılan örnek listesi.....	120
Şekil 2.62. Dowa Kasai Phoenix Tower analiz tablosu.....	121



Şekil 2.63. San Francisco Bazilikası analiz tablosu.....	122
Şekil 2.64 Bloom analiz tablosu.....	123
Tablo 2.65. Organik, inorganik ve estetik faz değiştiren malzemelerin özellikleri.....	127
Tablo 2.66. Yapı malzemesi içerisindeki FDM'lerin termofiziksel özellikleri.....	132
Tablo 2.67. Faz değiştiren malzemelerin uygulama alanları.....	133
Tablo 2.68. Analizi yapılan örnek listesi.....	136
Tablo 2.69. Solar III analiz tablosu.....	137
Tablo 2.70. Alterswohnen analiz tablosu.....	138
Tablo 2.71. Eulachhof analiz tablosu.....	139
Tablo 2.72. Wohnüberbauung Silence analiz tablosu.....	140
Tablo 2.73. 3 Liter House analiz tablosu.....	141
Tablo 2.74. Badenova Binası analiz tablosu.....	142
Tablo 2.75. Floating Pavilion analiz tablosu.....	143
Tablo 2.76. Cooper Hewitt National Design Müzesi, Smartwrap Pavilion analiz tablosu.....	144
Tablo 2.77. Wilo Nederland Sanayi Binası analiz tablosu.....	145
Tablo 2.78. Ofis Binası analiz tablosu.....	146
Tablo 2.79. Piezoelektrik malzemelerin uygulama alanları.....	151
Tablo 2.80. Analizi yapılan örnek listesi.....	153
Tablo 2.81. Gateshead Millennium Köprüsü analiz tablosu.....	154
Tablo 2.82. Piroelektrik malzemelerin uygulama alanları.....	158
Tablo 2.83. Mineral emilimi yapan akıllı malzemelerin uygulama alanları.....	161
Tablo 2.84. Analizi yapılan örnek listesi.....	163
Tablo 2.85. The Factory analiz tablosu.....	164
Tablo 2.91. Tez kapsamında analiz yapılan örnek listesi.....	165
Tablo 3.1. Mimaride kullanılan akıllı malzemelerin sınıflandırılması.....	178
Tablo 3.2. Renk ve optik özelliklerini değiştiren akıllı malzemelere ait bulgular.....	179
Tablo 3.3. Adezyon değiştiren akıllı malzemelere ait bulgular.....	181
Tablo 3.4. Şekil değiştiren akıllı malzemeye ait bulgular.....	182
Tablo 3.5. Faz değiştiren akıllı malzemelere ait bulgular.....	183
Tablo 3.6. Elektrik üreten akıllı malzemelere ait bulgular.....	184
Tablo 3.7. Gaz ve su depolayan akıllı malzemeye ait bulgular.....	185
Tablo 3.8. Analiz edilen yapıların özelliklerine göre uygulama sayısı.....	186

Tablo 3.9. Analiz edilen yapıların uygulama yıllara göre dağılımı.....	188
Tablo 3.10. Analiz edilen yapıların işlevlerine göre dağılımı.....	189
Tablo 3.11. Analiz edilen yapıların ülkelere göre dağılımı.....	190
Tablo 3.12. Analiz edilen yapıların uygulama yerlerine göre dağılımı.....	191
Tablo 3.13. Analiz edilen yapıların uygulandıkları yüzey malzemesine göre dağılımı.....	192



## SEMBOLLER DİZİNİ

EC	: Elektrokromik
FDM	: Faz değiştiren malzeme
G değeri:	Güneş ısısı kazanç katsayısı
k	: Termal iletim
Mab	: Mineral emiciler
Mad	: Mineral adsorbanlar
Ni-Ti	:Nikel Titanyum
PCM	: Faz değiştiren malzeme
PYEG	: Piezoelektrik üretici
PZT	: Kurşun zirkonat titanat
rsol	: Solar yansırma
rvis	: Görülebilir ışık yansırması
s	: Kalınlık
SMA	: Şekil hafızalı alaşım
ST	: Güneş ısısı geğirgenliği
ŐHA	: Şekil hafızalı alaşım
Tdw-k	: Güneş enerjisi renk soldurma etkisi
TiO <sub>2</sub>	:Titanyum dioksit
tsol	: Solar geçirgenlik
tvis	: Görülebilir ışık geğirgenliği
U değeri:	Işık geçirgenlik katsayısı
UV	: Ultraviyole
VLT	: Görülebilir ışık geğirgenliği
VO <sub>2</sub>	: Vanadyum dioksit
WO <sub>3</sub>	: Tungsten trioksit
e	: Termal salınım
θ	: Değme açısı

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

İnsanlar değişik amaçlı eylemlerini buldukları ortamda yerine getirmek durumundadırlar. Doğal çevre içinde gerçekleştiremeyecekleri birtakım eylemlerini gerçekleştirmek için çevrelerini değiştirip düzenleyerek kendilerine yapay çevreler oluştururlar. İnsanların kendi çevrelerini oluşturma özelliği mimarlığın ve mimaride kullanılan malzeme gelişiminin temelini oluşturmaktadır (Aykanat, 2003).

Mimarlık ve malzeme bir bütün olarak düşünülebilir. Geçmişten günümüze ortam şartlarına ve imkanlara bağlı olarak her dönemde insanlar kullandıkları malzemeler ile mekan yaratmışlar, yaşamlarını değişen şartlar etkisi ile birlikte gelişen malzemeleri kullanarak sürdürmüşlerdir.

İnsanlığın bugünkü çağdaş uygarlık düzeyinde ileri ve çeşitli niteliklere sahip yapı malzemelerini üretmesi kolay olmamıştır. İnsan yaşamının başlangıcından beri süregelen gelişmeler, sürekli ve yüzyıllarca süren denemeler günümüzdeki yapı malzemelerinin nitelik ve nicelik zenginliğini sağlamıştır (Akman, 2003).

Malzeme, oluştuğu ortamın koşul farklılıklarını ve çevreyi mikro ya da makro ölçekte bünyesine katması sonucunda yapısındaki özelliklerin çeşitlenmesiyle özelleşmektedir. Malzeme üzerinde oluşan bu ayrıcalıklı durum malzeme için net bir tanımlama yapılmasını zorlaştırmaktadır. Bu oluşum çeşitliliği, malzemenin özelliklerini standartlaştırmak ve performanslarında kararlılık isteyen malzeme mühendisleri ve mimarlar için arzu edilmeyen bir durum olmasına karşın, gerçekte mimar ve tasarımcılara gizemli, derinliği, yüksek enerjisi ve zengin seçeneği olan bir veri alanı kazandırmaktadır. Böylece doğal ya da yapay olsun malzeme, farkına varılan yeni durumlarıyla ve tüm potansiyelleriyle, teknolojik gelişmelerin de katkısıyla mimaride kavramların oluşum sürecinden, nano ölçeğe kadar tasarımın her seviyesinde ve farklı topolojilerde yer almaya başlamıştır (Gezer, 2011).

Teknik ve bilimsel çabalar ile dünya, hızla ilerleyen teknolojik bir gelişim evresine girmiş ve böylece yepyeni üretim ve yaşama düzenleri ortaya çıkmıştır (Hasol, 2018). Yapı ve yapım alanındaki bu ilerleme, yeni yapı sistemleri, yeni yapım teknikleri ve bileşenleri küçülen yeni malzeme olanaklarını da beraberinde getirmiştir (Eşsiz ve Özgen, 1999).

Giderek minyatürleşen materyaller benzerlerinden farklılaşmakta ve bazı çok özel karakteristik özellikleri bünyesinde toplamaktadır. Artık duyarlılık, kullanışlı olma, bilgi toplayabilme ve karar verebilme gibi özellikler tek bir üründe toplanabilmektedir. Çevremizdeki pek çok ürün gün geçtikçe daha akıllı hale gelmekte ve tüm bu gelişimlerin sonucu olarak akıllı malzemeler insan yaşamında her geçen gün gelişim göstererek daha çok yer sahibi olmaktadır (Kayacan, 2008).

Malzeme biliminde alışılmış anlayış, malzemelerin mümkün olduğunca niteliklerini korumasıdır. Malzemedeki kullanım boyunca değişime uğramaması dışında bir beklentisi olmayan (klasik) malzeme anlayışının aksine akıllı malzeme anlayışında malzemedeki dış uyaranlara karşı işlevlerine yardımcı olacak faydalı nitelik değişimleri yapması beklenmektedir (Orhon, 2012).

### **1.1.1. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı**

Günümüzde mimari tasarımların çevresel uyaranlara yanıt veren bir anlayışta olması beklenmektedir. Akıllı malzemeler bu ihtiyacı karşılamakta ve akıllı malzemelerin uygulama alanı giderek artmaktadır. Sağlık, kimya, fizik, tekstil, havacılık ve uzay çalışmaları, iletişim vb. gibi yaygın bir kullanım alanına sahip akıllı malzemeler mimari alanda da geniş bir uygulama alanına sahiptir.

Akıllı malzemelerin mimaride kullanım olanaklarını inceleyen bu tez çalışmasında;

- Akıllı malzemelerin mimari ile olan ilişkisini irdelemek,
- Geleneksel malzemeler ile akıllı malzemelerin farkını ve akıllı malzemelerin tercih edilme nedenlerini ortaya koymak,
- Mimari alanda kullanım alanına sahip akıllı malzemeleri uyarıcılara verdiği tepkiler doğrultusunda sınıflandırarak; özellikleri, geçmişten günümüze gelişimi, uygulama alanları, yüzey-teknoloji-yapı elemanı ilişkisi, avantajları ve dezavantajları, potansiyel kullanım alanları, uygulandığı örnek yapılar analiz edilerek incelemek,
- Bazı malzeme gruplarının örneklerinin günümüzdeki durumlarıyla karşılaştırmasını yaparak kullanılan akıllı malzemenin amacına ulaşp ulaşmadığını sorgulamak,
- Akıllı malzemeler ile ilgili yeterli kaynağın olmaması nedeniyle, çalışmalara kapsamlı bir kaynak oluşturmak, amaçlanmıştır.

Bu tez kapsamında akıllı malzemelerin mimari ile olan ilişkisi uygulama örnekleri analiz edilerek incelenmiş; gelecekte mimaride kullanılabilme potansiyeline sahip ancak günümüzde uygulama örneği bulunmayan akıllı malzemeler değerlendirmeye alınmamıştır. Bunun yanında akıllı sistemler, bilgisayar gibi uyarıcı ile aktive olan malzemeler de kapsam dışı bırakılmıştır.

## 1.2. Akıllı Malzeme

### 1.2.1. Akıllı Malzeme Kavramı

Gelişen teknoloji ile her dönemde yeni malzeme arayışları ortaya çıkmış, kullanıcı ihtiyacını giderme ana amaç olarak düşünülmüş ve böylece yapı malzemelerinde de gelişmeler gözlemlenmiştir. Geçmişte taş, ahşap gibi geleneksel malzemeler yoğunlukla kullanılırken, zaman içerisinde kompozit malzemeler, sürdürülebilir ve modern malzemelerin (akıllı malzemeler, nanomalzemeler) de kullanımıyla yapı malzemelerinde çeşitlilik sağlanmıştır (Şekil 1).

YAPI MALZEMELERİ			
<b>Geleneksel Malzemeler</b> (Tuğla, taş, beton, ahşap, cam ve çelik)	<b>Kompozit Malzemeler</b> (Plastik, karbon fiber)	<b>Sürdürülebilir Malzemeler</b>	<b>Modern Malzemeler</b> (Akıllı malzemeler, nanomalzemeler)

➔

Şekil 1.1. Yapı malzemelerinin gelişim süreci (Mohammed, 2017).

Akıllı malzemeler ısı, sıcaklık, manyetik alan, mekanik etki gibi uyarıcılar etkisi ile malzeme özelinde değişim gösterebilen malzemelerdir.

Bir malzemenin akıllı malzeme olarak nitelendirilmesi için gerekli özellikler nitelik değişimi, enerji dönüşümü ve tersinirliktir.

- Nitelik değişimi: Dış uyaran etkisiyle mikrostrüktürde oluşan değişiklikler malzemenin bir veya birkaç niteliğini (şekil, renk, sertlik, akışkanlık, hal vb.) değiştirir.

- Enerji dönüşümü: Malzemenin mikrostrüktüründe oluşan değişiklikler (faz değişimi) sırasında enerji bir formdan diğerine dönüşür.

- Tersinirlik: malzemede oluşan ‘nitelik değişimi’ veya ‘enerji dönüşümü’ tersinebilir. (Orhon, 2012).

Addington ve Schodek’e göre akıllı malzemelerin özellikleri;

- tepkiyi gerçek zamanda verir.
- birden fazla çevresel koşula tepki verebilir.
- kendi kendine çalışabilir ve harekete geçebilir.
- tepkileri ve sınırları öngörülebilir.
- tepkileri etkinleştiren duruma bağlı olarak sınırlıdır, bölgeseldir (Döşemeciler, 2012).

Akıllı malzemeler geleneksel malzemelere göre;

- daha esnek, daha hafif, korozyon direnci yüksek, daha antimikrobiyal-antibakteriyel özellikte ve kullanıcı odaklıdır (Şekil 1.2) (URL-1, 2018).
- özellikleri talebe göre uyarlanabilir.
- teknolojik gelişmelere daha bağlıdır.
- toplam yaşam döngüsü maliyetleri yüksektir.
- gelişimi için daha çok bilimsel uzmanlık gerektirir.
- üretimi genellikle daha kapsamlıdır.
- yan ürünleri ve geri dönüşümü sınırlıdır.
- tarihsel verileri oldukça sınırlıdır (Curlee vd, 1990)

### 1.2.2. Akıllı Malzemelerin Tarihsel Gelişimi

Akıllı malzemelerin ortaya çıkışı 1900’lü yıllara dayanmakta ve kullanımı son yıllarda giderek artmaktadır.

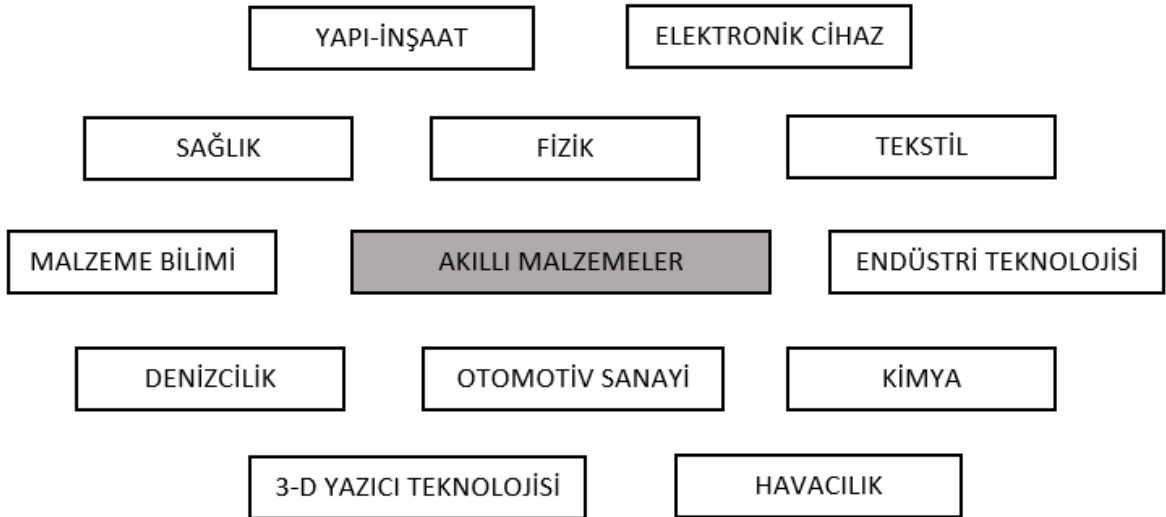
Akıllı malzemelerin tarihsel gelişimi bu başlık altında genel olarak ele alınmış; gelişim süreçleri her malzemenin kendi alt başlığında detaylı olarak verilmiştir:

- 1760-1850: Geleneksel malzemelere karşı yeni malzeme arayışı Sanayi Devrimi ile başlamıştır (Orhon, 2006; Günay 2001).

- 1938: Akıllı malzemeler ile ilgili ilk araştırma Arne OLANGER tarafından yapılmıştır (Bedeloğlu, 2011).
- 1970: ‘Çevresel koşullara yanıt veren mimarlık’ (responsive achitecture) kavramı ilk kez Negroponte tarafından yılında ortaya atılmıştır (Orhon, 2013).
- 1973: Petrol kriziyle birlikte, fosil kaynaklı enerji tüketimini azaltmak için cephe tasarımlarının değiştirilmesi gerektiği, konfor koşullarının daha az enerji tüketerek ve çevreye daha az zarar veren enerji kaynaklarıyla karşılanması gerektiği anlaşılmıştır. Akıllı cephe tasarımlarına geçiş bu dönemde başlamıştır (Orhon, 2014).
- 1981-1987: Kendisini çevresel koşullara uyarlayan bir yapı kabuğu ilk kez Jean Nouvel tarafından tasarlanan ve Paris’te inşa edilen Arap Dünyası Enstitüsü (Institut du Monde Arabe) yapısında uygulanmıştır (Orhon, 2013).

### 1.2.3. Akıllı Malzemelerin Kullanım Alanları

Akıllı malzemeler çeşitli sektörlerde kullanılmakta, yapısında bulundurduğu özellikleri ile birçok ihtiyaca cevap vermektedir. Şekil 1.2 ’de görüldüğü üzere sağlık, fizik, kimya, yapı-inşaat, otomotiv, havacılık vb. sektörlerinde kullanılan akıllı malzemelerin yapı- inşaat alanında mimari ile olan ilişkisi incelenmiştir.



Şekil 1.2. Akıllı malzemelerin kullanım alanları (URL 2 ve 3, 2018).



## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Yapılan tez çalışmasında kapsamlı bir literatür çalışması yapılmıştır. Mimaride kullanılan akıllı malzemeler, uyarıcılara verdiği tepkiler doğrultusunda özelliklerine göre sınıflandırılmış, her bir grubun alt başlığında yer alan malzemelerin;

- özellikleri,
- tarihsel gelişimi
- uygulama alanları,
- avantajları ve dezavantajları
- yapı elemanı, malzeme ve diğer teknolojilerle ilişkisi gibi parametreler göz önüne alınmış ve uygulandığı örnekler detaylı bir şekilde analiz edilerek irdelenmiştir.

### 2.1. Literatür Çalışması ve Analizler

Tez kapsamında yapılan literatür çalışmasında, mimaride kullanılan akıllı malzemeler ile ilgili bilgiler; makale ve bildiriler, doktora ve yüksek lisans tezleri, kitap ve dergiler ile internet kaynaklarından yararlanılarak derlenmiştir. Amaç, literatürde hakkında çok az Türkçe kaynak olan akıllı malzemeler konusunda yapılmış çalışmalarını sentezleyerek araştırmacılara yararlı bilgiler sunabilmektir. Bu amaca yönelik analiz çalışmaları da yapılmış ve Tablo 2.1’de yer alan bilgiler doğrultusunda ilgili yapılar değerlendirilmiş ve çalışma kapsamında 59 örnek analiz edilmiştir.

Tablo 2.1. Örnek analiz tablosu

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>		
Yapının Adı	:	
Yapının Yeri	:	
Yapım Yılı	:	
Tasarım/Proje	:	
Yapının İşlevi	:	
Görseller yer almaktadır.		
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>		
Kullanılan Akıllı Malzeme	:	
Kullanıldığı Yer	:	
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yapı Elemanı	:	
Uygulandığı Yüzey Malzemesi	:	
Kullanım Amacı	:	
Yapıya ve malzemeye ait genel bilgiler yer almaktadır.		Görseller yer almaktadır.

Analiz tabloları, incelenen yapıların kimlik bilgileri, yapıda kullanılan malzemeye ait bilgiler ayrıca her bölümü destekleyen görsellerden oluşmaktadır. Belirtilmiş olan bölümler aşağıda açıklanmıştır.

#### 1. Yapıya ait bilgiler:

- Yapının Adı

Yapının literatürde yer alan adı yer almaktadır.

- Yapının Yeri

Yapının bulunduğu şehir ve ülke yer almaktadır.

- Yapım Yılı

Yapının inşa edildiği yılı belirtmektedir. Tarihi yapı olması durumunda restorasyon yılı da ayrıca belirtilmiştir.

- Mimari Proje

Yapının tasarımını gerçekleştiren kurum/tasarımcıdır.

- Yapının İşlevi

Yapının kullanım amacını ifade etmektedir.

#### 2. Malzemeye ait bilgiler:

- Kullanılan Akıllı Malzeme

Yapıda tercih edilen akıllı malzemenin türünü belirtmektedir.

- Kullanıldığı Yer

Kullanılan malzemenin konumunu belirtmektedir; örneğin dış ortam, iç ortam.

- Uygulandığı Yapı Elemanı

Malzemenin hangi yapı elemanına uygulandığını belirtmektedir; örneğin duvar, döşeme, çatı. Strüktürel uygulamalarda tabloda uygulandığı yapı elemanı bölümü boş bırakılmış olup örnek, 'Strüktürel Kullanımı ile İlgili Örnek' başlığı altında incelenmiştir.

- Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi

Malzemenin ince bir film tabakası şeklinde malzeme yüzeyine uygulandığı veya doğrudan malzeme içeriğine katıldığı yüzey malzemesinin türünü belirtmektedir; cam, beton, metal vb.

- Kullanım Amacı

Malzemenin yapıya hangi özelliğinden dolayı avantaj sağladığı yer almaktadır; örneğin kendi kendini temizleme, yapının daha az enerji tüketmesini sağlamak vb.

#### 3. Yapı ve malzemeye ait genel bilgiler

Bu bölümde yapının tasarımı ile ilgili bilgiler, genellikle akıllı malzeme kullanıma yönelik verilmektedir.

### 2.1.1. Akıllı Malzemelerin Mimaride Kullanımı

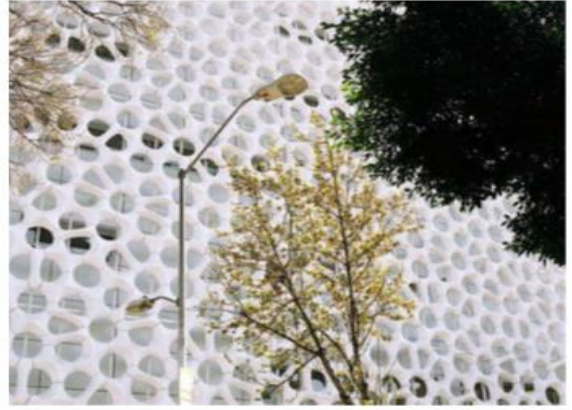
Günümüzde mimari tasarımların esnek, taşınabilir, değişebilir, hareket kapasitesine sahip, çevre ve kullanıcı ile uyumlu olması istenmektedir. Bu yeni eğilim, tasarımları doğaya öykünen anlayışın ötesinde doğanın yaşam ritmine uyum sağlama arayışına götürmekte ve karşılığını akıllı mimaride bulmaktadır (Gezer, 2011).

Teknolojik gelişmeler ile yeni tekniklerin de ortaya çıkması ve yapı malzemelerinin de özelleşmesi sonucunda akıllı malzeme olarak nitelenen ürünler mimaride ve dolayısıyla yaşamımızda yer almaktadır.

Akıllı malzemelerin mimaride kullanımları; sıcaklık, nem, pH, ışık yoğunluğu, elektriksel ve manyetik alan gibi ortam değişikliklerine renk veya transparanlıklarını değiştirerek, iletken hale gelerek, su geçirgen hale gelerek veya şekil değiştirerek cevap özelliklerinden dolayı oldukça yaygınlaşmıştır (Akay, 2014.)



Bloom



Gea Gonzales Hastanesi

Şekil 2.1. Akıllı malzemelerin mimaride kullanım örnekleri ( Wolfson, 2018; URL-4, 2018).

Günümüzde gelişen teknoloji ve üretim yöntemleriyle birlikte kullanılan malzemelerden beklenen özellikler ve değişmiştir. Değişen ve gelişen teknoloji ile birlikte ihtiyaçlara cevap veren akıllı malzemeler gelişimini sürdürecektir ve kullanım alanını giderek arttıracaktır (URL-5, 2019).

Sıcaklık, ışık yoğunluğu, elektriksel ve manyetik alan gibi uyarıcıların etkisiyle bir veya birkaç niteliğini değiştiren akıllı malzemeler özelliklerine göre gruplandırılmıştır. Bu kapsamda mimaride kullanılan akıllı malzemeler;

1. Özellik Değiştiren Akıllı Malzemeler

Renk ve Optik Özelliklerini Değiştiren Akıllı Malzemeler

Adezyon Değiştiren Malzemeler

Şekil Değiştiren Akıllı Malzemeler

2. Enerji Alışverişi Yapan Akıllı Malzemeler

Faz Değiştiren Akıllı Malzemeler

Elektrik Üreten Akıllı Malzemeler

3. Madde Alışverişi Yapan Akıllı Malzemeler

Gaz/Su Depolayan Akıllı Malzemeler

olarak sınıflandırılmaktadır (Ritter, 2007; Casini, 2016).

Özellik değiştiren, enerji alışverişi yapan, madde alışverişi yapan şeklinde genel başlıklar altında sınıflandırılmış olan akıllı malzemeler alt başlıklara indirgenerek uyarıcılara verdiği tepkiler ile birlikte Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2. Mimaride kullanılan akıllı malzemelerin sınıflandırılması (Ritter, 2007; Casini,2016)

MALZEME TÜRÜ		UYARICI	TEPKİ
<b>ÖZELLİK DEĞİŞTİREN AKILLI MALZEMELER</b>			
Renk ve Optik Özelliklerini Değiştiren Akıllı Malzemeler	Elektrokromik	Elektriksel Alan	Renk Değişimi
	Fotokromik	UV Işını	Renk Değişimi
	Termokromik	Sıcaklık	Renk Değişimi
	Gazokromik	Kimyasal Etki	Renk Değişimi
Adezyon Değiştiren Akıllı Malzemeler	Fotokatalitik	UV Işını	Kimyasal Reaksiyon
Şekil Değiştiren Akıllı Malzemeler	Şekil Hafızalı Alaşım (SMA)	Sıcaklık	Şekil Değişimi
<b>ENERJİ ALIŞVERİŞİ YAPAN AKILLI MALZEMELER</b>			
Faz Değiştiren Akıllı Malzemeler	Faz Değiştiren Malzemeler (PCM)	Sıcaklık	Enerji Depolama
Elektrik Üreten Akıllı Malzemeler	Piezoelektrik	Kuvvet (Mekanik Enerji)	Elektriksel Alan
	Piroelektrik	Sıcaklık	Elektriksel Alan
<b>MADDE ALIŞVERİŞİ YAPAN AKILLI MALZEMELER</b>			
Gaz/Su Depolayan Akıllı Malzemeler	Mineral Emilimi Yapan Malzemeler (MAb,MAAd)	Sıcaklık Kimyasal Ortam	Gaz/Su Depolama

Elektrokromik malzeme elektriksel alan, fotokromik malzeme UV ışını, termokromik malzeme ısı etkisi ile, gazokromik malzeme kimyasal reaksiyona bağlı olarak optik özelliklerini değiştirebilen; fotokatalitik malzeme, UV ışığı etkisi ile yüzeydeki kirleri parçalayıp yok edebilen; şekil hafızalı alaşım, dış uyaran etkisi ile şekillerini kontrollü olarak değiştirebilen malzemedir.

Faz değiştiren malzeme, bünyesinde enerji depolayabilmekte; piezoelektrik malzeme mekanik bir basınç etkisi ile, piroelektrik malzeme sıcaklık etkisi ile elektrik üretebilmekte; mineral emilimi yapan malzeme uyarıcı etkisi ile hacim, yoğunluk gibi özelliklerini değiştirebilmektedir.

### 2.1.1.1. Özellik Değiştiren Akıllı Malzemeler

Özellik değiştiren akıllı malzemeler; dış uyaran etkisi ile malzemenin şekil, renk, dayanıklılık, fiziksel hal gibi bir veya birden fazla özelliğinde değişim gerçekleşen malzemelerdir.

#### 2.1.1.1.1. Renk ve Optik Özellik Değiştiren Akıllı Malzemeler

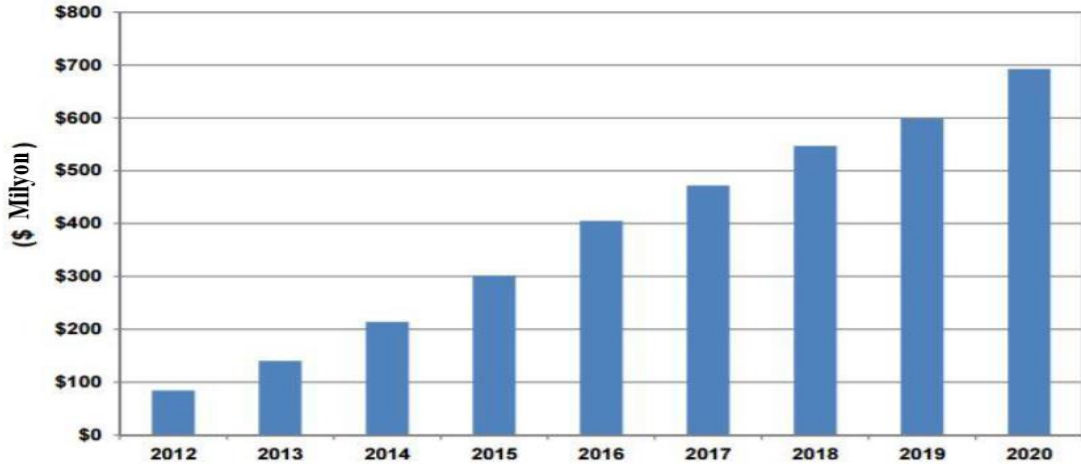
Renk ve optik özelliklerini değiştiren akıllı malzemeler uyarıcı etkisi ile renk ve optik özelliklerini değiştirirler ve kromik malzemeler olarak da adlandırılırlar (Orhon,2012; Ritter, 2007).

Kromizm; çeşitli fiziksel etkiler altında (ısı, ışık, elektrik akımı, çözücü etkisi gibi) moleküler yapıdaki elektronik değişmeye bağlı olarak renkte meydana gelen tersinir değişimdir (Çağlar,2016). Kromik malzemeler ise fiziksel ve kimyasal uyaranlara karşı (ışık, sıcaklık, basınç, elektriksel veya manyetik alan etkisi) renk niteliklerinde (renk, opaklık vb.) oluşan tersinir değişiklikler ile tepki gösteren malzemelerdir (Orhon, 2012; Ritter, 2007).

Kromik malzemeler son yıllarda cam teknolojisinde tercih edilmektedir. Günümüzde ‘akıllı cam’ olarak adlandırılan; üzerlerine düşen ısı, ışık yoğunluğu veya uygulanan elektrik potansiyeline bağlı olarak renk nitelikleri kontrol edilebilen akıllı cephe sistemlerinde kullanılan kromik malzemeler, birçok alanda tercih edilmektedir (Çakmaklı vd., 2015) .

Kromik malzemeler en geniş akıllı malzeme gruplarından biridir (Orhon,2012). Tez kapsamında incelenen malzemeler haricinde pH etkisi ile değişim gösteren halokromik, iyon etkisi ile aktive olan iyonokromik, basınç etkisi ile özellik değiştiren piezokromik ve nem/su etkisi tersinir özellik gösteren higrokromik; kromik malzeme grunda yer alan malzemelerdendir (Erdem İsmal, Yüksel, 2016).

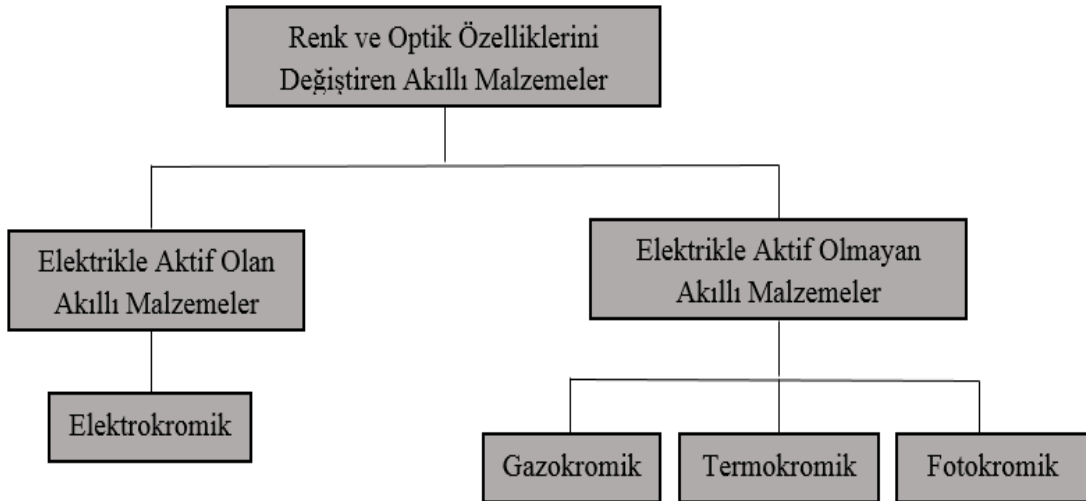
‘Akıllı cam’ terimi ilk olarak 1985’te Svensson ve Granqvist tarafından kullanılmıştır (Pehlivan, 2007). Şekil 2.2’de akıllı camların 2012 ve 2020 yılları arası dünya piyasasında kullanımına ait bir grafik verilmiştir.



Şekil 2.2. Akıllı cam piyasa değeri(geliri) Dünya piyasası 2012-2020 (URL-6, 2017).

Yapılan bir araştırmada akıllı cam pazarı büyüme oranının 2015 yılından 1 yılına kadar %14.7 olacağı belirtilmiştir (URL-6, 2017).

Akıllı malzemeler, elektriksel alan etkisi ile aktif olma durumuna göre iki gruba ayrılmaktadır. Elektrik ile aktif olan malzemeler grubunda elektrokromik malzeme yer alırken; elektrik ile aktif olmayan malzemeler grubunda ise fotokromik, termokromik ve gazokromik malzeme yer almakta olup Şekil 2.3'te ifade edilmektedir (Yaşar vd., 2010).



Şekil 2.3. Renk ve optik özelliklerini değiştiren akıllı malzemelerin sınıflandırılması (Yaşar vd., 2010)



### 2.1.1.1.1. Elektrokromik Malzemeler

Elektrokromizm, elektrokimyasal olarak indirgenme veya yükseltgenme durumunda maddenin optik özelliklerinde gözlenen tersinir değişim olarak tanımlanabilir (Çağlar,2016). Elektrokromik malzemeler ise; elektriksel alan etkisinde optik özelliklerini değiştiren ve elektriksel alan kaldırıldığında optik özelliklerin de eski haline döndüğü saydam yalıtım malzemeleridir (Yeşildal, 2002).

Elektrokromik malzemeler ve renk dönüşümü çok eskiye dayanan bir bilimsel tarihe sahiptir. 1704'te Diesbatch, elektrokromiklerin iyon içeriğinin artması veya azalmasıyla mavi renkten saydam hale geçebilen Prusya mavisini keşfetmiştir (URL-7, 2018). Elektrokromizm 1953 yılında Kraus'un tungsten trioksit malzemesine elektrik alanı ile koyu maviye renk geçişi olduğunu gözlemlemesinin ardından tanınmıştır. 1969 ve 1973 yıllarında S.K. Deb, modern elektrokromizm prensiplerinin kurulduğu molybdenum ve tungsten trioksit çalışmalarını yayınlamıştır (Ritter, 2007). 1990'larda birçok firma her tür amaca uygun elektrokromik cam üretmeye başlamıştır (Pehlivan, 2007). 2004 yılında ise ABD'li araştırmacılar ve Kaliforniya Üniversitesi'nden Fred Wudl tarafından geliştirilen, herhangi başka bir renk oluşturulmasına olanak veren kırmızı ve mavi elektrokromik polimer ile her zaman uygun olan yeşil elektrokromik polimer ürün, kamuya sunulmuştur (Ritter, 2007).

Elektrokromik malzemeler;

- Güneş ve optik geçirgenliği sürekli olup, şeffaf ve renkli yüzeyler arasında yansıtma ve soğurma özelliğine sahiptir.
- Konstrast oranı en fazla 5-1'dir.
- Renklenme ve şeffaf hale dönme süresi yalnızca birkaç dakikadır.
- -20°C ve 80 °C cam yüzey sıcaklığı arasında çalışabilir.
- 1-5 V'luk gerilimlerle ayarlanabilir.
- Birkaç saatlik açık devre hafızasına sahiptir (düzeltici elektrik akımı olmadan sabit iletimini devam etmektedir).
- Kabul edilebilir nötr renktedir.
- Çok iyi optik netliğe sahip geniş alan özelliği vardır.
- Sürdürülebilir performans süresi 20-30 yıldır.
- Kabul edilebilir maliyet 100 \$/m<sup>2</sup>'dir (Licciulli ve Lisi, 2017).
- Kalınlıkları genel olarak 8-22 mm'dir (Yelkenci Sert ve Güzel, 2015).

- Renkli durumdan renksiz duruma geçmesi 30 saniye ile 5-10 dakika arasında değişmektedir (Yener, 2007).

Elektrokromik malzemeler inorganik ve organik malzemeler olarak ikiye ayrılır: İnorganik elektrokromik malzemeler; küçük bir voltaj uygulanması ile iyon ve elektronların içlerine doğru hareket etmesiyle berrak durumdan renkli duruma geçen geçirgen metal oksitlerdir. Organik elektrokromik malzemeler ise farklı renklere sahip okside olmuş ve indirgenmiş bileşenlerin kimyasal oksidasyon-redüksiyon reaksiyonları sonucu oluşan malzemelerdir (Yaşar vd., 2010).

Volfram oksitler, vanadyum, molibden ve titanyum ( $WO_3, V_2O_5, TiO_2$ ) ve kompozit oksitler önemli elektrokromik malzemelerdir. Bronzlar, iridyum hidrat oksitler, rodyum, nikel ve kobalt oksitler ( $IrO_2, RhO_2, NiO, CoO_2$ ) de elektrokromik malzeme olarak kullanılabilir. Elektrokromik malzemeyi renklendirmek için ara katmana hidrojen ve alkali metal, lityum, sodyum veya kalsiyum iyonları eklenir. Renklenmenin yoğunluğu elektrokimyasal aktif filmin kalınlığına ve uygulanan elektrik akımına bağlıdır (Yaşar vd., 2010).

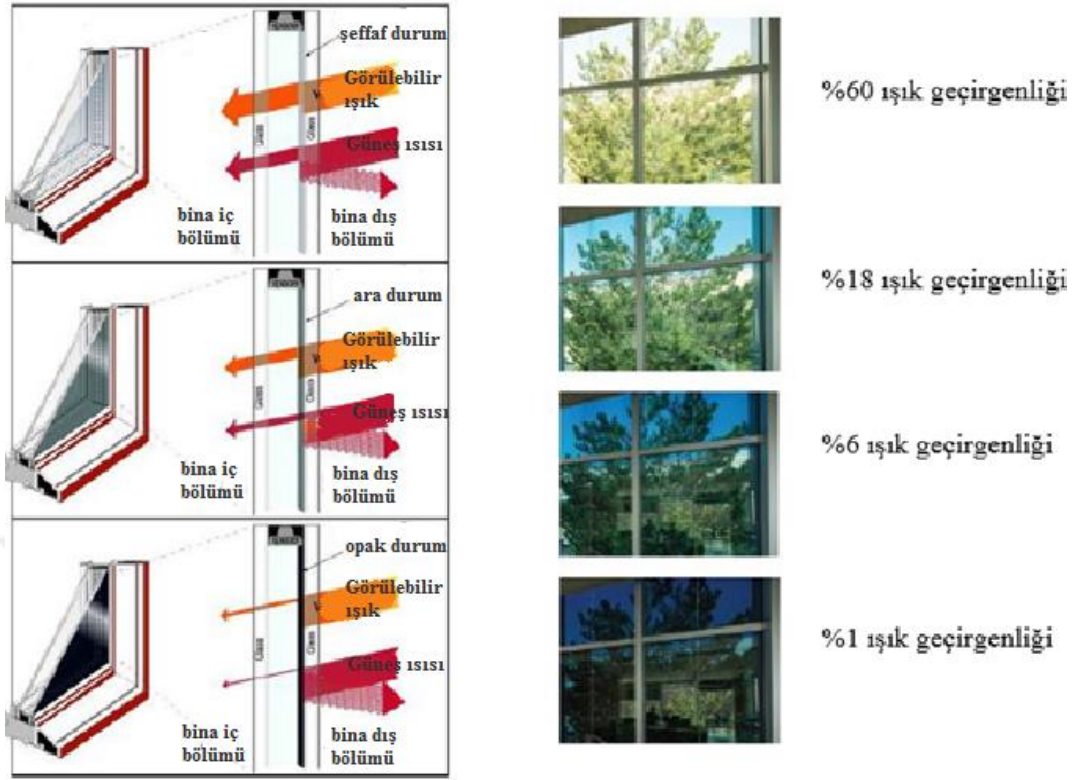
Elektriksel alan etkisi ile optik özelliklerini değiştiren elektrokromik malzemeler cam teknolojisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Cam teknoloji dışında kullanılan ve elektrokromik malzeme olarak belirtilen malzeme, metal oksitlerdir. Elektrokromik malzemeler camlar dışında güneş gözlükleri ve işaret levhalarında da uygulanmaktadır (Çağlar, 2016, Ocak, 2019).

Günümüzde “Akıllı cam” olarak adlandırılan, üzerlerine düşen ısı, ışık yoğunluğu veya uygulanan elektrik potansiyeline bağlı olarak renk nitelikleri kontrol edilebilen akıllı cephe sistemlerinde aktif kontrollü uygulamalarda elektrokromik camlar kullanılmaktadır (Orhon, 2012).

Elektrokromik (EC) cam sistemlerinde yaklaşık 1 mikron kalınlığında çok katmanlı film tabakası olarak uygulanan tungsten oksit film katmanına 1-5 Volt arasında elektrik voltajı uygulanarak cam yüzeyi berrak konumdan renkli konuma geçebilmekte ve böylece cam yüzeyinden gün ışığının geçişi ve güneş ısı kazancı azalmaktadır (Tavil, 2004).

Şekil 2.3’de elektrokromik cam sistemine elektrik akımı uygulandığında renk değişimi, güneş ışığı ve ısı geçirgenliğinde gözlenen değişim, aşamalarıyla gösterilmiştir.

Elektriksel alan uygulanması ile renk değişimi gözlemlenmekte ve aynı oranda ışık geçirgenliği azalmaktadır.



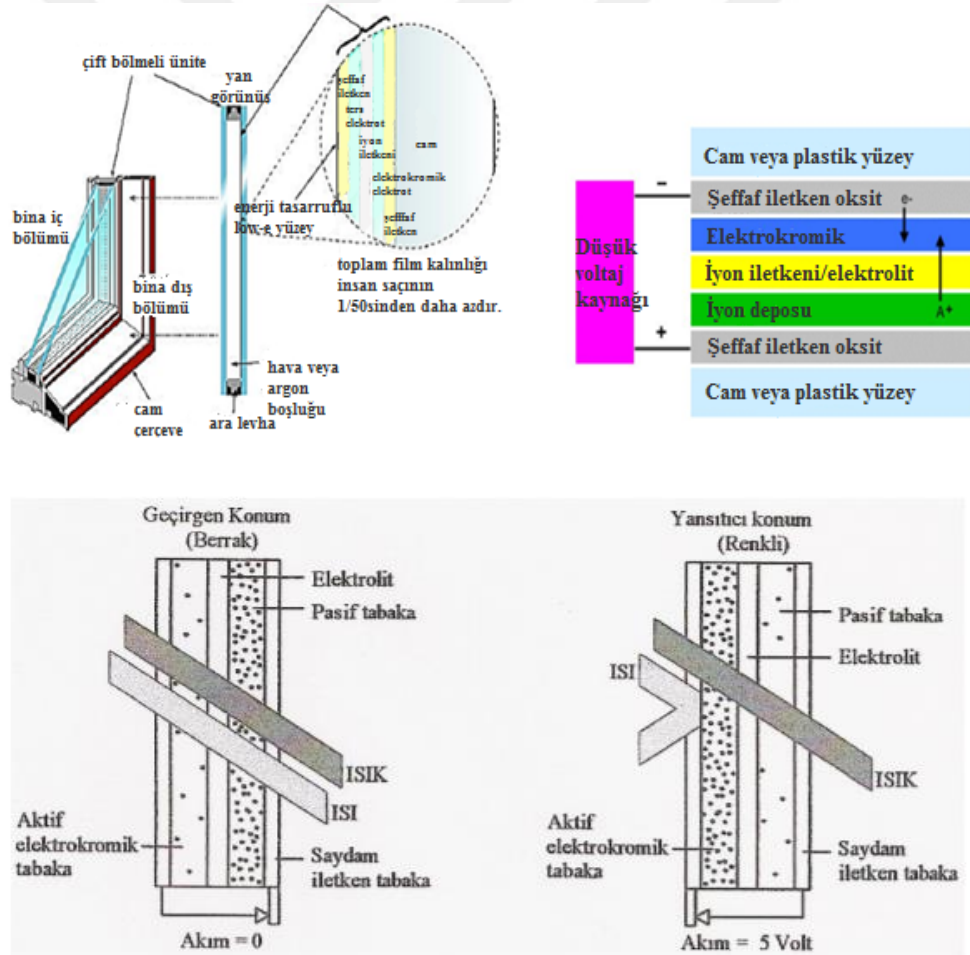
Şekil 2.4. Elektrokromik camda elektriksel alan karşısında gözlenen değişimler (Licciulli ve Lisi, 2017; URL-8, 2017).

Elektrokromik cam sistemleri çok katmanlı film tabakası olarak uygulanan elektrokromik kaplamalardan oluşmaktadır. Elektrokromik kaplamalar 5 tabakadan oluşur ve genellikle nikel veya tungsten metalinden meydana gelir. Bu malzemeler, iki saydam iletken arasına yerleştirilir. İletkenlere voltaj uyguladığımızda cam içinde bir elektrik alanı oluşur. Bu alan yaklaşık 4 mikron büyüklüğündeki renklendirici iyonların (genellikle lityum ve hidrojen) elektrolitten elektrokromik tabakaya doğru hareket etmesini sağlar. Elektrokromik tabakada meydana gelen tepkimeden dolayı elektrokromik yüzey koyulaşır (Prusya mavisi) ve saydam olmayan fotokromik camların koyu yüzeylerine benzer bir yüzey elde edilir. Buna ek olarak, eğer voltajın verildiği kenar bölgelerde iyi bir ayarlama yapılmazsa kenar yüzeyler orta bölgelere göre daha çabuk koyulaşabilmektedir (Kazanasmaz ve Diler, 2011). Şekil 2.5'te tungsten kaplamalı 2 adet cam verilmiştir. Elektrik akımı etkisinde olan cam Prusya mavisi renkte olup, elektriksel alan etkisinde olmayan cam özgün halindedir.



Şekil 2.5. Tungsten kaplamalı 2 adet cam sol cam renksiz sağ cam Prusya mavisi (Kazanasmaz ve Diler, 2011).

Şekil 2.6'da 5 tabakadan oluşan elektrokromik cam kesiti ve bu camın çalışma prensibi görsellerle ifade edilmiştir.



Şekil 2.6. Elektrokromik cam kesiti, çalışma prensibi ve geçirgen ve yansıtıcı konumda davranışı (Licciulli ve Lisi, 2017; Tavitl, 2004)

Elektrokromik camlar genel olarak fazla maliyetli görünse de uzun vadede geleneksel camlardan daha düşük veya aynı oranda maliyetlidir. Güneş ışığını kontrol altına almak amacıyla kullanılacak geleneksel yöntemlerle alınacak önlemlerin maliyeti hızla artmaktadır. Bunlar;

- Panjurlar ( ayrıca kurulum ve bakım)
- Dış mekan güneşlikleri (ayrıca kurulum ve bakım)
- Daha büyük HVAC sistemleri
- Artan enerji kullanımı
- Azami talep ücreti
- Aydınlatma ve soğutma çözümleridir (URL-9, 2017).

Şekil 2.7’de elektrokromik cam ve geleneksel cam baz alınarak güneş ışığını kontrol amaçlı çözüm önerilerinin maliyet olarak karşılaştırılması verilmiştir.



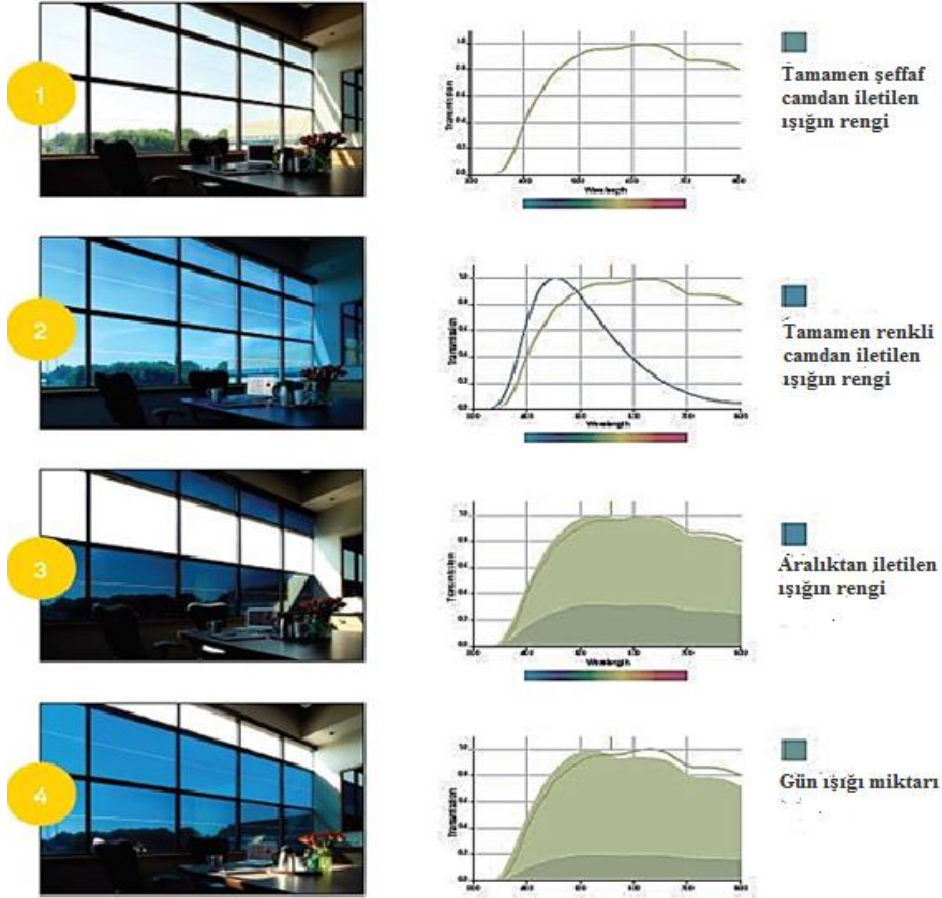
Şekil 2.7. Elektrokromik camlar ve geleneksel cam çözümleri (URL-10, 2018).

Yapılan araştırmalar sonucunda elektrokromik camların geleneksel camlara oranla;

- Enerji kullanımını %20 oranda azalttığı,
- Aydınlatma maliyetini %60’a kadar düşürdüğü,

- HVAC sistemlerinin ölçülerini %25'e kadar azalttığı,
- Panjur gibi gölgelendirme elemanlarına ihtiyacı ortadan kaldırdığı ortaya çıkarılmıştır (URL-10, 2018).

Elektrokromik camlarda parlaklık ve ısı kontrolüne karşı belirli bölmeler renklendirilirken, diğer bölmeler mekanda doğal aydınlatma için şeffaf kalabilir. Şekil 2.8'de şeffaf ve elektrik etkisiyle optik özelliklerini değiştirmiş camların güneş ışığını iletim oranları ile ilgili grafiklere yer verilmiştir. Buna göre 1. görselde cam tamamen şeffaf iken 2. görselde tamamen opak duruma geçmiştir. Grafikten de anlaşılacağı gibi ışık geçirgenliği mavi çizgi ile belirtilmiştir. 3. görselde ise 1/3 oranında şeffaf yüzeyin olması durumunda grafikte koyu yeşil olan alanda iletilen ışık oranı, 4. görselde ise 1/5 oranında şeffaf yüzeyin olması durumunda iletilen ışık miktarı koyu yeşil renk ile gösterilmiştir. 3. görsel ait grafiğe göre yeşil alanın azaldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 2.8. Farklı oranda uygulanmış elektrokromik camlara ait ışık geçirgenlik oranları (URL-8, 2017).

Elektrokromik camlar güneş ışığını en verimli şekilde kullanmak amacıyla otomatik veya elle kontrol edilebilir. Yapı tasarımı; bina yönü, iç mekan tasarımı, kullanıcı konumu ve ihtiyaçları dahil birçok etkene bağlıdır. Bu tür camlar her projenin ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde kullanılabilir (URL-8, 2017). Şekil 2.9’da elektrokromik camların gün içinde güneş hareketine karşı davranışı gösterilmiştir.

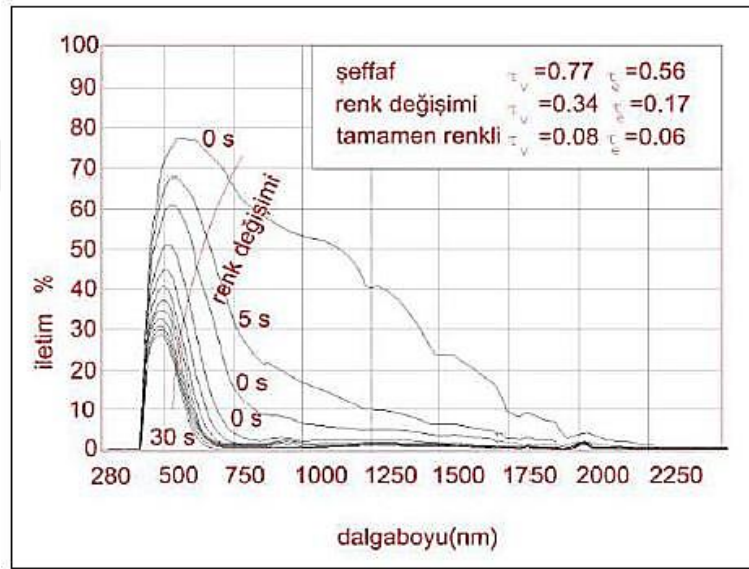


Şekil 2.9. Elektrokromik camın gün içinde güneş konumuna göre davranışı (URL-8, 2017).

Elektrokromik camların renkli ve şeffaf durumlarının karşılaştırılması sonucu çıkan sonuçlar Tablo 2.3'te verilmiştir. Çeşitli dalga boylarında elektrokromik camların iletim değeri ve renk değişimi ise Şekil 2.10'da gösterilmektedir.

Tablo 2.3. Elektrokromik cam performans özellikleri (URL-11, 2017)

	Işık geçirgenliği (%)	Güneş ısısı kazanım katsayısı	UV geçirgenliği %	Tdw-k
Şeffaf durum	60	0.41	0.4	15
Ara durum 1	18	0.15	0	5
Ara durum 2	6	0.10	0	2
Tamamen renkli	1	0.09	0	0.6



Şekil 2.10. Çeşitli dalga boylarında elektrokromik camların iletim değeri ve renk değişimi (Demir, 2011).

Elektrokromik camlar parlama ve güneş ışığı kontrolü sağlayarak kullanıcıya konforlu ortam oluşturmaktadır. Şekil 2.11'de güneş ışığının yoğun olarak gelmesi nedeniyle elektrokromik cam çözümü ile güneş ışığı kontrolü sağlanan alanın mekana etkisi ve kullanıcı tarafından tercihi ile ilgili görsele yer verilmiştir.





Şekil 2.11. Elektrokromik cam ve geleneksel cam çözümlerinin mekana etkisi (URL-10, 2018).

Elektrokromik malzemeler genellikle yüzey olarak cam yüzeylere, yapı elemanı olarak ise döşeme, çatı ve duvara uygulanabilmektedir. Yapıda enerji tüketiminin azalmasını sağlaması nedeniyle teknoloji olarak ekoloji ile ilişkili bir malzemedir.

#### 2.1.1.1.1.1. Uygulama Alanları

Elektrokromik malzemelerin uygulama alanları özellik, konum ve yapı elemanına göre sınıflandırılarak Tablo 2.4’te verilmiştir.

Tablo 2.4. Elektrokromik malzemelerin uygulama alanları (Ritter, 2007; Çağlar, 2016; Yelkenci Sert ve Güzel, 2015)

ÖZELLİK	KONUM	YAPI ELEMANI	UYGULAMA ALANLARI
Güneş ışığı etkisine göre yapıda uygun ortamı sağlamak	Dış mekan	Duvar	Pencere camı ve cam cephe Cam kapı
		Çatı	Pencere camı ve cam çatı
Mahremiyet	İç mekan	Duvar	Cam kapı Bölücü cam sistemleri
		Döşeme	Cam döşeme
Özellikle otel, konut, ofis ve toplantı salonu, mağaza ve galeri vitrini, hastane ve klinik, yüzme havuzu, havaalanında tercih edilmektedir.			

### 2.1.1.1.1.2. Avantajları ve Dezavantajları

#### Avantajları

Elektrokromik malzemelerin avantajları alt başlıklara indirgenerek analiz edilmiştir.

Elektrokromik malzemeler;

- Malzemeye uygulanan gerilimi kontrol ederek malzemenin optik özelliklerini kısa zamanda kontrol edebilirler (Ritter, 2007).

- Tersinir olarak çalışabilirler.
- Sadece değişim esnasında elektrik akımı uygulanmasına ihtiyaç duyarlar.
- Tüm koşullar altında yansıtıcı özelliindedir.
- Sürekli donuk hale gelebilirler ve 12-48 saat arası uzun süreli hafızaya sahiptirler

(Yaşar vd., 2010).

Organik elektrokromik malzemeler;

- Organik elektrokromik malzemenin yutuculuk katsayısı inorganik elektrokromik malzemenin daha yüksektir. Bu özelliğinden dolayı organik elektrokromik camlar ile güçlü optik değişiklikler sağlayan sistemler üretmek mümkündür (Yaşar vd., 2010).

Elektrokromik camlar;

- Kullanım açısından büyük avantajı olan şeffaf hale geçiş işlemi çok basittir, ters gerilim uygulandığında cam tekrar eski şeffaf haline dönmektedir.

- Odaların karartılması için uygundur. (Kapalı durumda ışık geçirgenliği yaklaşık %75, açık durumda %8) (Ritter, 2007).

- Elektrokromik camların ışık geçirgenliği aralığı geniş olduğu için enerji tasarrufuna büyük katkı sağlayabilecek potansiyele sahiptir. Bu aralığın insan tarafından bir butonla ya da otomatik kontroller ile ayarlanabilir olması sayesinde aşırı ısınma önlenerek soğutma maliyetlerinin azaltılmasına yardımcı olur (Kazanasmaz ve Diler, 2011).

- Yüksek geçirgenlik durumunda özellikle bulutlu havalarda maksimum güneşten yararlanmak için tercih edilerek aydınlatma konforu sağlar. Geniş ışık geçirgenlik aralığı sunan elektrokromik camların, çevre koşulları ve hava şartlarının hızlı bir şekilde değiştiği bölgeler için kullanımı uygundur (Kazanasmaz ve Diler, 2011).

- Elektrokromik camlar binalarda kullanıldığında %25 ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarından, %50 aydınlatmadan, %30 maksimum güç talebinden tasarruf sağlar. Bu nedenle kullanıcı konforu ve enerji etkinlik açısından diğer akıllı cam teknolojilerine göre daha yüksek potansiyele sahiptir. Bina için gerekli olan HVAC sisteminin boyutunu azaltır.

Buna ek olarak LEED sertifikasyon puanlarına katkıda bulunan sürdürülebilir bir çözümdür (Sancak, 2014; Tavil, 2004; URL 8 ve 11, 2017).

- Düşük ve orta sıcaklıkta kullanılabilirler. ( $< -20^{\circ}\text{C}$  to  $> +80^{\circ}\text{C}$ )
- Şeffaf hal için daimi bir elektriksel alan uygulanmasına gerek yoktur.
- Kullanımı kolaydır, yangına karşı dayanımı yeterlidir.
- Kullanım ömrü uzundur. (Yaklaşık 200000 akım verme zamanı) (Ritter, 2007).
- Camların batarya ömürleri 50 yıldır (Yaşar vd., 2010).
- İstenmeyen görüntüyü ve izleyicileri engeller.
- Çevre dostudur ve mor ötesi ışınları %99 engeller (URL-9, 2017).
- İlave jaluzilerin ve gölgeleme elemanlarının gereksinimini ortadan kaldırır. Görsel ve termal konfor sağlar.

• Tek bir cam bölmesinde üç değişken renk bölmesi oluşturulabilir, mimarlara ve bina sahiplerine gelişmiş tasarım özgürlüğü sağlamaktadır (URL-11, 2017).

• 1-5 volt arasında çok küçük akım uygulanmasıyla opaklıkları değişebilir (Yaşar vd., 2010).

#### Dezavantajları

Elektrokromik malzemelerin dezavantajları alt başlıklara indirgenerek analiz edilmiştir.

#### Organik elektrokromik malzemeler;

• Organik elektrokromik malzemenin geçirgenliği onu oluşturan bileşenlere bağlıdır ancak bu malzemelerin çoğu inorganik malzemelerle karşılaştırıldığında görülebilir bölgede değişim göstermekte, solar geçirgenlikleri ise çok düşük olmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı organik elektrokromik malzemeler yapılarıdaki akıllı cam uygulamalarında tercih edilmemektedir (Yaşar vd., 2010).

#### Elektrokromik cam;

• Elektrokromik camların değişen dış ortam koşullarına uyumunda önemli bir etken olan camın renk değişim hızı cam alanının artmasıyla azalmaktadır. Elektrokromik camların renkli konumdan berrak konuma geçmeleri %25-40 daha kısa sürede gerçekleşmektedir (Tavil, 2004).

• Mevcut teknolojiye bağlı olarak elektrokromik camlar 40x40 cm'den 90x200 cm boyutları arasında sınırlı sayıda üretilebilmekte ve maliyetleri yaklaşık 1000\$/m<sup>2</sup> ye ulaşmaktadır (Tavil, 2004).

- Değişim ve montaj maliyeti yüksektir. (örn. hasarlı bölmeler)
- Hücrelerin kenarlarının elektrokromik kaplanması mümkün değildir, bu nedenle kenar kaplaması gereklidir (URL-11, 2017).

### 2.1.1.1.1.3. Yapı Elemanlarında Uygulanması



Elektrokromik malzemenin uygulandığı 8 adet örnek, Tablo 2.5'te ve her bir örnek için analiz tabloları hazırlanarak ifade edilmiştir. Yapı elemanları dağılımına özen gösterilerek örneklem listesi çıkarılmış; analiz edilen örnekler, üretici firmaların internet sitelerine koydukları referans projelerden, literatürde yapılmış çalışmalardan seçilmiştir.

Tablo 2.5. Analizi yapılan örnek listesi

Tablo No	Yapının Adı, Bulunduğu Ülke ve Malzemenin Uygulama Yılı	Uygulandığı Yapı Elemanı	Kullanılan Akıllı Malzeme	Kullanım Yeri	Yapının İşlevi
Tablo 2.6.	Miami Üniversitesi Frost Müzik Okulu ABD, 2003	Duvar	Elektrokromik Cam	Dış Ortam, Cephe	Okul
Tablo 2.7.	Chabot Koleji ABD, 2012	Duvar	Elektrokromik Cam	Dış Ortam, Cephe	Okul
Tablo 2.8.	Butler County Sağlık Merkezi ABD, 2013	Duvar	Elektrokromik Cam	Dış Ortam, Cephe	Hastane
Tablo 2.9.	Bilim Müzesi ABD, 2014	Duvar	Elektrokromik Cam	Dış Ortam, Cephe	Müze
Tablo 2.10.	CERN Bilim ve Yenilik Küresi İsviçre, 2004	Çatı	Elektrokromik Cam	Dış Ortam, Çatı	Sergi Salonu
Tablo 2.11.	Ball State University/Dehority Hall ABD, 2010	Çatı	Elektrokromik Cam	Dış Ortam, Çatı	Okul
Tablo 2.12.	St. Johnsbury Athenaeum ABD, 2011	Çatı	Elektrokromik Cam	Dış Ortam, Çatı	Sanat Galerisi
Tablo 2.13.	America Alışveriş Merkezi ABD, 2015	Çatı	Elektrokromik Cam	Dış Ortam, Çatı	Alışveriş Merkezi

### 2.1.1.1.1.3.1. Duvar Yüzeyinde Kullanımı ile İlgili Örnekler

Tablo 2.6. Miami Üniversitesi Frost Müzik Okulu analiz tablosu (URL 12 ve 13, 2017)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>		
Yapının Adı :	Miami Üniversitesi Frost Müzik Okulu	
Yapının Yeri :	Florida, ABD	
Yapım Yılı :	2003	
Tasarım/Proje. :	HOK	
Yapının İşlevi :	Okul	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>		
Kullanılan Akıllı Malzeme :	Elektrokromik cam	
Kullanıldığı Yer :	Dış ortam/Cephe	
Uygulandığı Yapı Elemanı :	Duvar	
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Cam	
Kullanım Amacı :	Elektrik etkisi ile optik özelliklerini değiştirme ve güneş kontrolü sağlamak	
<p>Frost Müzik Okulu'nda beyaz prefabrik beton; güneş ısı kazanımı ve parlamayı en aza indirmek üzere elektrokromik cam tercih edilmiştir. LEED Platinum sertifikalı yapı 40.000 m<sup>2</sup> taban alanına sahip olup 800 öğrenci ve 125 öğretim üyesine hizmet etmektedir.</p> <p>Tasarım ULI Southeast Florida yılın projesi, ENR Southeast en iyi projeler ödülü kazanmıştır.</p>		

Tablo 2.7. Chabot Koleji analiz tablosu (Burdis ve Neil, 2017; URL-10, 2018; URL-19, 2017)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>	
Yapının Adı :	Chabot Koleji
Yapının Yeri :	Hayward, ABD
Yapı Yılı :	2012
Tasarım/Proje. :	TBP Mimarlık
Yapının İşlevi :	Okul
	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>	
Kullanılan Akıllı Malzeme :	Elektrokromik cam
Kullanıldığı Yer :	Dış ortam/Cephe
Uygulandığı Yapı Elemanı :	Duvar
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Cam
Kullanım Amacı :	Elektrik etkisi ile optik özelliklerini değiştirme ve güneş kontrolü sağlamak
Yapı elektrokromik camın mimarlara özgür tasarım sağlayabileceğine bir örnektir. Güney ve batı atriyumunda yer alan elektrokromik camlar ısı ve güneş kontrolü sağlayarak doğal bir havalandırma sistemi kullanımına olanak vermiştir.	

Tablo 2.8. Butler County Sağlık Merkezi analiz tablosu (URL 16,17 ve 18, 2017)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>	
Yapının Adı :	Butler County Sağlık Merkezi
Yapının Yeri :	Nebraska, ABD
Yapı Yılı :	2013
Tasarım/Proje. :	Visions in Architecture
Yapının İşlevi :	Hastane
	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>	
Kullanılan Akıllı Malzeme :	Elektrokromik cam
Kullanıldığı Yer :	Dış ortam/Cephe
Uygulandığı Yapı Elemanı :	Duvar
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Cam
Kullanım Amacı :	Elektrik etkisi ile optik özelliklerini değiştirme ve güneş kontrolü sağlamak
<p>Hastanenin güney ucuna bakan bölümde inşa edilen sağlık merkezinde 3.000 m<sup>2</sup>'lik alanda kullanılan elektrokromik cam ile hem doğal ışık yapı tarafından kullanılmakta hem de otomatik olarak güneş parlaklığını ayarlayarak rengini değiştirmektedir. Hastalar, üye ve sağlık personeli parkın ve golf sahasının rahat iç mekanlarından ve manzarasından faydalanırken, yapı ise daha fazla enerji verimliliği avantajı ile HVAC gereksinimini azaltmaktadır.</p> <p>Yapıda kontrol edilemeyen güneş ışığının hastalara verdiği rahatsızlık sonucu başlayan çalışmada, elektrokromik camlar ile doğal ışık kontrol edilebilmiştir.</p>	
	
	




Tablo 2.9. Bilim Müzesi analiz tablosu (URL 14 ve15, 2017; URL-20, 2019)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>		
Yapının Adı	: Bilim Müzesi	
Yapının Yeri	: Boston, ABD	
Yapı/Restorasyon Yılı	: 1970/2014	
Tasarım/Proje.	: Cambridge Seven Associates	
Yapının İşlevi	: Müze	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>		
Kullanılan Akıllı Malzeme	: Elektrokromik cam	
Kullanıldığı Yer	: Dış ortam/Cephe	
Uygulandığı Yapı Elemanı	: Duvar	
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi	: Cam	
Kullanım Amacı	: Elektrik etkisi ile optik özelliklerini değiştirme ve güneş kontrolü sağlamak	
<p>Müze 1970 yılında inşa edilmiş ve ziyaretçiler için nehir ve kent manzarasını görüşünü engellemeden güneş parlamasını önlemek, güneş ışığını aktif olarak kontrol etmek amacıyla 2012 yılında kaplama ve pencere sistemleri araştırılmıştır. Çeşitli alternatifler üzerinde çalışıldıktan sonra, elektrokromik cam kullanılması teklifi verilmiş ve 2013 yılında elektrokromik cam kullanılması onaylanmıştır. Elektrokromik cam, 2014 yılından itibaren kullanımdadır.</p>		





### 2.1.1.1.1.3.2. Çatı Yüzeyinde Kullanımı ile İlgili Örnekler

Tablo 2.10. CERN Bilim ve Yenilik Küresi analiz tablosu (Döşemeciler, 2012; URL 21 ve 22, 2016)

YAPIYA AİT BİLGİLER			
Yapının Adı :	CERN Bilim ve Yenilik Küresi		
Yapının Yeri :	Meyrin, İsviçre		
Yapı Yılı :	2004		
Tasarım/Proje. :	T.Büchi, H. Dessimoz		
Yapının İşlevi :	Sergi Salonu		
			
		MALZEMEYE AİT BİLGİLER	
		Kullanılan Akıllı Malzeme :	Elektrokromik cam
		Kullanıldığı Yer :	Dış ortam/Çatı
		Uygulandığı Yapı Elemanı :	Çatı
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Cam		
Kullanım Amacı :	Elektrik etkisi ile optik özelliklerini değiştirme ve güneş kontrolü sağlamak		
<p>Cern'in merkezinde bulunan Bilim ve Yenilik Küresi ahşaptan yapılmıştır ve 27m. yüksekliğindedir. Sürdürülebilir gelişmeyi temsil etmektedir.</p> <p>Manuel elektrik düğmesinden veya otomatik olarak cam saydamlık oranı değişmekte ve bu sayede kürenin içine giren ışık ve ısı miktarı ayarlanabilmektedir.</p>			
			
			

Tablo 2.11. Ball State University/Dehority Hall analiz tablosu(URL 25, 26 ve 27, 2018)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>	
Yapının Adı :	Ball State University/Dehority Hall
Yapının Yeri :	İndiana, ABD
Yapı Yılı :	2010
Tasarım/Proje. :	Schmidt Associates
Yapının İşlevi :	Okul
	
<b>KULLANILAN AKILLI MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>	
Kullanılan Akıllı Malzeme :	Elektrokromik cam
Kullanıldığı Yer :	Dış ortam/Çatı
Uygulandığı Yapı Elemanı :	Çatı
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Cam
Kullanım Amacı :	Elektrik etkisi ile optik özelliklerini değiştirme ve güneş kontrolü sağlamak
Parlama ve güneş ısını kontrol etmek amacıyla 1700 m <sup>2</sup> 'lik alanda elektrokromik cam uygulanmıştır.	

Tablo 2.12. St. Johnsbury Athenaeum analiz tablosu (URL 28, 29, 30 ve 31, 2018)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>	
Yapının Adı :	St. Johnsbury Athenaeum
Yapının Yeri :	Vermont, ABD
Yapı Yılı :	1871/2011
Tasarım/Proje. :	Mesick Cohen Wilson Baker Architects, LLC
Yapının İşlevi :	Sanat Galerisi
	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>	
Kullanılan Akıllı Malzeme :	Elektrokromik cam
Kullanıldığı Yer :	Dış ortam/Çatı
Uygulandığı Yapı Elemanı :	Çatı
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Cam
Kullanım Amacı :	Elektrik etkisi ile optik özelliklerini değiştirme ve güneş kontrolü sağlamak
<p>Parlama ve güneş ısını kontrol etmek amacıyla elektrokromik cam uygulanmıştır. 19. yy'dan kalma tarihi yapıyı korumak için 21. yy. teknolojisi kullanılmıştır.</p>	
	

Tablo 2.13. America Alışveriş Merkezi analiz tablosu (Williams, 2018; URL 23 ve 24, 2018)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>		
Yapının Adı	: America Alışveriş Merkezi	
Yapının Yeri	: Minnesota, ABD	
Yapı Yılı	: 1992/2015	
Tasarım/Proje.	: DLR Grubu	
Yapının İşlevi	: Alışveriş Merkezi	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>		
Kullanılan Akıllı Malzeme	: Elektrokromik cam	
Kullanıldığı Yer	: Dış ortam/Çatı	
Uygulandığı Yapı Elemanı	: Çatı	
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi	: Cam	
Kullanım Amacı	: Elektrik etkisi ile optik özelliklerini değiştirme ve güneş kontrolü sağlamak	
<p>Işıklık alanından çok fazla güneş ışığı alan kullanıcıların konforunu sağlamak ve güneş ısını kontrol etmek amacı ile 300 panelden oluşan elektrokromik cam sistemi kullanılmıştır. Elektrokromik malzeme yapıda ayrıca görsel amaçlı da kullanılmaktadır.</p>		

### 2.1.1.1.2. Fotokromik Malzemeler

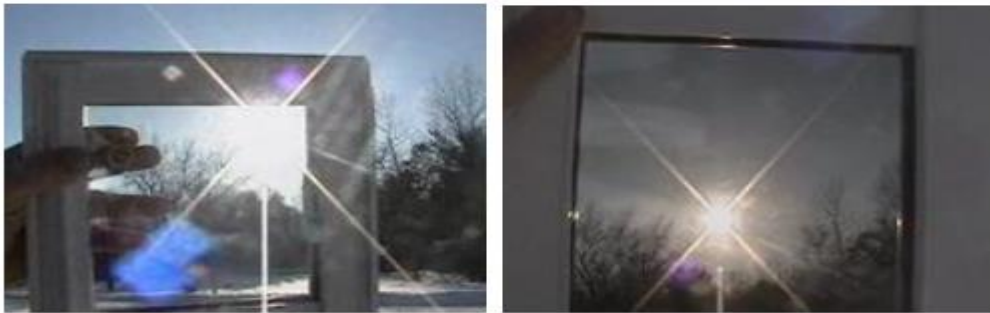
Fotokromizm, UV veya görünür bölgedeki ışığın elektro manyetik absorpsiyonunun neden olduğu, renkteki tersinir değişim olarak tanımlanmaktadır (Gürakın, 2012).

Işık etkisiyle renk değiştiren malzemeler, fotokromik malzemeler olarak adlandırılmaktadır (Çakmaklı, 2015).

Fotokromik etkiyi 1899'da Markwald keşfetmiş yalnızca fiziksel bir etki olarak gördüğü için fototropi (phototropy) terimini kullanmıştır. 1950'de İsrail'de Hirshberg, günümüzde kullanılan Yunancadan türetilmiş fotokromizm terimini önermiştir. 2001'de Ulusal Gelişmiş Endüstri Bilimleri Enstitüsü'nde Japon bilim adamları, çevreye zararlı halojenleri kullanmadan gümüş iyonları ve nitrat bazlı bir fotokromik cam geliştirmişlerdir (Ritter, 2007).

Fotokromik malzemeler cam teknolojisinde tercih edilmektedir. Günümüzde 'Akıllı cam' olarak adlandırılan, üzerlerine düşen ısı, ışık yoğunluğu veya uygulanan elektrik potansiyeline bağlı olarak renk nitelikleri kontrol edilebilen akıllı cephe sistemlerinde pasif kontrollü uygulamalarda fotokromik camlar kullanılır (Gürakın, 2012).

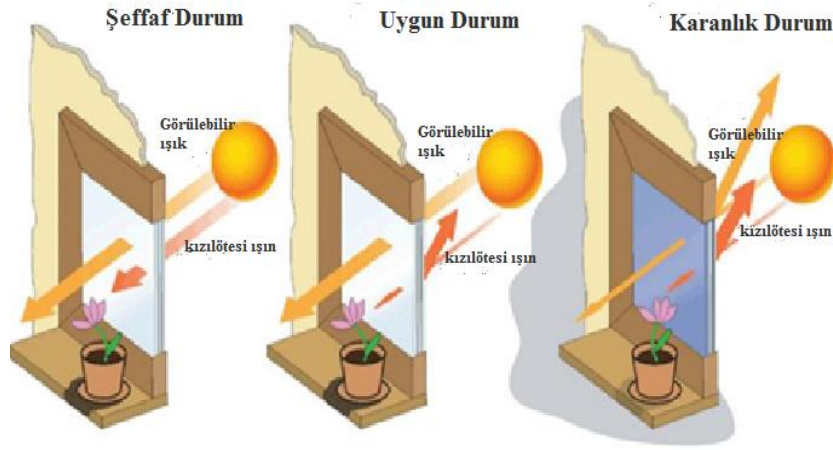
Fotokromik camlar gelen güneş ışınımına bağlı olarak cam tabakası içerisinde renk merkezleri oluşumu yoluyla şeffaf durumdan renkli duruma geçer ve güneş ışınımının etkisi azaldıktan sonra, aktif olan renk merkezlerinin yok olması ile eski şeffaf haline geri dönerler (Şekil 2.12 ve Şekil 2.13) (Yaşar vd., 2010).



Berrak low-e kaplamalı cam,

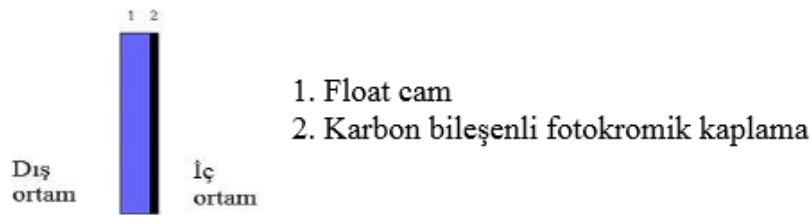
Fotokromik cam

Şekil 2.12 Fotokromik cam ve berrak camın güneş ışınımı etkisi altındaki davranışı (Yaşar vd., 2010).



Şekil 2.13. Fotokromik camın çalışma prensibi (URL-32, 2017).

Şekil 2.14’te görüldüğü gibi fotokromik camlar basit cam ve fotokromik kaplama tabakasından oluşmaktadır ve kaplama tabakası olarak ise karbon bileşenli veya gümüş bileşenli sistemler tercih edilmektedir. Fotokromik camlardaki değişim süreci fotokimyasal olarak hassas gümüş bakır veya kadmiyum halojenler, öropyum-Eu veya seryum-Ce gibi malzemelerin camın yapısında kullanılmasıyla gerçekleşir. Krom-Cr, molibden-Mo, veya volfram-tungsten ve mineral hakmanit de bu camların yapısında kullanılabilir. Fotokimyasal reaksiyonları hızlandırmak için bu camlarda daha çok gümüş halojenler yaygın olarak kullanılmaktadır (Yaşar vd., 2010).



Şekil 2.14. Fotokromik camın oluşumu (Yaşar vd., 2010).

Mimaride gümüş bileşenli sistemler yerine gün ışığı aydınlatması da düşünüldüğünde karbon bileşenli sistemlerin tercih edilmesi daha doğrudur (Yaşar vd., 2010).

Fotokromik camların termofiziksel özellikleri basit camlara oranlara gelişmiş düzeydedir. Fotokromik camın şeffaf ve renkli durumdaki termofiziksel özellikleri basit cam ile karşılaştırılıp Tablo 2.14’te verilmiştir.

Tablo 2.14. Fotokromik kaplı cam ve basit camın termofiziksel özellikleri (Wu vd., 2017)

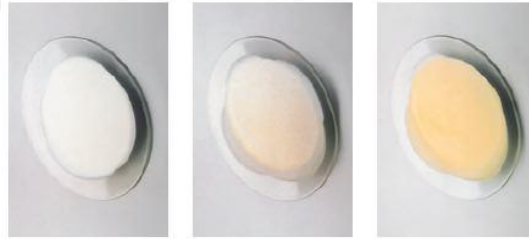
	VLT %	ST%	U DEĞERİ	G DEĞERİ
Basit cam	89.9	84.1	5.20	0.87
Fotokromik kaplı basit cam	90.7	86.0	5.52	0.88
Fotokromik kaplı renkli cam	53.4	71.2	5.52	0.78

Fotokromik camlara gelen ışık miktarı arttığında yutuculuk özelliği artmakta, ancak görüntü bulanıklaşmaktadır. Fotokromik camlar ısı kontrolü sağlamadıkları için mimaride çok fazla kullanım alanı bulamamıştır (Demir, 2011).

Fotokromik bileşiklerden yapılmış boyalar ise farklı duroplastik ve termoplastik gibi plastiklerin içinde kullanılabilir, pazarı mevcuttur, büyük miktarlarda üretimi yapılabilir,  $-40^{\circ}\text{C}$  ve  $+250^{\circ}\text{C}$  arasında kullanılabilir (Şekil 2.15) (Wu vd., 2016).

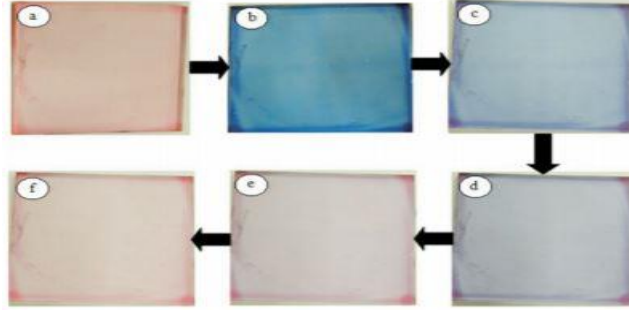
Termoplastik malzeme: Isıtıldığı zaman eriyebilen ve yeniden şekillendirilebilen polimerlerdir (URL-33, 2018).

Duroplastik malzeme: Sınır sıcaklığına ulaştıkları zaman formları sabit kalan polimerlerdir (URL-34, 2018).



Şekil 2.15 Fotokromik boyanın ışık etkisi ile davranışı (Wu vd., 2016).

Chang vd. tarafından fotokromik kaplamalar üzerinde yapılmış olan deneysel çalışmada plastik yüzeyde 4 farklı fotokromik boyanın UV ışınları karşısında tepkisi gözlemlenmiş ve renk değişimleri incelenmiştir (Şekil 2.16). Yapılan inceleme sonucu 4 dk. UV etkisinde bırakılan fotokromik boyanın (b) durumuna 1 sn.'de, (c) durumuna 20 sn.'de, (d) durumuna 1 dk.'da, (e) durumuna 5 dk.'da, (f) durumuna 20 dk.'da geldiği gözlemlenmiştir (Chang vd., 2014).



Şekil 2.16. Fotokromik boyanın ışık etkisi ile renk değişimi (Chang vd., 2014).

Fotokromik malzemeler genellikle yüzey olarak cam ve plastik yüzeylere, yapı elemanı olarak ise döşeme, çatı ve duvara uygulanabilmektedir. Solar kazanç sağladıklarından teknoloji olarak ekoloji ile ilişkili bir malzemedir.

#### 2.1.1.1.2.1.Uygulama Alanları

Fotokromik malzemelerin uygulama alanları özellik, konum ve yapı elemanına göre sınıflandırılarak Tablo 2.15’te verilmiştir.

Tablo 2.15. Fotokromik malzemelerin uygulama alanları (Ritter, 2007)

ÖZELLİK	KONUM	YAPI ELEMANI	UYGULAMA ALANLARI
UV ışınlarını yansıtma	Dış mekan	Çatı	Cam çatı (skylight)
		Duvar	Pencere camı
		Duvar, çatı ve döşeme	Boya
Güneşten kaynaklanan ısı kazançlarına karşı duyarlı olmadıklarından mimaride çok fazla kullanım alanı bulamamıştır.			

#### 2.1.1.1.2.2.Avantajları ve Dezavantajları

##### Avantajları

Fotokromik malzemelerin avantajları alt başlıklara indirgenerek analiz edilmiştir:

Fotokromik malzemeler;

- Mukavemeti yüksek ve kimyasallara karşı dirençlidir.



- İç ortamlardaki mobilyaları ultraviyole ışıнімından korur, bilgisayar ekranı ve projektörler üzerindeki parlamayı engeller (Yaşar vd., 2010).

Fotokromik camlar;

- Mimari uygulamalarda genel olarak güneş ışıнімının yoğun olduğu güneşli günlerde mahremiyet sağlar.

- Konut yapılarında perde veya panjur kullanılmaksızın enerji maliyetlerinde tasarruf sağlar, parlamayı azaltır (Yaşar vd., 2010).

Dezavantajları

Fotokromik malzemelerin dezavantajları alt başlıklara indirgenerek analiz edilmiştir.

Fotokromik malzemeler;

- Manuel kontrol edilemezler.

Fotokromik camlar;

- Yaz ve kış koşullarında camın kendini ısıtmasıyla ilgili olarak kararın problemi vardır (Yaşar vd., 2010).

- Binalarda güneş ışığına bağlı aşırı ısınma ve kamaşma problemini çözebilecek olmasına karşın fotokromik camın bina uygulamalarında kullanımı henüz yaygın değildir, bu durumun ana nedenlerinin arasında maliyetin yüksek olması bulunmaktadır (Kazanasmaz ve Diler, 2011).

### 2.1.1.1.2.3. Yapı Elemanlarında Uygulanması



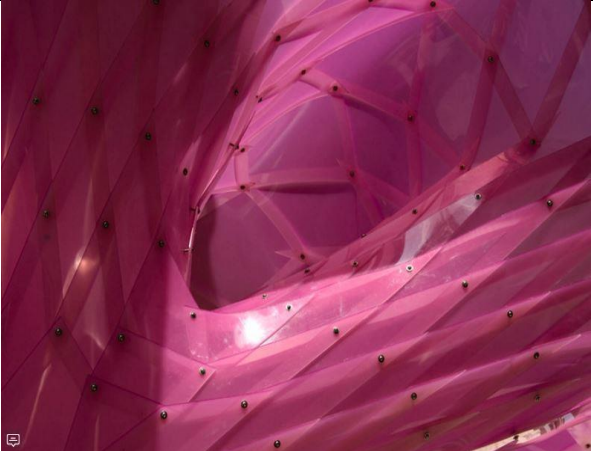
Fotokromik malzemenin uygulandığı 1 adet örnek, Tablo 2.16 ve Tablo 2.17 ile ifade edilmiştir. Mimaride yaygın tercih edilmemesinden dolayı malzemenin literatürde kullanım örnekleri kısıtlıdır.

Tablo 2.16. Analizi yapılan örnek listesi

Tablo No	Yapının Adı, Bulunduğu Ülke ve Malzemenin Uygulama Yılı	Uygulandığı Yapı Elemanı	Kullanılan Akıllı Malzeme	Kullanım Yeri	Yapının İşlevi
Tablo 2.17.	OR <sup>2</sup> İngiltere, 2012	-	Fotokromik Boya	Dış Ortam, Cephe	Strüktür

### 2.1.1.1.1.2.3. Strüktürel Kullanımı ile İlgili Örnek

Tablo 2.17. OR<sup>2</sup> analiz tablosu (Furuto, 2017; URL 35 ve 36, 2017)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>		
Yapının Adı :	OR <sup>2</sup>	
Yapının Yeri :	Londra, İngiltere	
Yapım Yılı :	2012	
Tasarım/Proje. :	Orproject ve Laura Micalizzi	
Yapının İşlevi :	Strüktür	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>		
Kullanılan Akıllı Malzeme :	Fotokromik boya	
Kullanıldığı Yer :	Dış ortam	
Uygulandığı Yapı Elemanı :	-	
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Boya	
Kullanım Amacı :	Işık etkisi ile renk değiştirme ve güneş kontrolü sağlamak	
<p>OR<sup>2</sup>, Londra Mimarlık Festivali kapsamında Londra'nın Belgrave Meydanı'ndaki İtalyan Kültür Merkezi için tasarlanmış ve inşa edilmiştir. Proje 2012 Good Design Award ödülünü almıştır. OR<sup>2</sup> yüzeyinin poligon kesimleri güneş ışığının yoğunluğuna göre tepki vermektedir. Güneş ışığına maruz kalmadığında saydam beyaz renktedir. Ancak güneş ışığına maruz kaldığında renkler farklılaşmakta ve farklı renk tonlarında olmaktadır.</p>		

### 2.1.1.1.3. Termokromik Malzemeler

Termokromizm, bir maddede ısı farkının neden olduğu tersinir renk değişikliği olarak tanımlanmaktadır (Gürakın, 2012).

Isıdan etkilenen saydam yalıtım malzemeler; termokromik malzemeler olarak adlandırılmaktadır. Sıcaklık değişimleri sonucunda, ısı olarak etkilenen kimyasal reaksiyonlar veya faz değişimleri nedeniyle optik özelliklerinde büyük değişim meydana gelmektedir (Yeşildal, 2002).

1909 yılında Praglı kimyager Hans Meyer bazı organik bileşiklerde termokromik davranışı gözlemlemiştir. 1954 ve 1963 yıllarında J.F.D. Mills ve S.C. Nyburg 'The Journal of the Chemical Society' dergisinde termokromizm hakkında birçok makale yayınlamıştır. 2003 yılında ise Almanya'da Berlin yakınlarındaki Golm Uygulamalı Polimer Araştırma Fraunhofer Enstitüsü çeşitli kapsüller katılmış mikrokapsüllenmiş termokromik kompozitler geliştirmeyi başarmıştır (Ritter, 2007).

Termokromik malzemeler organik ve inorganik bileşikler, polimerler ve soljeller olmak üzere 4 ana gruba ayrılmıştır. Organik bileşiklerde renk ve sıcaklık değişimi net bir şekilde fark edilebilmektedir. İnorganik bileşiklerde ise renk değişimi bir çözeltide yüksek sıcaklıkta oluşmaktadır (Sunag ve Singh, 2015).

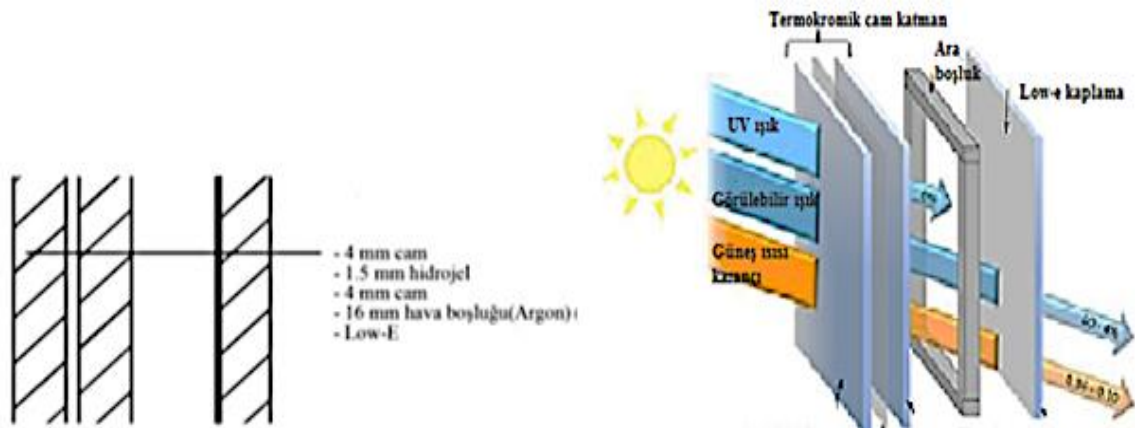
Günümüzde 'Akıllı cam' olarak adlandırılan, üzerlerine düşen ısı, ışık yoğunluğu veya uygulanan elektrik potansiyeline bağlı olarak renk nitelikleri kontrol edilebilen akıllı cephe sistemlerinde, pasif kontrollü uygulamalarda fotokromik ve termokromik camlar kullanılır (Orhon, 2012).

Şekil 2.17'de termokromik cam örneği basit cam ile karşılaştırılmış, ısı etkisi ile termokromik cam optik özelliklerini değiştirirken basit camda bir değişim gözlemlenmemiştir.



Şekil 2.17. Termokromik ( $VO^2$ ) cam örneği (a), basit cam örneği (b) (Anderson vd., 2016).

Termokromik camlar sıcaklık değişimlerine bağlı olarak optik özelliklerini değiştirme kabiliyetine sahip termal aktif jelli katmanlardan oluşurlar. Bu jeller farklı kırıcılık indekslerine sahip iki bileşenli termokromik malzemelerden meydana gelir. Bu malzemeler düşük sıcaklıklarda homojen ve şeffaftır. Sıcaklığın sınır değerini üzerine çıktığı durumda ( $20^{\circ}\text{C}$ 'den  $50^{\circ}\text{C}$ 'ye), malzeme bileşenleri güneş ışınımının etkisiyle ışığın dalga boyuna yakın boyutlarda çok küçük parçacıklara ayrılır, sıcaklık düştüğünde ise eski homojen haline geri döner (Yaşar vd., 2010). Termokromik cam katmanları ve Low-e cam üzerinde güneş ışığı etkisinde davranışı Şekil 2.18'de örneklenmiştir.



Şekil 2.18. Termokromik cam kesiti (Demir, 2011; URL-37, 2017).

Tablo 2.18'de ise termokromik camlara ait termofiziksel özellikler, basit ve reflekte camlar ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

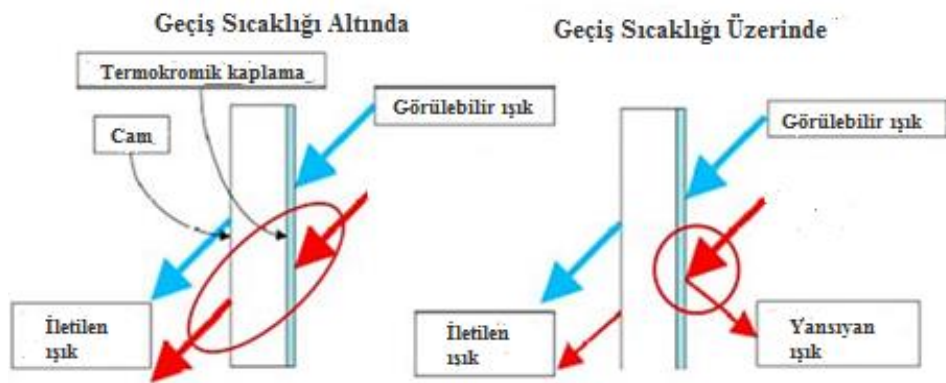
Tablo 2.18. Termokromik cam termofiziksel özellikler (Costanzo, 2016)

	Basit cam	Reflekte cam	Termokromik cam		
			Şeffaf	Orta seviye	Renkli
$t_{sol}$	0.84	0.50	0.50	0.35	0.10
$r_{sol}$	0.07	0.30	0.30	0.40	0.50
$t_{vis}$	0.90	0.60	0.60	0.45	0.30
$r_{vis}$	0.08	0.08	0.08	0.12	0.16
$\epsilon$	0.84				
$s$ (mm)	4				
$k$ ( $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ )	1				

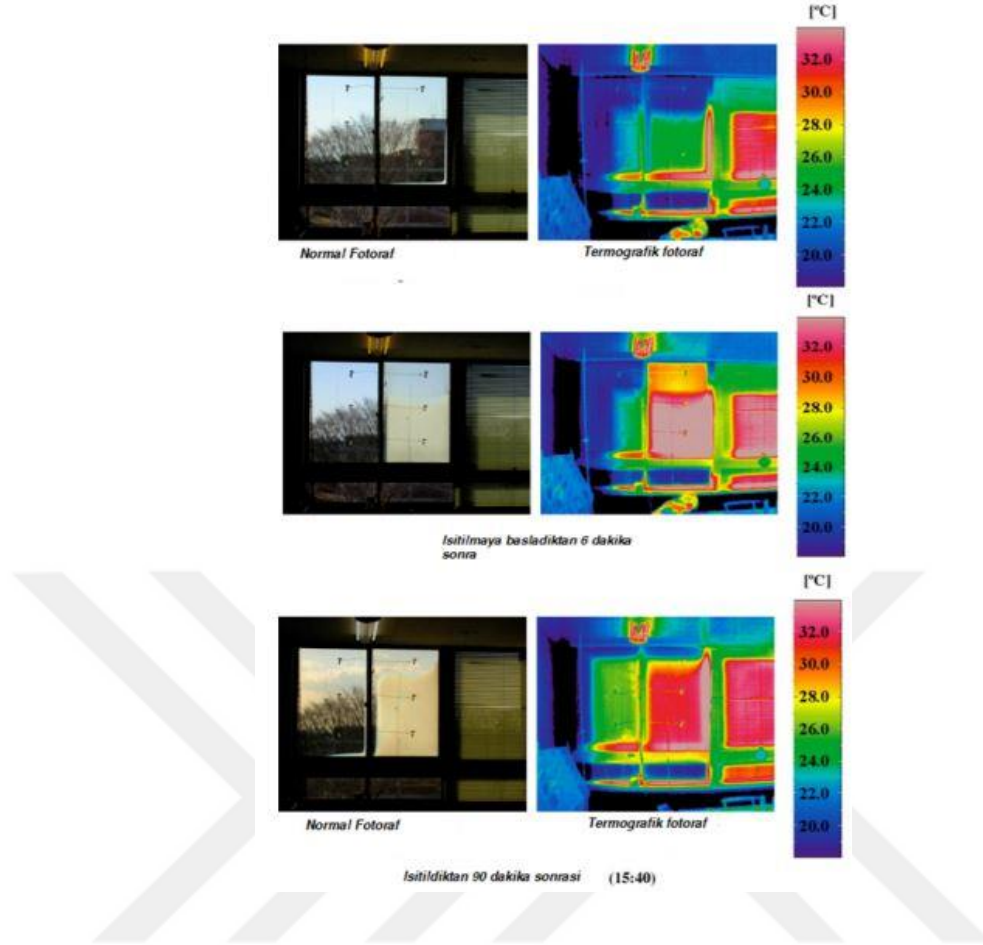
Şekil 2.23'te görüldüğü gibi cam geçirgen halde iken, ısı özümseme değeri 0,163 iken ikinci durumda bu değer 0,443'e kadar yükselmiştir. Bu sayede iç mekânların radyasyon ile ısınmasının önüne geçilmektedir.

Termokromik cam; demir-Fe, bakır-Cu, krom-Cr ve kobalt-Co gibi metallere oluşturulan polimerik termokromik ara katmandan veya hidrojelli ara katmanlardan meydana gelmektedir. Hidrojelli sistemlerin dezavantajı, sıcaklıklar donma noktasına ulaştığında içeriğindeki sudan dolayı cam arasındaki boşlukta sızıntılara neden olması ve bunu engellemek için özel önlemler gerektirmesidir. Plastik termokromik tabakalar (polimer karışımlar) bu problemleri önledikleri için daha çok tercih edilirler. Mimaride geniş cam yüzeylerde daha çok inorganik termokromik malzeme olan vanadyumdioksit –VO<sub>2</sub> ve türevleri kullanılmaktadır. Bu malzeme 68<sup>0</sup>C'de metal bir yalıtkan gibi davranmakta, yüksek sıcaklıklarda ise metalik özellik göstermektedir (Yaşar vd., 2010).

Şekil 2.19'da verilen termokromik camların farklı sıcaklıklarda çalışma prensibine göre, kış aylarında sıcaklık 20 °C'nin altında iken, termokromik camlar şeffaf haldedir ve görüntü oldukça nettir. Sıcaklığın 20 °C'den fazla olduğu yaz aylarında termokromik camın saydamlığı azalmakta, görüntü bulanıklaşmakta ancak yansıtıcı özelliği artmaktadır. Sıcaklık düştüğünde ise eski homojen yapısına geri dönmektedir (Demir, 2011). Mimari alanda kullanımında kullanıcı konfor ortamı sağlanması için ideal çalışma sıcaklığı 25-30 °C arasındadır (RIngrose, 2017).



Şekil 2.19. Farklı sıcaklıklarda termokromik cam çalışma prensibi (Kamalisarvestani vd., 2013).



Şekil 2.20. Termokromik camın ısıtıldıktan önce ve sonra normal ve termografik görünümleri (Kazanasmaz ve Diler, 2011).

Şekil 2.20’de görüldüğü gibi; camın gün ışığı etkisiyle ısınması sonucu ışık geçirgenliği, ısıtılmaya başladıktan itibaren sadece 6 dakika sonra azalmaktadır. Cam yüzeyi şeffaf halde ortalama  $24^{\circ}\text{C}$  iken camın ışık geçirgenliği azaldıktan sonra cam yüzey sıcaklığı ortalama  $30^{\circ}\text{C}$ ’ye çıkar. Bu noktadan itibaren cam yüzeyi sıcaklığı artmış olmasına rağmen günışığı dolaysız olarak bina içerisine girmediğinden dolayı binanın iç ısı kazanımı düşer. Bunun sebebi, günışığının dolaysız olarak iç mekânlara girmesiyle oluşan radyasyon ile kazanılacak olan ısı değerinin, yayılımla kazanılandan daha düşük olması ve bunun sonucunda da camın ışık geçirgenliğinin azalıp radyasyon ile ısınmayı önlemesi ve iç mekan konfor koşullarının korunmasına yardımcı olmasıdır. Böylece, binanın soğutma yükü ve maliyetleri düşürülür. Bu durum, yaz aylarında soğutma maliyetini azaltmakta etkili olacaktır. (Kazanasmaz ve Diler, 2011). 2006 yılında yapılan araştırmada standart camların

yerine termokromik filtreli cam kullanımının enerji kazanımını %17'den %30'a çıkardığını tespit edilmiştir (RIngrose, 2017).

Termokromik camların gün içindeki optik değişimi Şekil 2.21'de verilmiştir. Termokromik kaplama kullanım ömrü yaklaşık 30 yıldır (URL-38, 2017).



Şekil 2.21. Termokromik camın gün içindeki değişimleri (URL-37, 2017).

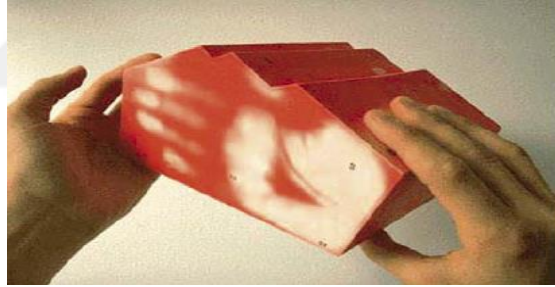
Termokromik malzemeler yapı elemanı olarak duvar, çatı, döşeme; yüzey olarak ise plastik, beton, metal yüzeylerde uygulanabilirler. En geniş kullanım alanı ise cam yüzeylerde olan malzeme, solar kazanç sağladıklarından ekoloji ile ilişkilidir.

#### 2.1.1.1.3.1. Uygulama Alanları

Termokromik malzemelerin uygulama alanları özellik, konum, yapı elemanına göre sınıflandırılarak Tablo 2.19'da verilmiştir.

Tablo 2.19. Termokromik malzemelerin uygulama alanları (Ritter, 2007; Yaşar vd., 2010; Sunag ve Singh, 2015; Ashby vd., 2009; URL-39, 2017)

ÖZELLİK	KONUM	YAPI ELEMANI	UYGULAMA
Üzerlerine düşen ısı, ışık yoğunluğu etkisiyle renk niteliklerini kontrol etmek, enerji kazanımını arttırmak, parlamayı önlemek	Dış Mekan	Duvar	Seramik Pencere camı Boya
		Çatı	Örtü elemanı Cam çatı Pencere camı Boya
	İç Mekan	Duvar	Duvar kağıdı Seramik
		Döşeme	Seramik Boya
	Diğer (heykel)		Boya
Konut ve ticari yapılar dışında kaplıcalar, yüzme havuzlarında da tercih edilmektedir. İç mekanlarda özellikle sergi salonlarında kullanılmaktadır.			



Şekil 2.22. Termokromik boya, Juergen Mayer tarafından (Ashby vd., 2009).

### 2.1.1.1.3.2. Avantajları ve Dezavantajları

#### Avantajları

Termokromik malzemelerin avantajları alt başlıklara indirgenerek analiz edilmiştir.

Termokromik malzemeler;

- Elektrik gücü gerektirmeden kısa sürede değişime uğrayabilir, ekonomik ve uzun ömürlüdür.

- Görülebilir geçirgenliği de değiştirmediği için yapılarda yüksek gün ışığı aydınlatması sağlaması açısından kullanımı avantajlıdır (Yaşar vd., 2010).



Termokromik camlar;

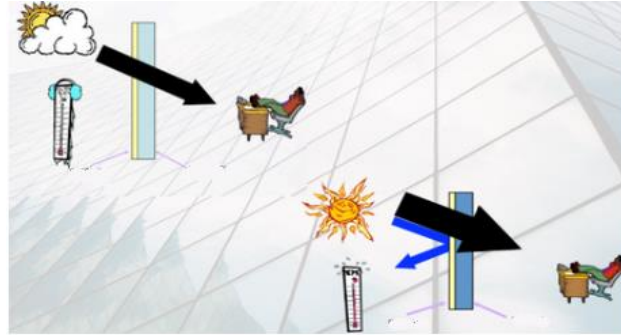
- İki cam arasına sıkıştırılmış jeller soğuk durumda saydam halde bulunmakla birlikte güneşin etkisiyle ısındığı zaman yansıtıcı özellik kazanıp ışık geçirgenliği azalarak güneşin sönümler; bu sayede bir kumanda veya dışarıdan bir insan etkisi veya düğmeye ihtiyaç duymadan camın ışık geçirgenliği azalır (Kazanasmaz ve Diler, 2011).

- Güneş korunumu için ayrıca panjur ve gölgeleme elemanlarına gerek yoktur. Cam, sabah ve gece görünür bir yüzeye sahipken, ısındığında iletimini yavaş yavaş değiştirir. Güneş uzaklaştıkça cam eski haline döner.

- UV ışınlarını geçirmez, 7/24 enerji tasarrufu sağlar. İşletme maliyetini düşürür.
- Çeşitli şekilde pencere tipleri mevcuttur. Tasarım olanakları sonsuzdur.
- Üçlü cam kombinasyonu ile gürültü kontrolü yapılabilir. Bu durum, kullanıcı konforunu arttırmaktadır.

- Dış cam bölmesi basit veya kendi kendini temizleyen cam olabilir.
- Çeşitli renkte camlar ile kombine edilebilir, değişimi kolaydır (LaFrance ve Weems, 2017).

- Yapılan çalışmalar kışın ısıtma sezonunda termokromik camın cephede ısı transferini %15-30 arası azalttığını, yazın ise enerji kazanımının %30-40 arası arttığını göstermiştir (RIngrose, 2017).



Şekil 2.23. Termokromik cam yaz ve kış mevsiminde davranışı (URL-40, 2018)

Dezavantajları

Termokromik malzemelerin dezavantajları alt başlıklara indirgenerek analiz edilmiştir.

Termokromik malzemeler;

- Henüz ticari olarak satışları ve uygulamaları yaygın değildir ve araştırılma aşamasındadır (LaFrance ve Weems, 2017).

Termokromik camlar;

- Isıl etkilere tepki vermekte ancak gün ışığı geçirgenliğini etkin olarak sağlayamamaktadır (Tavil, 2004).

- Manuel olarak kontrol edilemez (Yaşar vd., 2010)

- Bu camların en büyük dezavantajı, cama herhangi bir gölge vurması durumunda, cam yüzeyinde oluşacak sıcaklık farklılıklarından dolayı cam yüzeyinde homojen olmayan bir renk dağılımının oluşması ve estetik açıdan hoş olmayan bir görünümün ortaya çıkmasıdır (Kazanasmaz ve Diler, 2011).



Şekil 2.24. Termokromik camda homojen olmayan görüntü (Lee vd., 2018)

- Çoğu durumda sistemde 3 cam kullanılmaktadır. Atriyumlar, eğimli camlar ve çatı pencerelerinde isteğe göre çift cam kullanılabilir. 3 tabakalı cam, çift cama göre sisteme ağırlık yapmaktadır.

- Işık geçirgenlik mesafesi elektrokromik camlara göre düşüktür.

- Termokromik camlar ile mahremiyet sağlanamaz (LaFrance ve Weems, 2017).

### 2.1.1.1.3.3. Yapı Elemanlarında Uygulanması


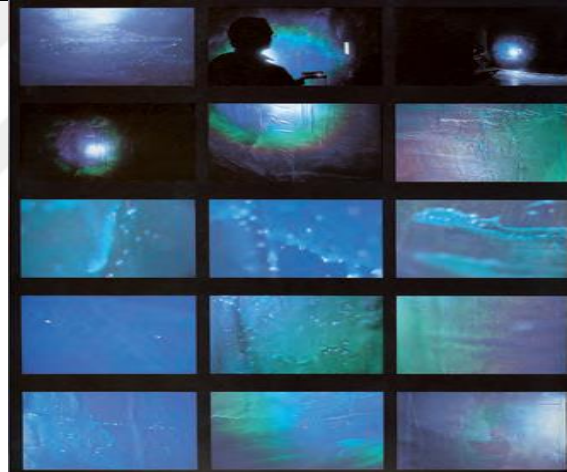
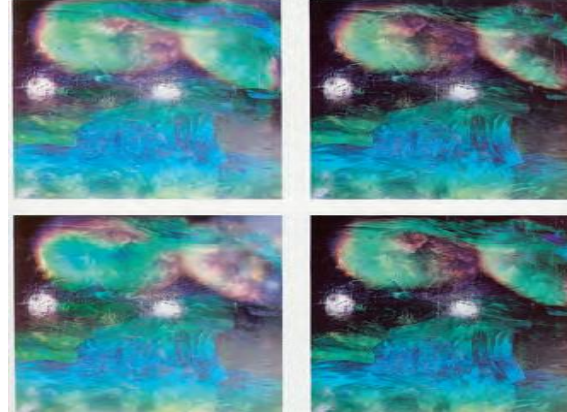
Termokromik malzemenin uygulandığı 9 adet örnek, Tablo 2.20’de ve her bir örnek için analiz tabloları hazırlanarak ifade edilmiştir. Yapı elemanları dağılımına özen gösterilerek örneklem listesi çıkarılmış; analiz edilen örnekler, üretici firmaların internet sitelerine koydukları referans projelerden, literatürde yapılmış çalışmalardan seçilmiştir.

Tablo 2.20. Analizi yapılan örnek listesi

<b>Tablo No</b>	<b>Yapının Adı, Bulunduğu Ülke ve Malzemenin Uygulama Yılı</b>	<b>Kullanılan Akıllı Malzeme</b>	<b>Uygulandığı Yapı Elemanı</b>	<b>Kullanım Yeri</b>	<b>Yapının İşlevi</b>
Tablo 2.21.	Modern Sanat Müzesi Fransa, 1988	Termokromik Boya	Duvar	İç Ortam, Cephe	Müze
Tablo 2.22.	Magnusmüller Galerisi Almanya, 2015	Termokromik Boya	Duvar	Dış Ortam, Cephe	Sergi Salonu
Tablo 2.23.	Rehau Ecosmart Evi ABD, 2011	Termokromik Cam	Duvar	Dış Ortam, Cephe	Konut
Tablo 2.24.	Glasswork PTY LTD Ofis Binası ABD, 2012	Termokromik Cam	Duvar	Dış Ortam, Cephe	Ofis Binası
Tablo 2.25.	BIG Dutchman Merkezi ABD, 2014	Termokromik Cam	Duvar	Dış Ortam, Cephe	Ofis Binası
Tablo 2.26.	Hope Koleji Jack H. Miller Müzik Sanatları Merkezi ABD, 2015	Termokromik Cam	Duvar	Dış Ortam, Cephe	Gösteri Merkezi
Tablo 2.27.	Tate Galeri İngiltere, 2004	Termokromik Boya	Döşeme	İç Ortam, Döşeme	Sergi Salonu
Tablo 2.28.	Atrium Fecility Alışveriş Merkezi Polonya, 2013	Termokromik Cam	Çatı	Dış Ortam, Çatı	Alışveriş Merkezi
Tablo 2.29.	Dünya(The Earth) Japonya, 1987	Termokromik Boya	-	Dış Ortam	Heykel

### 2.1.1.1.1.3.3.1. Duvar Yüzeyinde Kullanımı ile İlgili Örnekler

Tablo 2.21. Modern Sanat Müzesi analiz tablosu (Ritter, 2007)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>		
Yapının Adı :	Modern Sanat Müzesi	
Yapının Yeri :	Paris, Fransa	
Yapım Yılı :	1988	
Tasarım/Proje. :	Sigmar Polke	
Yapının İşlevi :	Müze	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>		
Kullanılan Akıllı Malzeme :	Termokromik Boya	
Kullanıldığı Yer :	İç ortam/Cephe	
Uygulandığı Yapı Elemanı :	Duvar	
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Alüminyum Membran	
Kullanım Amacı :	Isıya bağlı olarak renk ve optik özelliklerini değiştirmek	
<p>Tasarımda güneşin günlük hareketini göstermek hedeflenmiştir. Renk spektrumu siyahtan (20<sup>0</sup>C'den soğuk olduğunda), mor-kırmızı, kırmızı, sarı, sarı-yeşil ve yeşil-maviden turkuza (26<sup>0</sup>C'den sıcak olduğunda) doğru değişmektedir. Tasarım çatı konstrüksiyonunda kalıcı olarak değişen bir 'gölge çizimi' olarak uygulanmak istenmiş başarıya ulaşamamıştır.</p>		

Tablo 2.22. Magnusmüller Galerisi analiz tablosu (Ritter, 2007)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>	
Yapının Adı :	Magnusmüller Galerisi
Yapının Yeri :	Berlin, Almanya
Yapım Yılı :	2005
Tasarım/Proje. :	J. Mayer H.
Yapının İşlevi :	Sergi Salonu
	
<b>KULLANILAN AKILLI MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>	
Kullanılan Akıllı Malzeme :	Termokromik Boya
Kullanıldığı Yer :	İç ortam/Cephe
Uygulandığı Yapı Elemanı :	Duvar
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Boya
Kullanım Amacı :	Isıya bağlı olarak renk ve optik özelliklerini değiştirmek
Magnusmüller Galerisi için J.Mayer H. tasarlanan galerinin beyaz duvarlarında çokgen biçimli yoğun pembe renkli izole edilmiş termal bantlar şeklinde uygulanan tasarım 1960'ların sonunda görülen renk deneylerini anımsatmaktadır. J.Mayer, H. Friedrich Kiesler'in mimarlık ve sanatı bir araya getirme fikrini geliştirerek salon ile etkileşim kurmuş ve sergiyi dolaşmak için gelenleri serginin bir parçası getirmeyi hedeflemiştir. Termokromik boya pigmenti insan vücut sıcaklığına göre dokunduğu yerde daha açık renk oluşmasını sağlayacak şekildedir.	

Tablo 2.23. Rehau Ecosmart Evi analiz tablosu (Banyay, 2019; URL 42,2017)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>		
Yapının Adı	: Rehau Ecosmart Evi	
Yapının Yeri	: Montana, ABD	
Yapım Yılı	: 2011	
Tasarım/Proje.	: Bill Hoy ve Montana Eyalet Üniversitesi Yaratıcı Araştırma Laboratuvarı	
Yapının İşlevi	: Konut	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>		
Kullanılan Akıllı Malzeme	: Termokromik cam	
Kullanıldığı Yer	: Dış ortam/Cephe	
Uygulandığı Yapı Elemanı	: Duvar	
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi	: Cam	
Kullanım Amacı	: Isıya bağlı olarak renk ve optik özelliklerini değiştirerek ısı kontrolü yapmak	
<p>2009 ve 2010 yılları arası Montana Eyalet Üniversitesi'nden 3 öğrenci tarafından projenin malzeme, mekanik ısıtma ve soğutma gereksinimleri belirlenmiştir. Montana Eyalet Üniversitesi Sanat ve Mimarlık Fakültesi mezunu Bill Hoy 2011 yılında tamamlanan Ecosmart Evi'nde her dönem için 2 yıl olmak üzere boş ve dolu halde enerji kullanımı ile ilgili gerçek verileri yayınlacaktır.</p>		

Tablo 2.24. Glasswork PTY LTD Ofis Binası analiz tablosu (URL 41 ve 42, 2017)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>		
Yapının Adı :	Glasswork PTY LTD Ofis Binası	
Yapının Yeri :	Wyoming, ABD	
Yapım Yılı :	2012	
Tasarım/Proje. :	Schiavello	
Yapının İşlevi :	Ofis Binası	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>		
Kullanılan Akıllı Malzeme :	Termokromik cam	
Kullanıldığı Yer :	Dış ortam/Cephe	
Uygulandığı Yapı Elemanı :	Duvar	
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Cam	
Kullanım Amacı :	Isıya bağlı olarak renk ve optik özelliklerini değiştirerek ısı kontrolü yapmak	
Taban alanı 20.000 m <sup>2</sup> olan projenin duvar yüzeylerinde termokromik cam tercih edilerek ısı kontrolü sağlanmıştır.		

Tablo 2.25. BIG Dutchman Merkezi analiz tablosu (URL 43,44 ve 45, 2017)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>		
Yapının Adı :	BIG Dutchman Merkezi	
Yapının Yeri :	Michigan, ABD	
Yapım Yılı :	2014	
Tasarım/Proje. :	J. Andrew Baer	
Yapının İşlevi :	Ofis Binası	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>		
Kullanılan Akıllı Malzeme :	Termokromik cam	
Kullanıldığı Yer :	Dış ortam/Cephe	
Uygulandığı Yapı Elemanı :	Duvar	
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Cam	
Kullanım Amacı :	Isıya bağlı olarak renk ve optik özelliklerini değiştirerek ısı kontrolü yapmak	
<p>Projeye mevcut yapıya 12.000 m<sup>2</sup> yapı eklenerek tesis son haline kavuşmuştur. Yapı cephesinde termokromik cam kullanılmıştır.</p>		



Tablo 2.26. Hope Koleji Jack H. Miller Müzik Sanatları Merkezi analiz tablosu (URL 42 ve 46, 2017)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>	
Yapının Adı :	Hope Koleji Jack H. Miller Müzik Sanatları Merkezi
Yapının Yeri :	Michigan, ABD
Yapım Yılı :	2015
Tasarım/Proje. :	HGA Mimarlık
Yapının İşlevi :	Gösteri Merkezi
	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>	
Kullanılan Akıllı Malzeme :	Termokromik cam
Kullanıldığı Yer :	Dış ortam/Cephe
Uygulandığı Yapı Elemanı :	Duvar
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Cam
Kullanım Amacı :	Isıya bağlı olarak renk ve optik özelliklerini değiştirerek ısı kontrolü yapmak
70.000 m <sup>2</sup> taban alanına sahip projede iki performans salonu, derslikler, çalışma salonu ve ofisler yer almaktadır. En önemli mekanları 800 kişilik konser salonu ve 125 kişilik resital salonu olan yapıda cephe termokromik cam kullanılmıştır.	


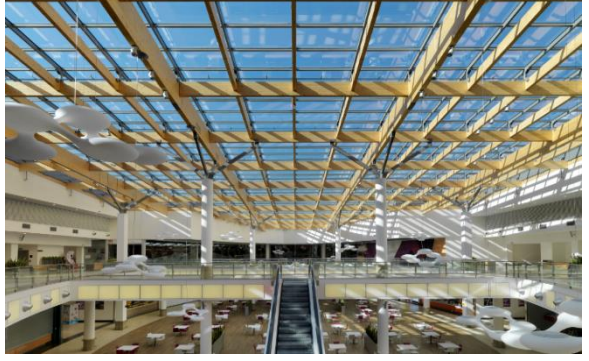
### 2.1.1.1.3.3.2. Döşeme Yüzeyinde Kullanımı ile İlgili Örnek

Tablo 2.27. Tate Galeri analiz tablosu (Ritter, 2007; URL-48, 2019)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>	
Yapının Adı :	Tate Galeri
Yapının Yeri :	Londra, İngiltere
Yapım Yılı :	2004
Tasarım/Proje. :	Chris Glaister, Afshin Menin, Tomas Rosen
Yapının İşlevi :	Sergi Salonu
	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>	
Kullanılan Akıllı Malzeme :	Termokromik Boya
Kullanıldığı Yer :	İç ortam/Döşeme
Uygulandığı Yapı Elemanı :	Döşeme
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Beton
Kullanım Amacı :	Isıya bağlı olarak renk ve optik özelliklerini değiştirmek
Tate Galerisi yüzeyinde ayakta duran ve hareket eden insanlar tarafından yayılan ısı ile kısmen görünebilecek renk değişimi gözlemlenmiştir. Mekânda ayakta duran veya hareket eden insanların yüzeye yaymış olduğu sıcaklık ile mekan sıcaklığı arasında fark olduğunda yoğun renkte noktalar veya daha az yoğun çizgiler ortaya çıkmaktadır.	

### 2.1.1.1.1.3.3.3. Çatı Yüzeyinde Kullanımı ile İlgili Örnek

Tablo 2.28. Atrium Fecility Alışveriş Merkezi analiz tablosu (URL-49, 2018)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>	
Yapının Adı :	Atrium Fecility Alışveriş Merkezi
Yapının Yeri :	Lublin, Polonya
Yapım Yılı :	2013
Tasarım/Proje. :	Mofo Architects
Yapının İşlevi :	Alışveriş Merkezi
	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>	
Kullanılan Akıllı Malzeme :	Termokromik cam
Kullanıldığı Yer :	Dış ortam/Çatı
Uygulandığı Yapı Elemanı :	Çatı
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Cam
Kullanım Amacı :	Isıya bağlı olarak renk ve optik özelliklerini değiştirerek ısı kontrolü yapmak
3300 m <sup>2</sup> alana sahip alışveriş merkezinde çatıda termokromik cam kullanılmıştır.	

### 2.1.1.1.1.3.3.4. Strüktürel Kullanımı ile İlgili Örnek

Tablo 2.29. Dünya analiz tablosu (Orhon, 2012)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>		
Yapının Adı :	Dünya(The Earth)	
Yapının Yeri :	Tokyo, Japonya	
Yapım Yılı :	1987	
Tasarım/Proje. :	Kiyoyuki Kikutake	
Yapının İşlevi :	Heykel	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>		
Kullanılan Akıllı Malzeme :	Termokromik Boya	
Kullanıldığı Yer :	Dış ortam	
Uygulandığı Yapı Elemanı :	-	
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Metal	
Kullanım Amacı :	Isıya bağlı olarak renk ve optik özelliklerini değiştirmek	
Tokyo Modern Sanat Müzesi'nin önünde duran Kiyoyuki Kikutake tasarımı "Dünya" isimli paslanmaz çelik heykelde, çevre sıcaklığı ile etkileşerek gün boyu sarı ve kırmızı arasında renk değiştiren termokromik boya kullanılmıştır.		

#### 2.1.1.1.1.4. Gazokromik Malzemeler

Gazokromizm; kimyasal reaksiyona etkisi ile meydana gelen tersinir renk değişimidir. Kimyasal reaksiyona bağlı optik özelliklerini değiştiren ve kimyasal reaksiyon etkisi kalktığıında ise optik özelliklerin de eski haline döndüğü saydam yalıtım malzemelerine gazokromik malzemeler adı verilmektedir.

Gazokromik malzemelerin gelişimi 21.yy'dan itibaren hız kazanmış ve A. Georg et al tarafından gazokromik malzemeler ile ilgili birçok yayın yayınlanmıştır (Feng vd., 2016). 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 camlardır. Bu reaksiyon ancak yalıtım camlarının dış tabakasının iç yüzeyine gazokromik bir kaplama eklenmesiyle gerçekleşir. Bu sistemlerde volfram oksit (tungsten oksit),  $WO_3$  (tungsten trioksit) veya itriyum oksit kaplamalar gazokromik malzeme olarak kullanılmaktadır. Sürecin tersine çevrilmesi sisteme hava verilmesiyle (hidrojenin serbest kalmasıyla) başlatılır (Yaşar vd., 2010).

Gazokromik camlar solar enerji sistemleri için Fraunhofer Enstitüsü'nde 1.5 m×2 m ebatlarında geliştirilmiştir (Lampert, 2004). Şekil 2.25'te gazokromik camın şeffaf ve renkli durumu verilmiştir.

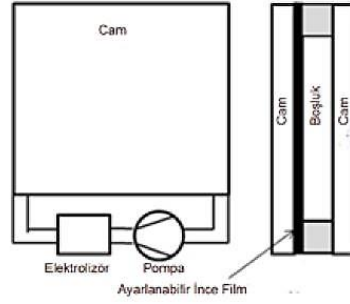


Şekil 2.25. Gazokromik cam (Lampert, 2004).

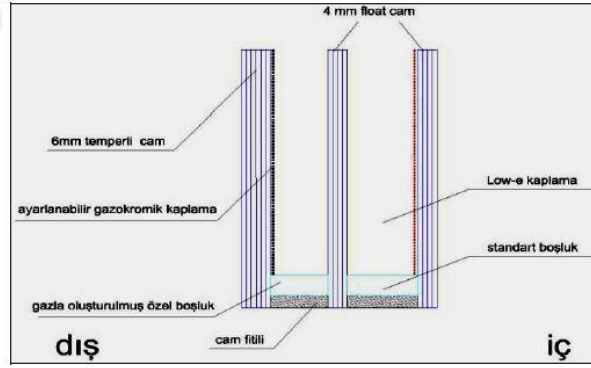
Üç cam levhanın laminasyonu ile oluşan gazokromik yalıtım camları, hidrojen ya da oksijen gazlarıyla etkileşime geçmesiyle renk değiştirebilmektedir. Hidrojen yoğunluğuna bağlı olarak cam, uygun bir şekilde renklendirilirken, oksijen ilavesi ile camın saydamlığının ilk haline dönmesi sağlanabilmektedir (Demir, 2011).

Gazokromik camlar; 2 ya da 3 cam katmanı, hava boşluğu, gaz sağlayıcı bağlantı ve elektronik kontrol ünitesinden oluşmaktadır (Şekil 2.26). Dış cam katmanı 6 mm, iki iç cam

katmanı 4 mm olmak üzere yapısında 1 ya da 2 adet hava boşluğu bulunmaktadır (Şekil 2.27). Gaz boruları kapalı alan boyunca yayılmaktadır. En üst katmanı platinyum kaplı katalist gibi davranan Tungsten oksit ( $WO_3$ ) ince film tabakası dış yalıtımlı cam katmanın iç yüzeyine uygulanmaktadır (Yelkenci Sert ve Güzel, 2015). Değişim süreci için gerekli zaman;  $H_2$ 'nin yoğunluğuna, sıcaklığa, gaz basıncına, bağlı neme ve sistem montajına bağlıdır (Yaşar vd., 2010).

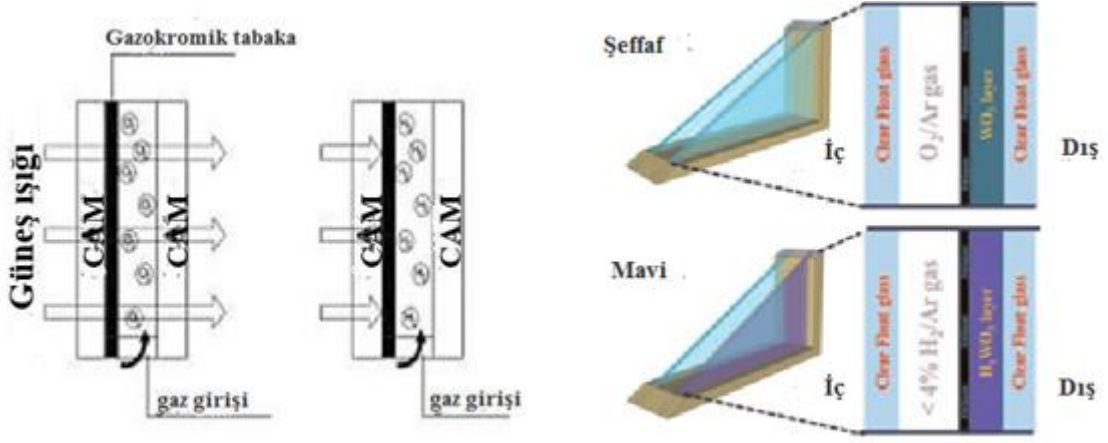


Şekil 2.26. Gazokromik cam çalışma prensibi (Yelkenci Sert ve Güzel, 2015).



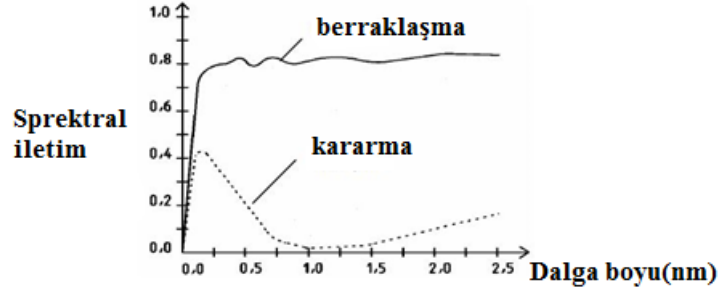
Şekil 2.27. Gazokromik cam kesiti (Demir, 2011).

Gazokromik camlarda berrak ve renkli durumlarında ışık geçirgenliği %15 ve %75 arasında değişmektedir (Ye vd., 2013). Şekil 2.28'de gazokromik camların kimyasal reaksiyon ile değişimi verilmiştir.



Şekil 2.28. Gazokromik cam kimyasal reaksiyon ile değişimi (Marchwinski, 2014; Feng vd., 2016)

Etkileri elektrokromik malzemelere benzeyen gazokromik malzemelerde renklenme süresi 20 saniye, berraklaşma için geçen süre ise 1 dakikadan azdır (Yener, 2007). Şekil 2.29’da ise bir gazokromik camın spektral geçirgenliği verilmiştir. Kesikli çizgi renk değiştirmiş halini, düz çizgi ise şeffaf halini göstermektedir.



Şekil 2.29. Gazokromik cam spektral geçirgenliği değişimi (Mohelnikova, 2019)

Gazokromik camların görülebilir ve yakın kızıl ötesi ışınlarını değişimden sonra önemli derecede azalmaktadır. Bu camlar diğer akıllı camlara oranla özellikle solar kontrol açısından daha avantajlı konumdadır (Yaşar vd., 2010).

Gazokromik malzemeler yapı elemanı olarak duvar, çatı, döşeme; yüzey olarak ise cam yüzeylerde uygulanmaktadır. Teknoloji olarak solar kazanç sağladığı için ekoloji ile ilişkili bir malzemedir.

#### 2.1.1.1.4.1. Uygulama Alanları

Gazokromik malzemelerin uygulama alanları özellik, konum, yapı elemanına göre sınıflandırılarak Tablo 2.30'da verilmiştir.

Tablo 2.30. Gazokromik malzemelerin uygulama alanları (Ritter, 2007; Yelkenci Sert ve Güzel, 2015)

ÖZELLİK	KONUM	UYGULAMA ALANI
Kimyasal reaksiyon sonucu renk değiştirmek, parlamayı azaltmak, solar kazanç sağlamak	Dış Mekan	Cam çatı Pencere camı
	İç Mekan	Pencere camı Bölücü cam eleman
Gazokromik malzemelerin kullanımı yaygın olmadığı için örneklerine çok rastlanılmamaktadır.		

#### 2.1.1.1.4.2. Avantajları ve Dezavantajları

##### Avantajları

Gazokromik malzemelerin avantajları alt başlıklara indirgenerek analiz edilmiştir.

Gazokromik malzemeler;

- Düşük maliyetlidir (Feng vd., 2016).

Gazokromik camlar;

- Tabaka sayısı diğer akıllı malzemelere göre az, geçirgenlik değeri yüksektir. Üretim süreci basittir (Yaşar vd., 2010).

- Geleneksel dış gölgelendirme sistemlerinin aksine, gazokromik cam aynı zamanda yüksek binalarda kullanılabilir (Wilson, H. R., 2017).

- Büyük ölçekli akıllı cam sistemi üretiminde kullanımı uygundur (Feng vd., 2016).

- Gazokromik cam önemli bir performans kaybı olmaksızın bir yıl içerisinde 10.000 kez devreye sokulabilir (George vd., 2000).

##### Dezavantajları

Gazokromik malzemelerin dezavantajları alt başlıklara indirgenerek analiz edilmiştir.

Gazokromik malzemeler;

- Gaz elde edilmesinde ve sistem montajında sınırlamaları vardır (Feng vd., 2016).

Gazokromik camlar;





- Renk olarak mavi renk ile sınırlıdır.

### 2.1.1.1.4.3. Malzemenin Kullanıldığı Örnekler

Mimaride yaygın tercih edilmemesinden dolayı uygulanması kısıtlı olan gazokromik malzemenin kullanım örnekleri Tablo 2.31 ile ifade edilmiştir.

Tablo 2.31. Kullanım örnekleri (Yaşar vd., 2010)

YAPININ ADI	KONUMU	GÖRSEL
Freiburg Fraunhofer ISE	Almanya	
Ulmer Münster	Almanya	

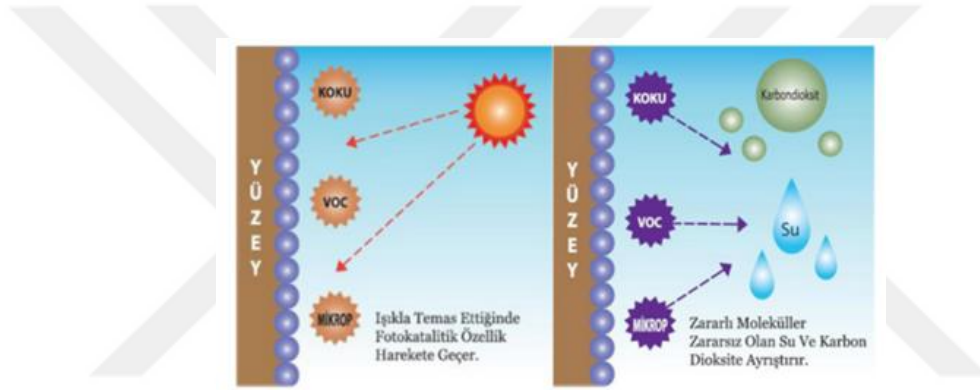
### 2.1.1.1.2. Adezyon Değiştiren Akıllı Malzemeler

Adezyon yüzeye yapışma olarak tanımlanabilir (Mandev, 2018). Adezyon değiştiren akıllı malzemeler; ışık, sıcaklık, elektriksel alan vb. uyaran etkisiyle katı, sıvı veya gaz bileşenlerinin atom veya molekülleri arasındaki adezyonu değiştiren malzemelerdir. Adezyon değiştiren malzemeler grubunda en yaygın olarak kullanılan malzeme Titanyum dioksit ( $TiO_2$ )'dir (Orhon, 2012).

Titanyum dioksit ( $TiO_2$ ), yüzeyine tutunan kirletici maddeleri (parçacık maddeler, uçucu organik bileşikler, azot oksitler vb.) ışık etkisi altında su ve karbondioksite parçalayıcı (fotokatalitik) etki gösterir. Bu niteliği ile uygulandığı yüzeylere de fotokatalitik özellik kazandıran malzeme, pek çok sürdürülebilir mimari uygulamada kullanıma girmiştir (Orhon, 2013).

### 2.1.1.1.2.1. Fotokatalitik Malzemeler

Fotokatalizm, “Bir katalist varlığı ile bir fotoreaksiyonun hızlandırılması” olarak tanımlanabilir (Şam vd., 2007). Fotokatalitik özellik ise, doğal güneş ışığından alınan UV ışınları, oksijen ve nano partiküllerden meydana gelen özel bir kaplama arasında oluşan kimyasal reaksiyon sonucunda yüzeydeki organik kirlerin parçalanıp yok edilmesidir (Kalyoncu, 2018). 1990’larda titanyum dioksit ( $TiO_2$ ) malzemenin fotokatalitik etkisinden yararlanmak üzere yapı bileşenlerinde kullanılmaya başlanmasıyla birlikte “fotokatalitik malzeme” kavramı mimarlık literatürüne girmiştir (Orhon, 2014). Şekil 2.30’da fotokatalitik etkili malzeme yüzeyinde temizlik işleminin gerçekleşmesi şematik olarak ifade edilmiştir.



Şekil 2.30. Fotokatalitik etkili malzeme yüzeyinde gerçekleşen temizlenme olayının şematik gösterimi (URL-53, 2017).

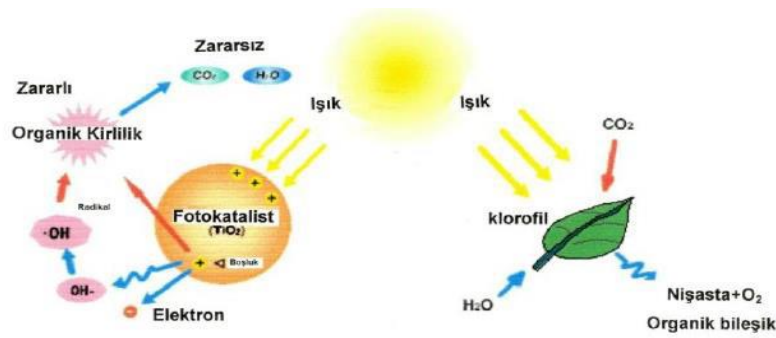
Titanyum dioksitin fotokatalitik özelliği ilk kez 1967’de Tokyo Üniversitesi’nde Akia Fujishima tarafından fark edilmiştir (Orhon, 2014). Sonrasında dünyada ciddi bir problem haline gelen çevre kirliliği sorunlarına çözüm sunabilme potansiyeline sahip olduğu için bu konu üzerinde yoğun olarak çalışılmaya başlanmıştır (Şam vd., 2007). İlk kez 1972 yılında ‘Honda-Fujishima etkisi’ olarak yayınlanan olgu günümüzde fotokatalitik etki olarak bilinmektedir. Fujishima ve ekibi bu tarihten beri çalışmalarına devam ederek  $TiO_2$  kökenli fotokatalitik teknolojileri ticari kullanıma sunmuşlardır (Orhon, 2014). Frank ve Bard (1977),  $TiO_2$  tozları ile su içerisindeki siyanürü parçalayarak çevresel arıtma konusundaki ilk çalışmayı gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmanın ardından, organik ve inorganik su kirlerinin arıtılması üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır.  $TiO_2$  tozlarının su arıtma işleminde kullanılmasından sonra, suyun içerisinden temizlenmesi gibi bir problemin ortaya çıkması  $TiO_2$ ’i, ince film gibi, farklı bir formda üreterek kullanma ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Bu

konuda yapılan ilk çalışmalar Matthews (1987) ve Heller (1995) tarafından gerçekleştirilmiştir (Şam vd., 2007). Ticari olarak 1909 yılından bu yana kullanılsa da fotokatalitik etkisi geç fark edilen malzeme, mimari uygulamalarda ilk kez 1995 yılında Japonya’da seramik yüzey kaplamalarında kullanılmıştır (Çakmaklı vd., 2015). Ayrıca 1995 yılında Fujishima ve ekibi  $TiO_2$  kaplama uygulanmış cam yüzeylerin günışığı etkisinde kaldığında fotokatalitik özellikle birlikte süperhidrofilik (aşırı derecede su-severlik) özellik de gösterdiğini bulmuşlardır. Böylece kendini temizleyen cam uygulamalarına başlanmıştır (Orhon, 2014).

İnşaat ve yapı malzemeleri alanında titanyum dioksit ( $TiO_2$ ) en yaygın kullanılan fotokatalisttir.  $TiO_2$ , Antik Dönemlerden bu yana, boyalarda, kozmetikte ve yiyecek maddelerinde beyaz pigment olarak kullanımı bilinen bir yarı iletken malzemedir.  $TiO_2$ 'nin fotokatalitik yapı malzemelerinde geniş kullanımı aşağıdaki özelliklerinden kaynaklanmaktadır:

- Göreceli olarak ucuz, güvenli, kimyasal olarak stabildir.
- Diğer metal oksit fotokatalistlere göre fotokatalitik aktivitesi yüksektir.
- Orijinal performansında bir değişiklik olmadan, çimento gibi geleneksel yapı malzemeler ile uyumlu çalışmaktadır.
- Atmosferik çevre ortamında, düşük güneş ışınımı altında etkindir (Kuloğlu Yüksel, 2010).

Şekil 2.31’de de görüldüğü üzere  $TiO_2$ , bitkilerde bulunan klorofilin fotosentez özellik göstermesine benzer şekilde, fotokatalitik özellik göstermektedir (Yılmaz, 2014).

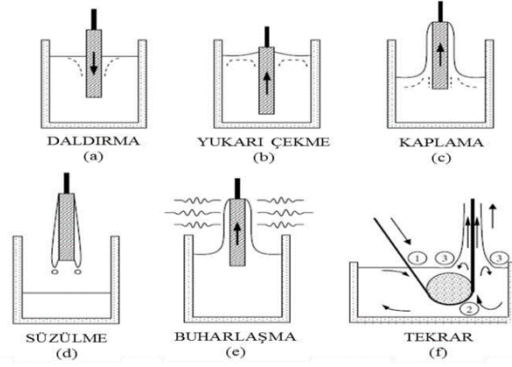


Şekil 2.31.  $TiO_2$  in fotokatalitik, klorofilin fotosentez etkisi (Yılmaz, 2014).

Titanyum dioksit ( $TiO_2$ ) toz veya ince film halde kullanılmaktadır. Toz haldeki  $TiO_2$  fotokatalitik aktiviteyi gösterdikten sonra ortamdan süzülerek uzaklaştırılmaktadır. Ancak

bu işlem oldukça zordur. Son yıllarda hemen tüm çalışmalar "fotokatalitik ince filmler" üzerine yoğunlaşmıştır (Çakıroğlu, 2011).

Teknolojinin gelişmesi ve insan ihtiyacının artmasıyla klasik üretim tekniklerinin bu ihtiyacı karşılayamaması yeni üretim tekniklerinin geliştirilmesine sebep olmuştur. Sol-gel, kaplama amacıyla geliştirilen önemli üretim tekniklerinden birisidir. Sol-gel yöntemi ile cam, seramik, metal ve polimer malzemeler üzerine  $TiO_2$  filmler kaplanabilmektedir. Bu kaplamalar malzeme yüzeyine daldırma, döndürme ve püskürtme teknikleriyle yapılabilmekte ve elde edilen materyal fotokatalitik özellik göstermektedir (Koç, 2012; Sökmen, 2019).  $TiO_2$  film kaplama tekniklerinden olan ve öncelikle bir çelik halat ve kanca yardımıyla numunenin çözelti içine daldırılması, yukarı çekilmesi ve son olarak da numune üzerindeki sıvının uçması ile kaplama tabakalarının oluşması şeklinde aşamalardan oluşan daldırma tekniğinin şematik gösterimi Şekil 2.32’de verilmiştir.

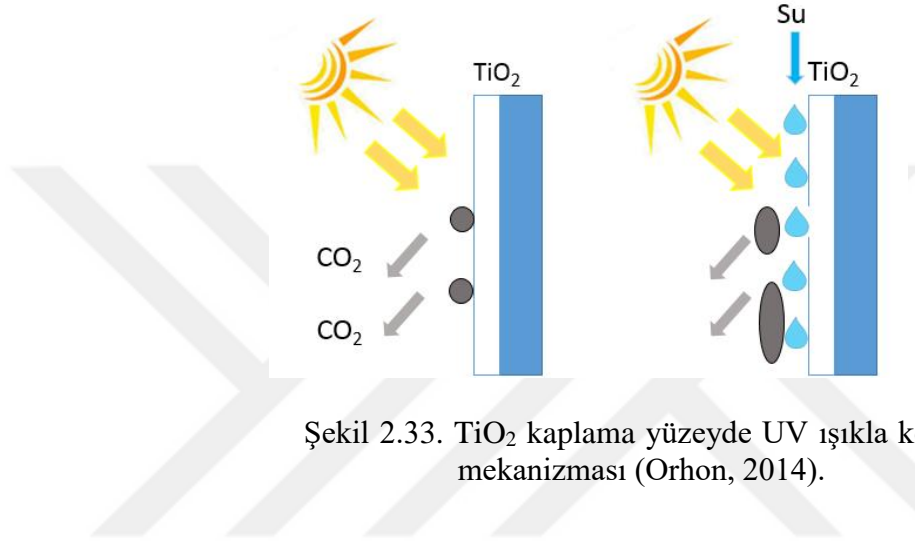


Şekil 2.32. Daldırma yönteminin aşamalarının şematik gösterimi (Koç, 2012).

Titanyum dioksit ( $TiO_2$ ), ince film uygulamaları için nadir özelliklere, optik kaplamalar için çok iyi optik geçirgenliği, yüksek kırılma indisi ve kimyasal kararlılığa sahiptir (Kılıçoğlu, 2009).

Genel olarak işlevsel kaplamaların dayanıklı, uygulaması kolay, ucuz, çevre dostu olması beklenmektedir. Bu özelliklerin sağlanmasında en etkin yöntem nano kaplamalardır. Nano kaplama; içeriği nano boyutlu (nanometre =  $10^{-9}$  metre) yapılardan oluşan bir tabaka ile malzeme yüzeylerinin kaplanmasıdır. Nano boyutta, makro boyutlarda görülmeyen kimyasal ve fiziksel değişimler ve nano boyutlu taneciklerin yüzeye düzgün sıralanması ile nitelikli kaplamalar elde etmek mümkündür (Avcı, 2009).

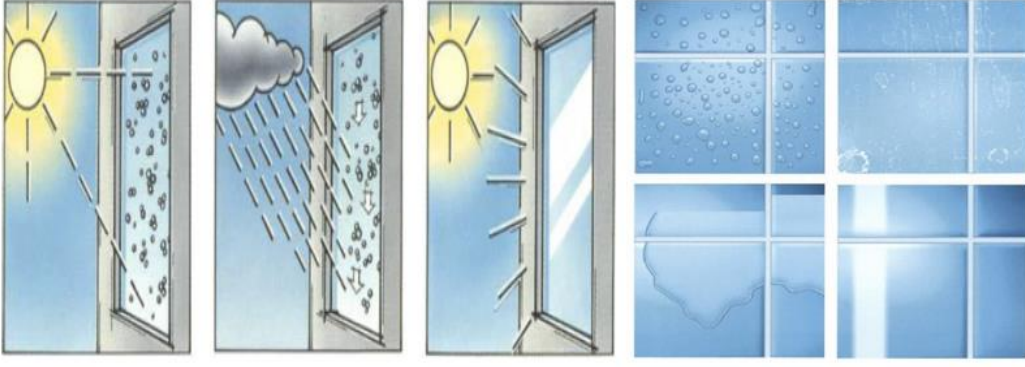
Fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleme özelliğine sahip nanokaplamalar temizlenme sürecini iki aşamada gerçekleştirmektedir. İlk aşama, fotokatalitik tepkimeler sonucunda yüzeye yapışmış organik kirlerin parçalanmasıdır. İkinci aşama ise, su seven (hidrofilik) özellikte nanokaplama yüzeyine çarpan su damlacıklarının hızlıca levha şeklini alarak, fotokatalitik tepkimeler sonucu parçalanan kirleri bünyelerine katması ve malzeme yüzeyinden uzaklaştırmasıdır (Şekil 2.33) (Yılmaz, 2014).



Şekil 2.33. TiO<sub>2</sub> kaplama yüzeyde UV ışıkla kendini temizleme mekanizması (Orhon, 2014).

Değme açısı ( $\theta$ )  $< 30^\circ$  olan yüzeyler hidrofilik (su-sever) olarak isimlendirilir; özel bir durum olarak  $\theta < 10^\circ$  ise yüzey süperhidrofilik adını alır. Hidrofilik yüzeylerde su, damlacıklar halinde toplanmak yerine yüzeye bir film tabakası gibi yayılır.

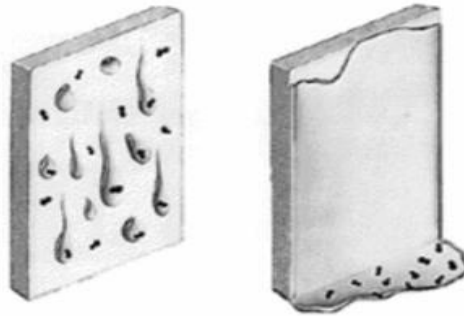
TiO<sub>2</sub> kaplamalı camlarda 'kendini temizleme' özelliği, günışığındaki UV ışığının etkisiyle oksijenli ve nemli yüzeyde TiO<sub>2</sub> katalizörlüğünde gerçekleşen fotokataliz sonucunda parçalanan kirletici partiküllerin yağmur sonrası süperhidrofilik (aşırı derece su sever) yüzeye yayılan su tabakasıyla etkin biçimde temizlenmesiyle oluşmaktadır (Orhon, 2014). TiO<sub>2</sub> kaplama ile buğulanmayan ve kendi kendisini temizleyebilen yüzeyler elde edilebilmektedir (Şekil 2.34) (Orhon, 2012; Şam vd. 2007).



Şekil 2.34. TiO<sub>2</sub> kaplamalı cam yüzeyin UV ışıkla kendini temizleme mekanizması (URL-55, 2017).

UV ışığına maruz bırakılan fotokatalitik malzemeler, çeşitli organik parçacıkların okside olmasına ve daha yararlı bir forma dönüşmesini sağlamaktadır (Ashby vd., 2009).

Yüzey kaplamalarında kullanılan TiO<sub>2</sub> ışıkla kendi kendine temizleme işlevi dışında titanyumdioksitin kuvvetli yükseltgen özellikleri sebebiyle yüzeyindeki bakteri ve virüsleri de parçalayarak yok edebilir (Orhon, 2012). Bu özelliğinden dolayı TiO<sub>2</sub> ile bakteri ve mikroplardan kendi kendini temizleme özelliğine sahip "antibakteriyel yüzeyler" hazırlanabilmektedir. Bu tür ilk çalışmalar E. Coli süspansiyonu ile yapılmıştır. Çalışmalarda TiO<sub>2</sub> kaplı olmayan yüzeyin belirli bir süre ışınlamasından sonra, bakterilerin sadece % 50' si yok olmuşken, TiO<sub>2</sub> kaplı yüzeyde bakterilerin tamamı yok olmuştur (Şekil 2.35) (Orman, 2014).



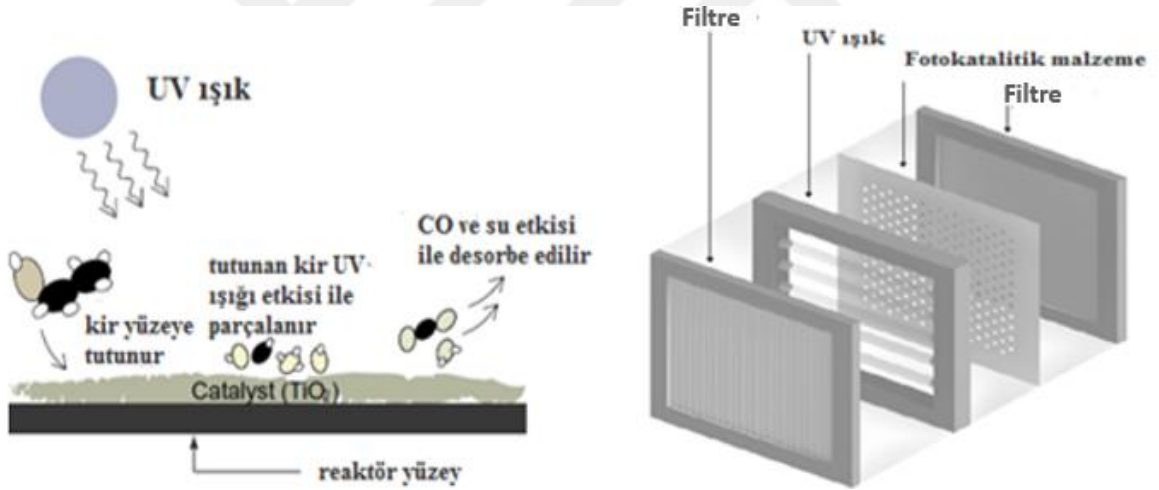
a) Normal Yüzey b) TiO<sub>2</sub> kaplı yüzey

Şekil 2.35. Kaplanmış ve kaplanmamış yüzeydeki bakterilerin gösterimi (Orman, 2014).

TiO<sub>2</sub>; kendi kendini temizleme, üzerindeki bakteri ve virüsleri parçalayarak yok etme özelliği dışında hava temizleme özelliğine de sahiptir. İç mekan hava kalitesini arttırmak

için hava temizleyici  $TiO_2$  esaslı malzemeler geliştirilmiş olup bu tür malzemeler geleneksel yapı malzemelerine  $TiO_2$  eklenerek üretilmektedirler. Bu malzemelerin uygulandığı cam, seramik, boya, duvar kağıdı ve beton gibi ürünler ticari olarak bulunmaktadır (Orhon, 2014; URL-56, 2018). Hava temizleyen  $TiO_2$  esaslı malzemeler aynı zamanda dış mekan hava kirliliğinin kontrolünde de kullanılmaktadır (URL-56, 2018).

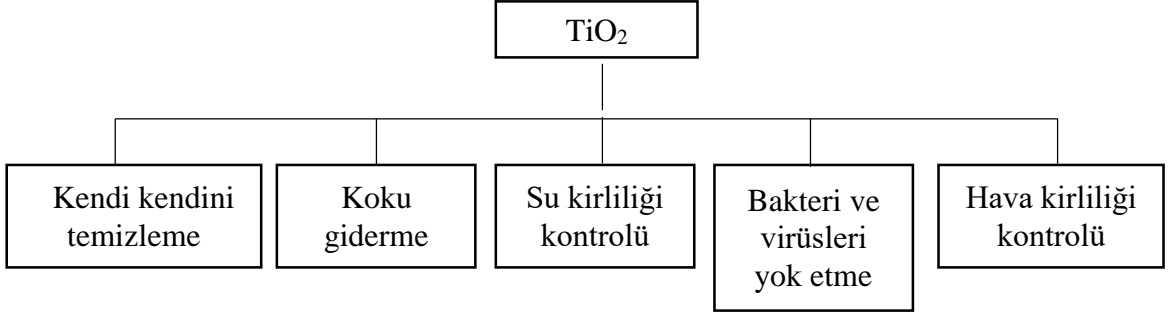
Dış mekan hava kirliliği kontrolünde güneşin UV ışınları dumanlı/kirli havadan geçerek kaplamanın üstündeki Titanyum dioksit'e ulaştığında, kaplama ile dumanın içindeki kimyasallar (mono-nitrojen oksitler- $NO_x$ ) arasında kimyasal bir reaksiyon oluşur ve dumandaki kimyasallar, gübrede kullanılan bir tuz olan kalsiyum nitrat, karbondioksit ve su gibi daha az zararlı kimyasallara ayrışır. Titanyum dioksit bu reaksiyonda katalizör olarak görev yaptığı için kendisine bir şey olmaz, dolayısıyla kaplama malzemesi, işlevini yitirene kadar cephede bu reaksiyonları yapmaya devam eder (Şekil 2.36) (Orhon ve Altın, 2014).



Şekil 2.36. Fotokatalitik hava temizleme, iç mekan tipik fotokatalitik hava temizleyici (Ashby vd., 2009).

Dış mekandaki ışığın aydınlatma şiddeti iç mekandan daha yüksek olduğundan  $TiO_2$  esaslı malzemeler daha iyi bir performansa sahiptir. Dış mekan hava temizleyici  $TiO_2$  esaslı malzemeler,  $TiO_2$  esaslı beton matrisler(takviye malzemeyi bir arada tutan malzeme), boyalar ve kaplamaları içerir. Bu malzemeler çoğunlukla dış cephelerde, yollarda ya da dekorasyon için kullanılır (URL-56, 2018).

$TiO_2$ 'in görevleri Şekil 2.37'de ifade edilmiştir.



Şekil 2.37. TiO<sub>2</sub>'in yerine getirdiği 5 ana görev (URL-53, 2017).

Fotokatalitik ürünlerin kullanım miktarı ve araştırma alanı her geçen yıl artmaktadır. Bu kapsamda 2003 yılında Italcementi firması Milan'da 7.000 m<sup>2</sup> fotokatalitik TiO<sub>2</sub> katılmış beton ile yol yüzeyini kaplamıştır. Değerlendirmeler sonucu nitrojen oksit seviyesinin yaklaşık %60 oranında azaldığı görülmüştür. Fransa'da yapılan buna benzer bir araştırmada normal çimento kullanılan duvar sıvasında %80 olan nitrojen oksit seviyesinin fotokatalitik TiO<sub>2</sub> katılmış beton kullanıldığında %20'ye indiği görülmüştür (URL-56, 2018). Hollanda'da yapılan bir çalışmada ise yoğun trafikli bir yolun kenarında fotokatalitik TiO<sub>2</sub> katılarak yapılan beton kaldırım kaplaması kullanımının normal kaldırım kaplamalarına göre etkinliği araştırılmış; kaldırım üzerinde 0.5- 1.5 m yükseklikteki havanın kalitesi gözlemlenmiş ve TiO<sub>2</sub> katılarak yapılan beton kaldırımların bu bölgedeki azot oksit miktarını %25-45 azalttıkları bulunmuştur.

İngiltere'de yapılan bir çalışmada ise fotokatalitik kaplama ile kendini temizleme özelliği kazandırılmış camların kullanımı sürdürülebilirlik açısından irdelenmiş ve bu tip camların kullanıldığı 12 adet yapının gerçek yapım ve bakım maliyetleri üzerinden yapılan çalışmada yatırımın geri dönüş süreleri okul binası için 5-6 yıl, apartman yapısı için 9-11 yıl ve ofis yapısı için 3-4 yıl olarak hesaplanmıştır. Yine çalışmada 12 katlı bir ofis yapısında bu camlar sayesinde yapının hizmet ömrü süresince 100,000 litre su tasarrufu sağlayacağı da öngörülmüştür (Orhon, 2013).

Fotokatalitik malzemelerin mimaride uygulanması ülkemizde de yaygınlaşmaktadır. Ülkemizde bazı özel firmalar fotokatalitik seramik ve boya üretimi gerçekleştirmişler ve faaliyetlerine devam etmektedirler.

Fotokatalitik malzemeler yapı elemanı olarak duvar, çatı, döşeme; yüzey olarak ise plastik, beton, seramik, metal, cam, kiremit, tuğla, briket, sıva vb. yüzeylerde uygulanmaktadır. Nanoteknoloji ile üretildiklerinden fotokatalitik malzemeler, teknoloji olarak nanoteknoloji ile ilişkili bir malzemedir.



### 2.1.1.1.2.1.1. Uygulama Alanları

Fotokatalitik malzemelerin uygulama alanları özellik, konum ve yapı elemanına göre sınıflandırılarak Tablo 2.32’de verilmiştir.

Tablo 2.32. Fotokatalitik malzemelerin uygulama alanları (Orhon, 2012; Orhon, 2013; URL-53, 2017; Kuloğlu Yüksel, 2010; Orman, 2014; Fujishima vd., 2000)

ÖZELLİK	KONUM	YAPI ELEMANI	UYGULAMA ALANLARI
Kendi kendini temizleme	Dış Mekan	Duvar	Dış cephe (seramik,boya,alüminyum,cam)
		Duvar, döşeme ve çatı	PVC (lambri, membran)
	İç Mekan	Duvar	Mutfak ve banyo bileşeni Duvar kağıdı
Hava temizleme	Dış mekan	Duvar	Tünel duvarı Dış cephe
		Döşeme	Beton yol
	İç mekan	Duvar	Fotokatalizörlü klima cihazı İç mekan hava temizleyicisi Evlerde ya da sigara içme odalarında kullanılan aydınlatma armatürü
Su arıtma	İç Mekan	Duvar, döşeme ve çatı	Su depolama tankı
Antibakteriyel	Dış Mekan	Duvar ve döşeme	Mermer üzerine koruyucu kaplama
	İç Mekan	Duvar ve döşeme	Ameliyathane döşemesi ve duvarlarını kaplayan malzeme Islak mekan (Banyo vb.)
Konut ve ticari yapılar dışında hastane ve tünelde de tercih edilmektedir.			

### 2.1.1.1.2.1.2. Avantajları ve Dezavantajları

#### Avantajları

Fotokatalitik malzemelerin avantajları alt başlıklara indirgenerek analiz edilmiştir.

Titanyum dioksit (TiO<sub>2</sub>);

- Zehirli olmayıp birçok alanda kullanılmaktadır (Korkmaz Erdural vd., 2009).
- Fotokatalitik malzeme geleneksel malzemelere oranla daha uzun periyotlarda temiz kaldığından kullanıcı müdahalesine daha az gereksinim duymaktadır. Örneğin

geleneksel yüzey malzemeleri arasında yer alan PTFE ve ETFE gibi malzemelerin yüzeylerinin temiz kalabilmesine rağmen tortu birikimi gözlenmekte olup daha kısa periyotlarda kullanıcı müdahalesine gerek duyulmaktadır (Leydecker, 2008).

- Ekonomik olarak daha kolay elde edilebilmesi sayesinde fayda-maliyet ekseninden değerlendirildiğinde diğer malzemelere göre öne çıkmaktadır (Akalin vd., 2015).
- Kararlılık oranı yüksektir (Bilankohi ve Ebrahimzadeh, 2016).
- Fiziksel ve kimyasal değişime uğramadan özelliklerini uzun süre korur (Dikici ve Yurddaşkal, 2018).

#### Nanomalzemeler

• Buhar giderici nanomalzemeler özellikle su / nem ile karşılaştıklarında, içerdikleri nano boyutlu titanyum dioksit sayesinde yüzeylerindeki suyu ve nemi bir film tabakasına dönüştürmekte ve böylelikle yüzeydeki buharın görünmesini önlemektedir. Nanoteknoloji ile üretilmiş olan banyo aynalarında da uygulanan bu sisteme genellikle yapıların ıslak hacimlerinde yer alan duvar ve döşeme kaplamalarında gereksinim duyulmaktadır (Sevgen Perker, 2010).

• Havayı temizleme özelliğine sahip nanokaplamalar, iç mekân hava kalitesini enerjiye ihtiyaç duymaksızın pasif yöntemler ile sürekli bir şekilde arttırmaları nedeniyle mekanik sistemlere oranla önemli miktarda enerji tasarrufu ve maddi kazanç sağlamaktadır (Yılmaz ve Vural, 2015).

#### Cephe yüzeyinde kullanımı;

• Bilimsel çalışmalar 1000 m<sup>2</sup> fotokatalitik cephe kaplamasının hava temizleyici etkisinin 70 orta boy ağaç kadar olduğunu göstermiştir (Orhon, 2013).

#### Dezavantajları

Fotokatalitik malzemelerin dezavantajları alt başlıklara indirgenerek analiz edilmiştir.

#### Titanyum dioksit (TiO<sub>2</sub>);

- Temizleme işlemi, güneş ışığı ve yağmura bağlıdır (uzun bir süre yağmur yağmazsa camlar bezle temizlendikten veya suyla yıkadıktan sonra kendi kendini temizler).
- Organik kirlere karşı etkili olduğu için özellikle sahil kenarında kullanımında tuz tortuları gibi maddelere karşı etkili değildir.
- Fotokatalitik kaplı camların iç yüzeylerinin temizliğinin kullanıcı tarafından yapılması gerekir (URL-57, 2017).
- Yanıcı bir malzemedir (Balkar, 2006).

- Düzgün çalışabilmesi ve yeterli enerjiyi emmesi için geçen süre 12-48 saattir (URL-57, 2017).

### 2.1.1.1.2.1.3. Yapı Elemanlarında Uygulanması

Fotokatalitik malzemenin uygulandığı 26 adet örnek, Tablo 2.33'te ve her bir örnek için analiz tabloları hazırlanarak ifade edilmiştir. Yapı elemanları dağılımına özen gösterilerek örneklem listesi çıkarılmış; analiz edilen örnekler, üretici firmaların internet sitelerine koydukları referans projelerden, literatürde yapılmış çalışmalardan seçilmiştir.

Tablo 2.33. Analizi yapılan örnek listesi

Tablo No	Yapının Adı, Bulunduğu Ülke ve Malzemenin Uygulama Yılı	Uygulandığı Yapı Elemanı	Kullanılan Akıllı Malzeme	Kullanım Yeri	Yapının İşlevi
Tablo 2.34.	Müzik ve Güzel Sanatlar Merkezi Fransa, 2000	Duvar	TiO <sub>2</sub> Nanoparçacık Katkılı Beton	Dış Ortam, Cephe	Gösteri Merkezi
Tablo 2.35.	Jübile Kilisesi İtalya, 2003	Duvar	TiO <sub>2</sub> Nanoparçacık Katkılı Beton	Dış Ortam, Cephe/Yapı Kabuğu	Dini Yapı/Kilise
Tablo 2.36.	Air France Yönetim Binası Fransa, 2006	Duvar	TiO <sub>2</sub> Nanoparçacık Katkılı Beton	Dış Ortam, Cephe	Ofis Binası
Tablo 2.37.	Bank HQ İtalya, 2009	Duvar	TiO <sub>2</sub> Nanoparçacık Katkılı Beton	Dış Ortam, Cephe	Banka
Tablo 2.38.	Vodafone Village İtalya, 2012	Duvar	TiO <sub>2</sub> Nanoparçacık Katkılı Beton	Dış Ortam, Cephe	Ofis Binası
Tablo 2.39.	Expo 2015 İtalyan Pavilion İtalya, 2015	Duvar	TiO <sub>2</sub> Nanoparçacık Katkılı Beton	Dış Ortam, Cephe	Sergi Salonu
Tablo 2.40.	MSV Arena Stadyumu Almanya, 2004	Duvar	6 mm TiO <sub>2</sub> Kaplamalı Cam + Güneş Kontrol Cam	Dış Ortam, Cephe	Stadyum

Tablo 2.33'ün devamı


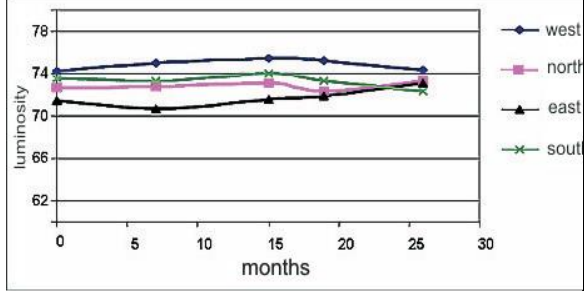
Tablo No	Yapının Adı, Bulunduğu Ülke ve Malzemenin Uygulama Yılı	Uygulandığı Yapı Elemanı	Kullanılan Akıllı Malzeme	Kullanım Yeri	Yapının İşlevi
Tablo 2.41.	Helen De Vos Çocuk Hastanesi ABD, 2004	Duvar	6 mm TiO <sub>2</sub> Kaplamalı Cam + Güneş Kontrol Cam	Dış Ortam, Cephe	Hastane
Tablo 2.42.	AKT-am Kaiser's Turm Almanya, 2006	Duvar	12 mm TiO <sub>2</sub> Kaplamalı Cam + Lamine Cam	Dış Ortam, Cephe	Restoran
Tablo 2.43.	Kurakuen Evi Japonya, 2005	Duvar	TiO <sub>2</sub> Nanoparçacık Katkılı Boya	Dış Ortam, Cephe	Konut
Tablo 2.44.	Lesu Kilisesi İspanya, 2011	Duvar	TiO <sub>2</sub> Nanoparçacık Katkılı Sıva	Dış Ortam, Cephe	Dini Yapı/ Kilise
Tablo 2.45.	Magnet Yerleşim Merkezi Arnavutluk, 2014	Duvar	TiO <sub>2</sub> Nanoparçacık Katkılı Sıva	Dış Ortam, Cephe	Konut
Tablo 2.46.	Muhammad Ali Center MAC Louisville ABD, 2005	Duvar	TiO <sub>2</sub> Nanoparçacık Katkılı Seramik	Dış Ortam, Cephe	Müze
Tablo 2.47.	Monte Verde Kulesi Avusturya, 2010	Duvar	TiO <sub>2</sub> Nanoparçacık Katkılı Seramik	Dış Ortam, Cephe	Konut
Tablo 2.48.	Bertram ve Judith Kohl Binası ABD, 2010	Duvar	TiO <sub>2</sub> Nanoparçacık Katkılı Alüminyum Panel	Dış Ortam, Cephe	Okul
Tablo 2.49.	Manuel Gea Gonzalez Hastanesi Meksika, 2010	Duvar	TiO <sub>2</sub> Nanoparçacık Katkılı Plastik Panel	Dış Ortam, Cephe	Hastane
Tablo 2.50.	Narita Uluslararası Havalimanı 1.Terminal Japonya, 2006	Çatı	TiO <sub>2</sub> kaplamalı membran	Dış Ortam, Yapı Kabuğu	Havalimanı
Tablo 2.51.	YAS Marina Pisti Birleşik Arap Emirlikleri, 2009	Çatı	TiO <sub>2</sub> kaplamalı membran	Dış Ortam, Yapı Kabuğu	Yarış Pisti

Tablo 2.33'ün devamı

<b>Tablo No</b>	<b>Yapının Adı, Bulunduğu Ülke ve Malzemenin Uygulama Yılı</b>	<b>Uygulandığı Yapı Elemanı</b>	<b>Kullanılan Akıllı Malzeme</b>	<b>Kullanım Yeri</b>	<b>Yapının İşlevi</b>
Tablo 2.52.	Dallas Cowboys Stadyumu ABD, 2009	Çatı	TiO <sub>2</sub> kaplamalı membran	Dış Ortam, Yapı Kabuğu	Stadyum
Tablo 2.53.	Centre Pompidou-Metz Fransa, 2010	Çatı	TiO <sub>2</sub> kaplamalı membran	Dış Ortam, Yapı Kabuğu	Müze
Tablo 2.54.	Brasilia Stadyumu Brezilya, 2013	Çatı	TiO <sub>2</sub> kaplamalı membran	Dış Ortam, Yapı Kabuğu	Stadyum
Tablo 2.55.	Medikal Park Arena Türkiye, 2016	Çatı	TiO <sub>2</sub> kaplamalı membran	Dış Ortam, Yapı Kabuğu	Stadyum
Tablo 2.56.	East Otel Almanya, 2005	Çatı	TiO <sub>2</sub> Kaplamalı Cam+Lamine cam	Dış Ortam, Cephe	Otel
Tablo 2.57.	Italcementi Araştırma İnovasyon Merkezi İtalya, 2012	Çatı	TiO <sub>2</sub> Nanoparçacık Katkılı Beton	Dış Ortam, Cephe/ Yapı Kabuğu	Araştırma Merkezi
Tablo 2.58.	Adams-Sangamon Parkı ABD, 2010	Döşeme	TiO <sub>2</sub> Nanoparçacık katkılı Beton	Dış Ortam	Ulaşım
Tablo 2.59.	Yürüyüş Yolu Japonya, 2010	Döşeme	TiO <sub>2</sub> Nanoparçacık katkılı Beton	Dış Ortam	Ulaşım

### 2.1.1.1.2.3.1. Duvar Yüzeyinde Kullanımı ile İlgili Örnekler

Tablo 2.34. Müzik ve Güzel Sanatlar Merkezi analiz tablosu (Ashby vd., 2009; Andaloro vd., 2016; URL 58 ve 59, 2016)

YAPIYA AİT BİLGİLER																																									
Yapının Adı :	Müzik ve Güzel Sanatlar Merkezi																																								
Yapının Yeri :	Chambéry, Fransa																																								
Yapım Yılı :	2000																																								
Tasarım/Proje :	FYM HeidelbergCement Group																																								
Yapının İşlevi :	Gösteri Merkezi																																								
																																									
		MALZEMEYE AİT BİLGİLER																																							
		Kullanılan Akıllı Malzeme :	TiO <sub>2</sub> nanoparçacık katkılı beton																																						
		Kullanıldığı Yer :	Dış ortam/Cephe																																						
		Uygulandığı Yapı Elemanı :	Duvar																																						
		Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Beton																																						
Kullanım Amacı :	Kendi kendini ve havayı temizleme																																								
Yaklaşık beş yıl boyunca yapılan izlemeler, farklı cephe pozisyonlarında (Batı, Kuzey, Doğu ve Güney) yapının inşasında sahip olunan rengin neredeyse sabit kaldığını göstermiştir.	 <table border="1"> <caption>Luminosity Data (Approximate)</caption> <thead> <tr> <th>Months</th> <th>West</th> <th>North</th> <th>East</th> <th>South</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>74</td> <td>73</td> <td>71</td> <td>72</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>74</td> <td>73</td> <td>71</td> <td>72</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>74</td> <td>73</td> <td>71</td> <td>72</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>74</td> <td>73</td> <td>71</td> <td>72</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>74</td> <td>73</td> <td>71</td> <td>72</td> </tr> <tr> <td>25</td> <td>74</td> <td>73</td> <td>71</td> <td>72</td> </tr> <tr> <td>30</td> <td>74</td> <td>73</td> <td>71</td> <td>72</td> </tr> </tbody> </table>	Months	West	North	East	South	0	74	73	71	72	5	74	73	71	72	10	74	73	71	72	15	74	73	71	72	20	74	73	71	72	25	74	73	71	72	30	74	73	71	72
Months	West	North	East	South																																					
0	74	73	71	72																																					
5	74	73	71	72																																					
10	74	73	71	72																																					
15	74	73	71	72																																					
20	74	73	71	72																																					
25	74	73	71	72																																					
30	74	73	71	72																																					

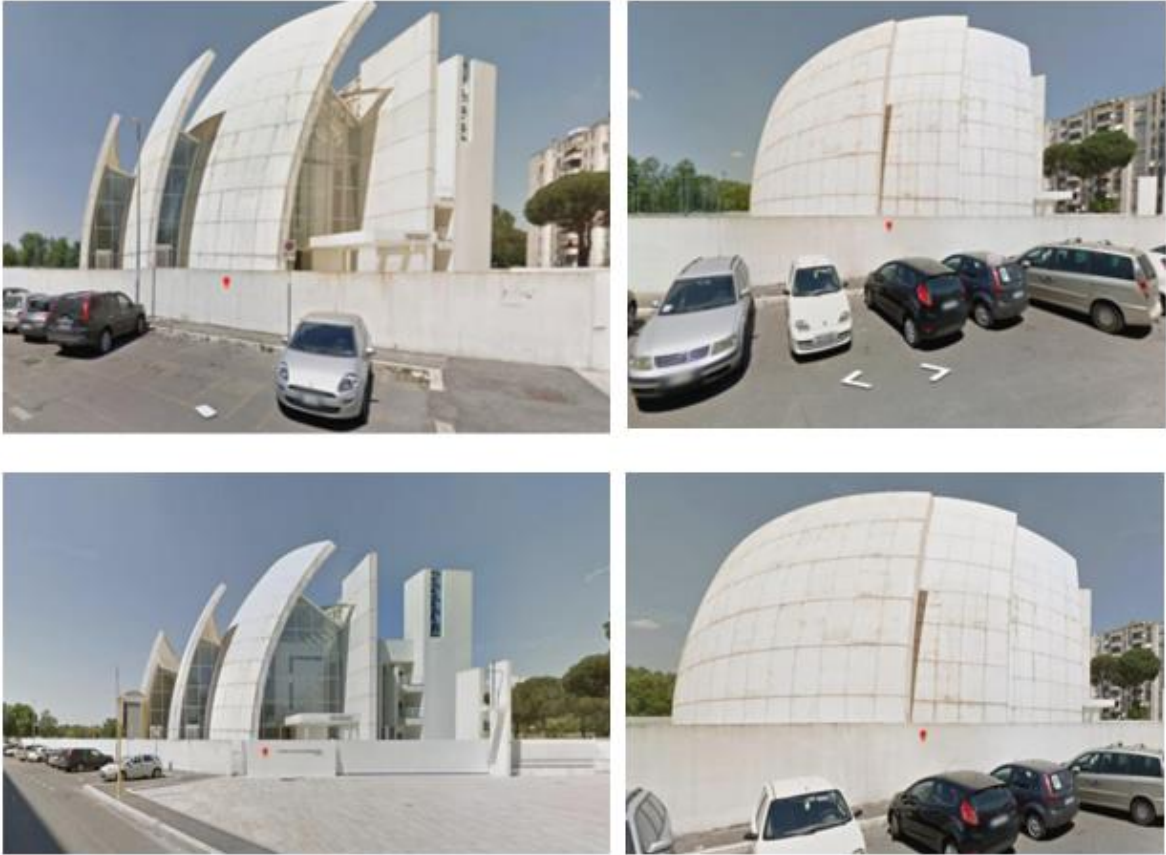
Tablo 2.35. Jübile Kilisesi analiz tablosu (Orhon, 2013; Orhon, 2014; Ashby vd.,2009; Profir, 2019)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>			
Yapının Adı :	Jübile Kilisesi		
Yapının Yeri :	Roma, İtalya		
Yapım Yılı :	1996-2003		
Tasarım/Proje :	Richard Meier		
Yapının İşlevi :	Dini Yapı/Kilise		
			
		<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>	
		Kullanılan Akıllı Malzeme :	TiO <sub>2</sub> nanoparçacık katkılı beton
		Kullanıldığı Yer :	Dış ortam/Cephe/Yapı kabuğu
		Uygulandığı Yapı Elemanı :	Duvar
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Beton		
Kullanım Amacı :	Kendi kendini ve havayı temizleme		
<p>830 m<sup>2</sup> alana sahip kilisede yapının beyaz cephelerinde kırılmış beyaz Carrera mermerinin agrega olarak kullanıldığı fotokatalitik çimentolu betonla yapılmış 346 adet prefabrike beton blok kullanılmıştır.</p> <p>TiO<sub>2</sub> pigment katkılı fotokatalitik çimentolu betonun ilk uygulaması Jübile Kilisesi'dir. Bu betonlar duman gazlarındaki kirletici azot oksidi güneş ışığıyla nitratlara parçalayarak etkisiz hale getirmeleri nedeniyle 'kirlilik yiyici beton' olarak anılmaktadır.</p>			
			



Şekil 2.38. Jübile Kilisesi konumu (URL-54, 2019).



Kilise konumuna bakıldığında yakın çevrede yapı bulunmamaktadır. Çevredeki yapılarla kilise arasında yeşil bir alan bırakılmış olup  $TiO_2$  pigment katkılı betonun güneş ışığı ile aktive olması sağlanmıştır.



Şekil 2.39. Jübile Kilisesi Mayıs 2017 fotoğrafları (URL-54, 2019).

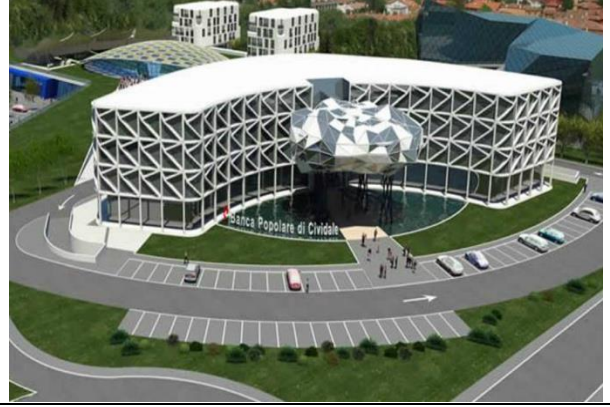


Tablo 2.36. Air France Yönetim Binası analiz tablosu (Yılmaz, 2014; Ashby vd. 2009)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>	
Yapının Adı :	Air France Yönetim Binası
Yapının Yeri :	Paris, Fransa
Yapım Yılı :	2006
Tasarım/Proje :	Denis Vallode & Jean Pistre
Yapının İşlevi :	Ofis Binası
	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>	
Kullanılan Akıllı Malzeme :	TiO <sub>2</sub> nanoparçacık katkılı beton
Kullanıldığı Yer :	Dış ortam/Cephe
Uygulandığı Yapı Elemanı :	Duvar
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Beton
Kullanım Amacı :	Kendi kendini ve havayı temizleme
<p>Charles de Gaulle Uluslararası Havalimanı içerisinde yer alan Air France Yönetim Binası, bünyesine doğrudan fotokatalitik etkili TiO<sub>2</sub> nanoparçacıklar katılarak üretilen beton malzeme kullanılarak inşa edilmiştir. Bu yolla yapı sahip olduğu beyaz rengi uzun süre koruyabilmekte ve temiz kalmaktadır.</p>	
	

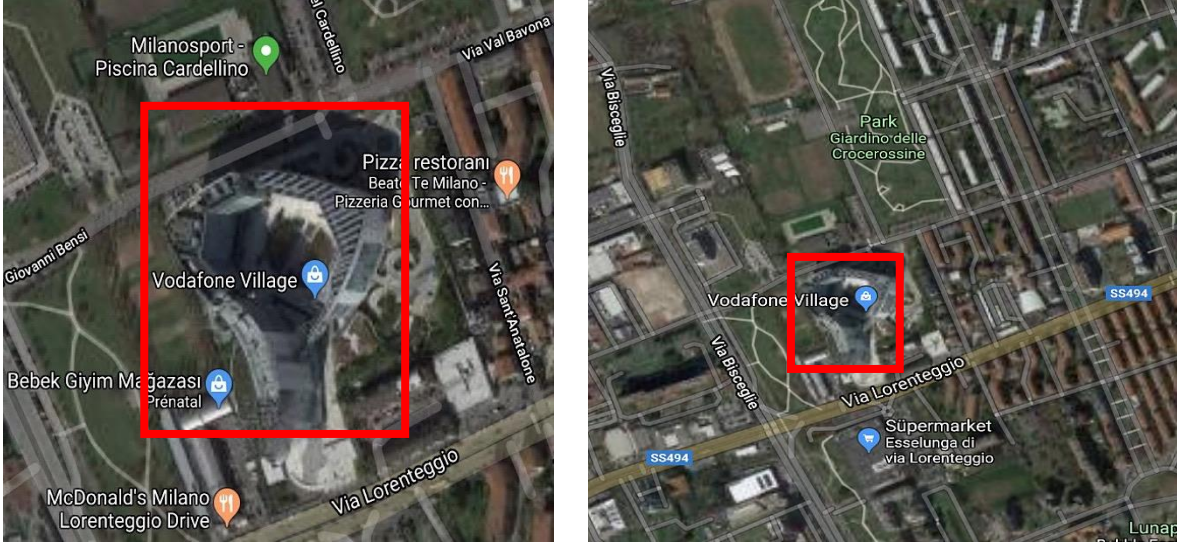
Tablo 2.37. Bank HQ analiz tablosu (URL 61 ve 62, 2017)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>	
Yapının Adı :	Bank HQ
Yapının Yeri :	Udine, İtalya
Yapım Yılı :	2009
Tasarım/Proje :	Morena Architects
Yapının İşlevi :	Banka
<b>KULLANILAN AKILLI MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>	
Kullanılan Akıllı Malzeme :	TiO <sub>2</sub> nanoparçacık katkılı beton
Kullanıldığı Yer :	Dış ortam/Cephe
Uygulandığı Yapı Elemanı :	Duvar
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Beton
Kullanım Amacı :	Kendi kendini ve havayı temizleme
9.250 m <sup>2</sup> taban alanına sahip yapı cephesinde beyaz prekast beton kullanılmıştır.	



Tablo 2.38. Vodafone Village analiz tablosu (Mathew vd., 2015; URL 61 ve 64, 2017; URL-63,2016; URL-54, 2019)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>	
Yapının Adı :	Vodafone Village
Yapının Yeri :	Milano, İtalya
Yapım Yılı :	2012
Tasarım/Proje :	Rolando Gantès and Roberto Morisi
Yapının İşlevi :	Ofis Binası
	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>	
Kullanılan Akıllı Malzeme :	TiO <sub>2</sub> nanoparçacık katkılı beton
Kullanıldığı Yer :	Dış ortam/Cephe
Uygulandığı Yapı Elemanı :	Duvar
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Beton
Kullanım Amacı :	Kendi kendini ve havayı temizleme
<p>Kompleks 14,11 ve 9 kattan oluşan üç bina ile geçitler ve köprüler ile bağlantılı, restoran-bar, eğitim salonu ve konferans salonu gibi kamusal alanlar için tasarlanmıştır. Taban alanı 35.000 m<sup>2</sup>, toplam kat alanı 80.000 m<sup>2</sup> ve 300.000 m<sup>3</sup> hacminde olan 3.000 kişinin çalıştığı projede 27.000 m<sup>2</sup> saydam alana sahip yapıda 15.000 m<sup>2</sup>'lik alanda TiO<sub>2</sub> pigment katkılı fotokatalitik beton kullanılmıştır.</p>	
	



Şekil 2.40. Vodafone Village konumu (URL-54, 2019).

Vodafone Village binası kütle olarak geniş bir alan kaplamakta olup yapı cephelerinde kullanılmış olan  $TiO_2$  pigment katkılı betonun güneş ışığı ile aktive olması sağlanmıştır.





Şekil 2.41. Vodafone Village Mayıs 2016 fotoğrafları (URL-54, 2019).






Şekil 2.42. Vodafone Village Ekim 2017 fotoğrafları (URL-54, 2019).




Tablo 2.39. Expo 2015 İtalyan Pavilion analiz tablosu (Willmott, 2016; URL-60, 2016)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>	
Yapının Adı :	Expo 2015 İtalyan Pavilion
Yapının Yeri :	Milano, İtalya
Yapım Yılı :	2015
Tasarım/Proje :	Nemesi & Partners
Yapının İşlevi :	Sergi Salonu/Pavilion
	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>	
Kullanılan Akıllı Malzeme :	TiO <sub>2</sub> nanoparçacık katkılı beton
Kullanıldığı Yer :	Dış ortam/Cephe
Uygulandığı Yapı Elemanı :	Duvar
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Beton
Kullanım Amacı :	Kendi kendini ve havayı temizleme
<p>Nemesi &amp; Partners tarafından tasarlanan Expo 2015 İtalya Pavilionunda konsept olarak 'kent ormanı' kavramı kullanılmıştır. Yapı taşlaşmış bir ormana benzetilmek istenmiştir. Cephede kullanılan TiO<sub>2</sub> kaplamalı fotokatalitik beton ile Mexico City'deki Manuel Gea Gonzalez Hastanesi gibi güneş ışığı ile nitrit ve azot oksitlerin parçalanıp havanın temizlenmesi hedeflenmiştir. Yapı 35 m yüksekliğindedir ve fotokatalitik beton kullanılan yapıda sergi alanları, etkinlik alanları, ofisler, restoran alanları ve teraslar bulunmaktadır.</p>	
	

Tablo 2.40. MSV Arena Stadyumu analiz tablosu (Leydecker, 2008; Gür, 2010)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>		
Yapının Adı :	MSV Arena Stadyumu	
Yapının Yeri :	Daisburg, Almanya	
Yapım Yılı :	2004	
Tasarım/Proje :	Arte Plan, Burkhard Grimm, Micheal Stehle	
Yapının İşlevi :	Stadyum	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>		
Kullanılan Akıllı Malzeme :	6 mm TiO <sub>2</sub> kaplamalı cam + güneş kontrol cam	
Kullanıldığı Yer :	Dış ortam/Cephe	
Uygulandığı Yapı Elemanı :	Duvar	
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Cam	
Kullanım Amacı :	Kendi kendini ve havayı temizleme	
<p>İnşaatında 15000 m<sup>3</sup>'ten fazla betonun, 3500 ton çelik desteğinin, yaklaşık 30 çelik pilonun, 7500 m<sup>2</sup> çimin kullanıldığı stadyumda, cam ve alüminyumdan oluşan ön cephe için 1500 m<sup>2</sup> cam kullanılmıştır.</p>		

Tablo 2.41. Helen De Vos Çocuk Hastanesi analiz tablosu (Yılmaz, 2014; URL-65, 2016)


<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>		
Yapının Adı :	Helen De Vos Çocuk Hastanesi	
Yapının Yeri :	Michigan, ABD	
Yapım Yılı :	2004	
Tasarım/Proje :	Jonathan Bailey Associates, GMB Architects-Engineers	
Yapının İşlevi :	Hastane	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>		
Kullanılan Akıllı Malzeme :	6 mm TiO <sub>2</sub> kaplamalı cam + güneş kontrol cam	
Kullanıldığı Yer :	Dış ortam/Cephe	
Uygulandığı Yapı Elemanı :	Duvar	
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Cam	
Kullanım Amacı :	Kendi kendini ve havayı temizleme	
<p>Michigan'da bulunan bir milyondan fazla çocuğa hizmet eden bir geminin pruvası (bir deniz taşıtının gövdesinin ön kısmı) şeklinde inşa edilen yapının, yaklaşık 9.000 m<sup>2</sup> olan dış cepheleri tamamıyla fotokatalitik etkili cam malzemeden oluşturulmuştur.</p>		

Tablo 2.42. AKT-am Kaiser's Turm analiz tablosu (Leydecker, 2008)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>	
Yapının Adı :	AKT-am Kaiser's Turm
Yapının Yeri :	Heilbronn, Almanya
Yapım Yılı :	1898/2006
Tasarım/Proje :	Müller Architekten, Matthias Müller
Yapının İşlevi :	Anıt/Restoran
	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>	
Kullanılan Akıllı Malzeme :	12 mm kalınlıkta TiO <sub>2</sub> kaplamalı cam + lamine cam
Kullanıldığı Yer :	Dış ortam/Cephe
Uygulandığı Yapı Elemanı :	Duvar
Ugulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Cam
Kullanım Amacı :	Kendi kendini ve havayı temizleme
<p>1898 yılında yapılmış olan ve Neckar Nehrine bakan anıt yenilenmiş ve orijinal alanının üç katına kadar genişletilmiştir.30 m yüksekliğinde ve Heilbronn'un sanayi bölgesindeki simgesel bir yapıdır. Bauhaus'tan esinlenilmiş anıta ilave olarak üst kısmına bir bar ve salon içeren cam küp konulmuştur. Tamamen camlı pencerelerden oluşmaktadır. Proje, nanoteknoloji temelli ileri teknolojili yüzeylerin tarihi anıtlar için yararlı olabileceğini göstermektedir.</p>	
	



Tablo 2.43. Kurakuen Evi analiz tablosu (Ashby vd., 2009; URL-66, 2016)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>	
Yapının Adı :	Kurakuen Evi
Yapının Yeri :	Nishinomya City, Japonya
Yapım Yılı :	2005
Tasarım/Proje :	Akira Sakamoto Architect and Associates
Yapının İşlevi :	Konut
	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>	
Kullanılan Akıllı Malzeme :	TiO <sub>2</sub> nanoparçacık katkılı boya
Kullanıldığı Yer :	Dış ortam/Cephe
Uygulandığı Yapı Elemanı :	Duvar
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Beton
Kullanım Amacı :	Kendi kendini ve havayı temizleme
Cephede fotokatalitik boya kullanılması yapının cephe temizliğine katkıda bulunmuştur.	

Tablo 2.44. Lesu Kilisesi analiz tablosu (Webb, 2017; URL-63, 2016; URL-54, 2019)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>	
Yapının Adı :	Lesu Kilisesi
Yapının Yeri :	San Sebastian, İspanya
Yapım Yılı :	2011
Tasarım/Proje:	Rafael Moneo
Yapının İşlevi :	Dini Yapı/Kilise
	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>	
Kullanılan Akıllı Malzeme :	TiO <sub>2</sub> pigment katkılı sıva
Kullanıldığı Yer :	Dış ortam/Cephe
Uygulandığı Yapı Elemanı :	Duvar
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Beton
Kullanım Amacı :	Kendi kendini ve havayı temizleme
Yapıda 10.500 m <sup>2</sup> alanda iç ve dış duvarlarda fotokatalitik sıva kullanılmıştır.	





Şekil 2.43. Lesu Kilisesi konumu (URL-54, 2019).

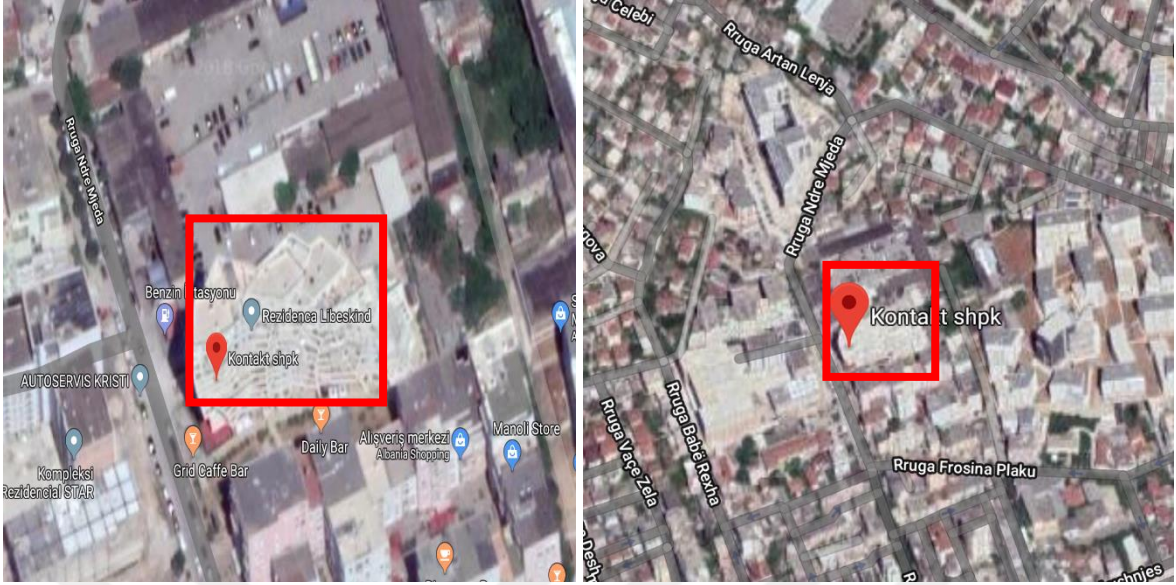
Kilise konumuna bakıldığında yapı çevresinde yakın alanda yapı bulunmamaktadır.  $TiO_2$  pigment katkılı sıvanın güneş ışığı aktive olması sağlanmıştır.



Şekil 2.44. Lesu Kilisesi Mayıs 2017 fotoğrafları (URL-54, 2019).

Tablo 2.45. Magnet Yerleşim Merkezi analiz tablosu (Mathew vd., 2015; URL 67 ve 68, 2017; URL-54, 2019)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>	
Yapının Adı :	Magnet Yerleşim Merkezi
Yapının Yeri :	Tirana, Arnavutluk
Yapım Yılı :	2014
Tasarım/Proje :	Daniel Libeskind
Yapının İşlevi :	Konut
	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>	
Kullanılan Akıllı Malzeme :	TiO <sub>2</sub> nanoparçacık katkılı sıva
Kullanıldığı Yer :	Dış ortam/Cephe
Uygulandığı Yapı Elemanı :	Duvar
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Beton
Kullanım Amacı :	Kendi kendini ve havayı temizleme
<p>40.000 m<sup>2</sup> taban alanına sahip olup 50 m<sup>2</sup> ve 200 m<sup>2</sup> arasında toplam 800 daireden oluşmaktadır. Her bir katta teras bulunmaktadır. 10.000 m<sup>2</sup>'lik alanda fotokatalitik sıva kullanılmıştır.</p>	
	



Şekil 2.45. Magnet Yaşam Merkezi konumu (URL-54, 2019).

Magnet Yaşam Merkezi yapı yoğunluğunun fazla olduğu bir alanda konumlanmıştır. Bina kütesel (toplam alan ve yükseklik) olarak çevresindeki yapılara oranla yüksek ölçekte olup  $TiO_2$  pigment katkılı sıvanın güneş ışığı ile aktive olması sağlanmıştır.



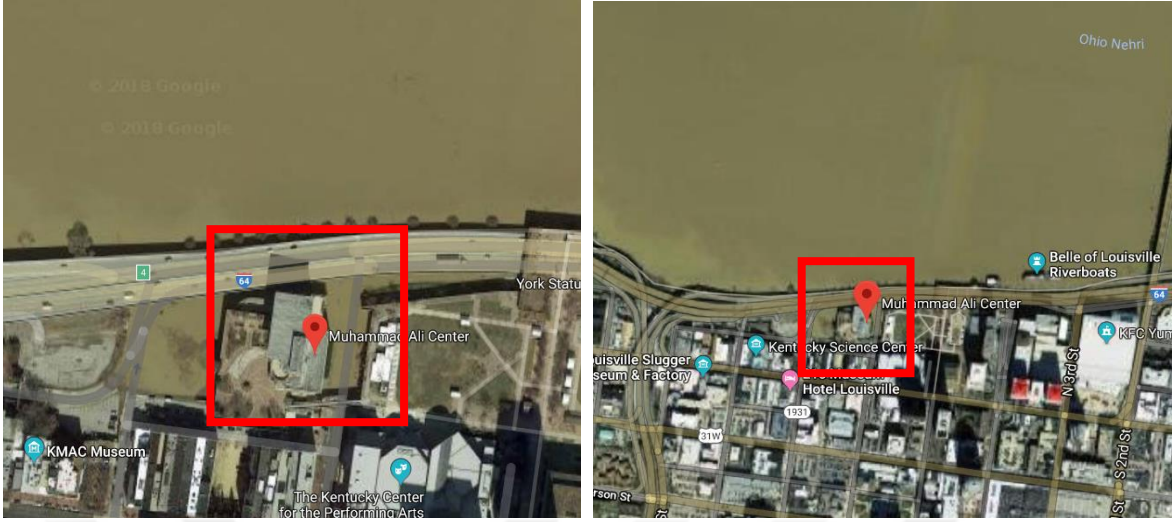
Şekil 2.46. Magnet Yaşam Merkezi Mayıs 2016 fotoğrafları (URL-54, 2019)



Şekil 2.47. Magnet Yaşam Merkezi Eylül 2016 fotoğrafı (URL-54, 2019).

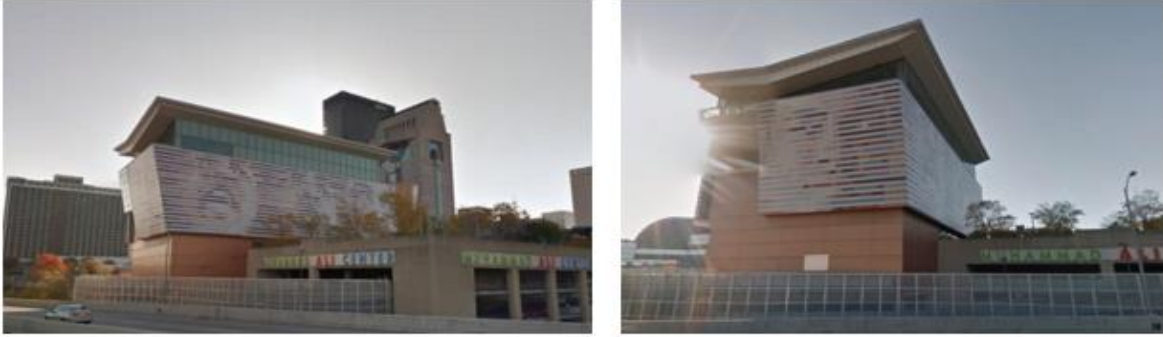
Tablo 2.46. Muhammad Ali Center MAC Louisville analiz tablosu (Leydecker, 2008; Fahmy,2010; URL-54, 2019)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>		
Yapının Adı :	Muhammad Ali Center MAC Louisville	
Yapının Yeri :	Kentucky, ABD	
Yapım Yılı :	2005	
Tasarım/Proje :	Beyer Blinder Belle Architects & Planners LLP, Lee H. Skolnick Architecture + Design Partnership	
Yapının İşlevi :	Müze	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>		
Kullanılan Akıllı Malzeme :	TiO <sub>2</sub> nanoparçacık katkı seramik	
Kullanıldığı Yer :	Dış ortam/Cephe	
Uygulandığı Yapı Elemanı :	Duvar	
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Çelik	
Kullanım Amacı :	Kendi kendini ve havayı temizleme	
9000 m <sup>2</sup> alana sahip yapıda 1500 m <sup>2</sup> cephe mevcuttur. Cepheye 30×60 cm ebatlarında gridlere ayrılmış ve yaklaşık 10000 adet fotokatalitik özellikli farklı renklerde seramik kullanılarak ünlü boksör Muhammed Ali'nin fotografik görüntüsü elde edilmiştir.		



Şekil 2.48. Muhammad Ali Center konumu (URL-54, 2019).

Muhammad Ali Center yapısının yakın çevresinde yerleşim bulunmamaktadır.  $TiO_2$  pigment katkılı seramiklerin güneş ile aktive olması sağlanmıştır.



Şekil 2.49. Muhammad Ali Center Kasım 2016 fotoğrafları (URL-54, 2019).



Şekil 2.50. Muhammad Ali Center Eylül 2017 fotoğrafları (URL-54, 2019).

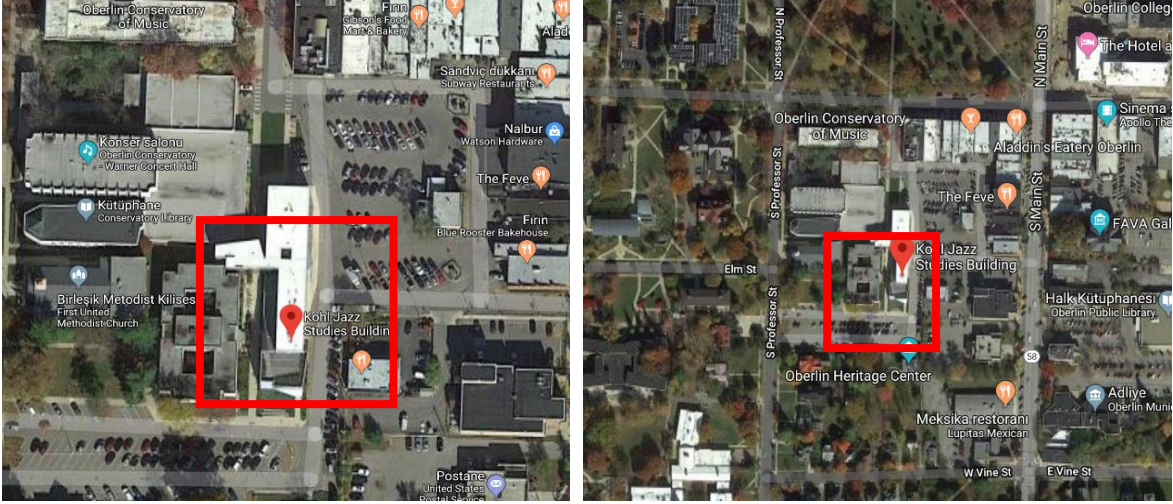
Tablo 2.47. Monte Verde Kulesi analiz tablosu (Ritter, 2007; Orhon, 2014)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>	
Yapının Adı :	Monte Verde Kulesi
Yapının Yeri :	Viyana, Avusturya
Yapım Yılı :	2010
Tasarım/Proje :	Albert Wimmer, AN_architects
Yapının İşlevi :	Konut
	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>	
Kullanılan Akıllı Malzeme :	TiO <sub>2</sub> nanoparçacık katkılı seramik
Kullanıldığı Yer :	Dış ortam/Cephe
Uygulandığı Yapı Elemanı :	Duvar
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Metal
Kullanım Amacı :	Kendi kendini ve havayı temizleme
182 dairesi bulunan binada dar olan kuzey ve güney cepheleri geleneksel malzeme içerirken batı ve doğu cepheleri kendi kendini temizleyen bir fotokatalitik cephe sistemine sahiptir. 15.480 m <sup>2</sup> alana sahip yapıda 6800 m <sup>2</sup> 'de mavi-yeşil renkli fotokatalitik seramik kullanılmıştır. Güneşi daha fazla alan yüzeylerde fotokatalitik malzeme kullanılarak malzemenin çalışma oranı yükseltilmiştir.	
	



Tablo 2.48. Bertram ve Judith Kohl Binası analiz tablosu (Orhon, 2014; URL-54, 2019)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>		
Yapının Adı :	Bertram ve Judith Kohl Binası	
Yapının Yeri :	Ohio, ABD	
Yapım Yılı :	2010	
Tasarım/Proje :	Westlake Reed Leskosky	
Yapının İşlevi :	Okul	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>		
Kullanılan Akıllı Malzeme :	TiO <sub>2</sub> nanoparçacık katkılı alüminyum panel	
Kullanıldığı Yer :	Dış ortam/Cephe	
Uygulandığı Yapı Elemanı :	Duvar	
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Metal	
Kullanım Amacı :	Kendi kendini ve havayı temizleme	
<p>37.000 m<sup>2</sup> alanlı projede cephe için 25.000 m<sup>2</sup> alüminyum imal edilmiştir. Yapı LEED Gold sertifikaya sahiptir.</p>		



Şekil 2.51. Bertram ve Judith Kohl Binası konumu (URL-54, 2019).

Bertram ve Judith Kohl Binası yakın çevresinde boş alan otopark olarak kullanılmış,  $TiO_2$  pigment katkılı alüminyumun güneş ile aktive olması sağlanmıştır.



Şekil 2.52. Bertram ve Judith Kohl Binası Temmuz 2016 fotoğrafları (URL-54, 2019).

Tablo 2.49. Manuel Gea Gonzalez Hastanesi analiz tablosu (Willmott, 2016; Salla, 2019; URL-69, 2016)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>	
Yapının Adı :	Manuel Gea Gonzalez Hastanesi
Yapının Yeri :	Meksiko, Meksika
Yapım Yılı :	2010
Tasarım/Proje :	Elegant Embellishments Ltd.
Yapının İşlevi :	Hastane
	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>	
Kullanılan Akıllı Malzeme :	TiO <sub>2</sub> nanoparçacık katkılı plastik panel
Kullanıldığı Yer :	Dış ortam/Cephe
Uygulandığı Yapı Elemanı :	Duvar
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Metal
	
Kullanım Amacı :	Kendi kendini ve havayı temizleme
Manuel Gea Gonzalez Hastanesi 1992'de dünyadaki havası en kirli kent olarak ilan edilen Meksiko-City'de inşa edilmiştir. Güneşin UV ışınları dumanlı/kirli havadan geçerek 2500 m <sup>2</sup> 'lik cephedeki kaplamanın üstündeki titanyum dioksit'e ulaştığında fotokatalitik reaksiyon gerçekleşmektedir. Cephe, 2500 m <sup>2</sup> 'lik alanıyla günde 1000 aracın neden olduğu hava kirliliğini temizleyebilmektedir.	

### 2.1.1.1.1.2.3.2. Çatı Yüzeyinde Kullanımı ile İlgili Örnekler

Tablo 2.50. Narita Uluslararası Havalimanı 1.Terminal analiz tablosu (Ashby vd., 2009; Harmens, 2016)



YAPIYA AİT BİLGİLER		
Yapının Adı :	Narita Uluslararası Havalimanı 1.Terminal	
Yapının Yeri :	Chiba, Japonya	
Yapım Yılı :	2006	
Tasarım/Proje :	Nikken Sekkei Ltd.	
Yapının İşlevi :	Havalimanı	
MALZEMEYE AİT BİLGİLER		
Kullanılan Akıllı Malzeme :	TiO <sub>2</sub> kaplamalı membran	
Kullanıldığı Yer :	Dış ortam/Cephe/Yapı kabuğu	
Uygulandığı Yapı Elemanı :	Çatı	
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Metal	
Kullanım Amacı :	Kendi kendini ve havayı temizleme	
6.250 m <sup>2</sup> alana sahip yapıda çatı yüzeyinde fotokatalitik özellikli membran kullanılmıştır.		

Tablo 2.51. YAS Marina Pisti analiz tablosu (Orhon, 2014)


<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>	
Yapının Adı :	YAS Marina Pisti
Yapının Yeri :	Abu Dabi, Birleşik Arap Emirlikleri
Yapım Yılı :	2009
Tasarım/Proje :	Hermann Tilke
Yapının İşlevi :	Yarış Pisti
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>	
Kullanılan Akıllı Malzeme :	TiO <sub>2</sub> kaplamalı membran
Kullanıldığı Yer :	Dış ortam/Cephe/Yapı kabuğu
Uygulandığı Yapı Elemanı :	Çatı
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Metal
Kullanım Amacı :	Kendi kendini ve havayı temizleme
F1 yarışları için yapılan YAS Marina Pisti yapısında tribünleri örtmek üzere kullanılan fotokatalitik membran yapı cephesini de örtecek biçimde düzenlenmiştir.	



Tablo 2.52. Dallas Cowboys Stadyumu analiz tablosu (URL 72,73 ve 74, 2017)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>	
Yapının Adı :	Dallas Cowboys Stadyumu
Yapının Yeri :	Teksas, ABD
Yapım Yılı :	2009
Tasarım/Proje :	HKS, Inc., Project Lead, Mark Williams
Yapının İşlevi :	Stadyum
	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>	
Kullanılan Akıllı Malzeme :	TiO <sub>2</sub> kaplamalı membran
Kullanıldığı Yer :	Dış ortam/Cephe/Yapı kabuğu
Uygulandığı Yapı Elemanı :	Çatı
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Metal
Kullanım Amacı :	Kendi kendini ve havayı temizleme
<p>Dünyanın en uzun tek kanat çatısına sahip yapı Kuzey Amerika'nın ilk kendi kendini temizleyen çatıya sahip stadyumu olma özelliğine sahiptir.</p>	
	

Tablo 2.53. Centre Pompidou-Metz analiz tablosu (Orhon, 2012; Vulov, 2019; URL-54, 2019)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>		
Yapının Adı :	Centre Pompidou-Metz	
Yapının Yeri :	Metz,Fransa	
Yapım Yılı :	2010	
Tasarım/Proje :	Shigeru Ban & Jean de Gastines	
Yapının İşlevi :	Müze	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>		
Kullanılan Akıllı Malzeme :	TiO <sub>2</sub> kaplamalı membran	
Kullanıldığı Yer :	Dış ortam/Cephe/Yapı kabuğu	
Uygulandığı Yapı Elemanı :	Çatı	
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Ahşap	
Kullanım Amacı :	Kendi kendini ve havayı temizleme	
<p>Avrupa’da fotokatalitik membranın uygulandığı ilk projedir. Yapının yüksekliği 77 m olup 5000 m<sup>2</sup>’lik alana yayılmıştır.</p>		

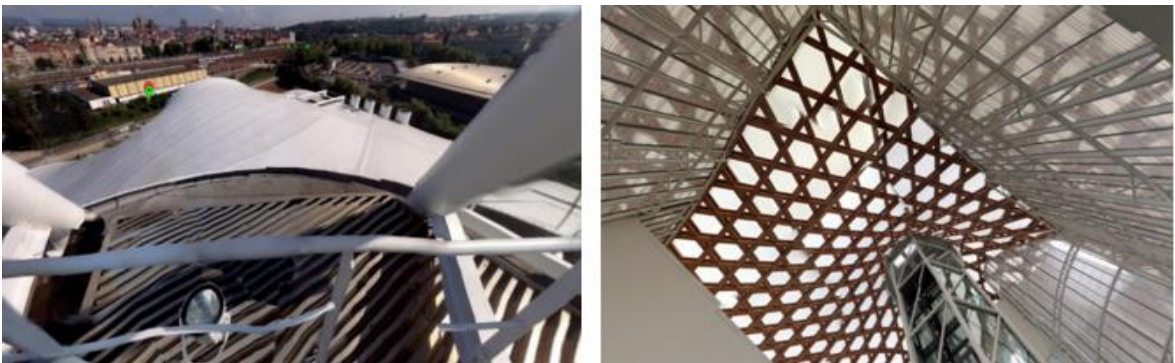


Şekil 2.53. Centre Pompidou-Metz konumu (URL-54, 2019).

Centre Pompidou-Metz yakın çevresinde yapı bulunmamakta ve  $\text{TiO}_2$  pigment katkıli membranin güneş ile aktive olması sağlanmıştır.



Şekil 2.54. Centre Pompidou-Metz Haziran 2012 fotoğrafları (URL-54, 2019).



Şekil 2.55. Centre Pompidou-Metz Haziran 2015 fotoğrafları (URL-54, 2019).



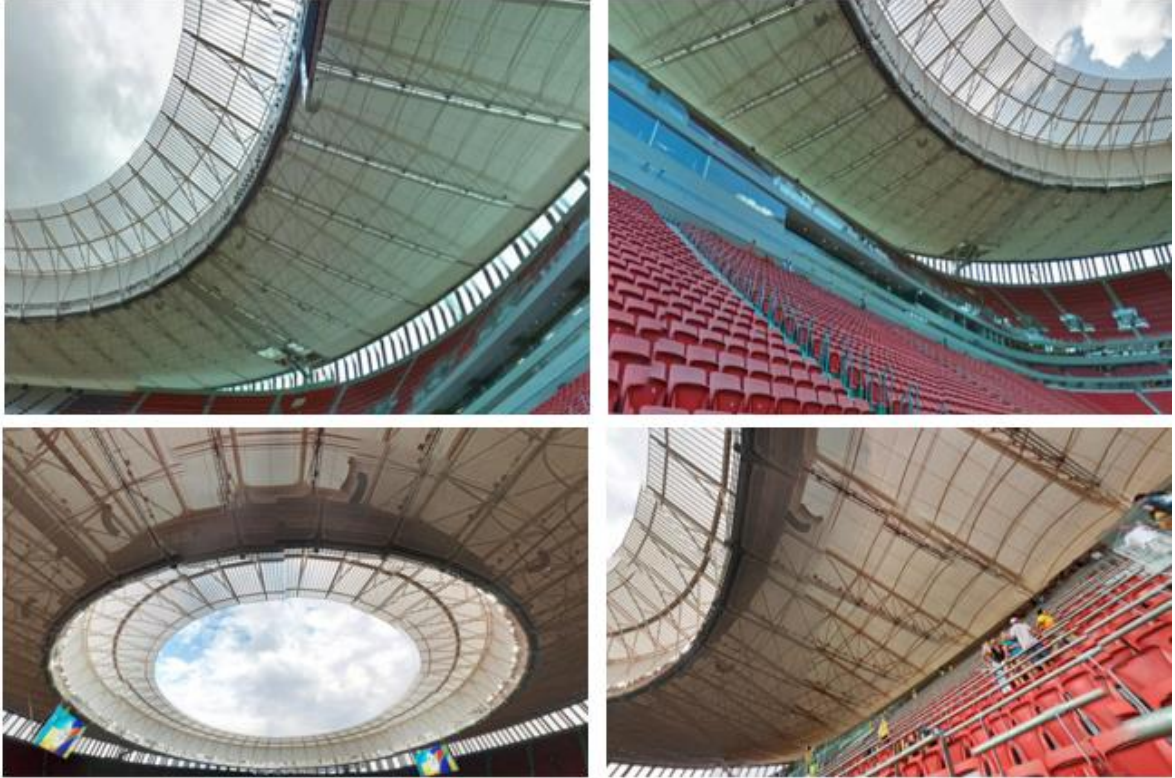
Tablo 2.54. Brasilia Stadyumu analiz tablosu (Orhon ve Altın, 2015; Arslan ve Gürer, 2015; URL-54, 2019)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>			
Yapının Adı :	Brasilia Stadyumu		
Yapının Yeri :	Brasilia, Brezilya		
Yapım Yılı :	2013		
Tasarım/Proje :	Castro Mello		
Yapının İşlevi :	Stadyum		
			
		<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>	
		Kullanılan Akıllı Malzeme :	TiO <sub>2</sub> kaplamalı membran
		Kullanıldığı Yer :	Dış ortam/Çatı
		Uygulandığı Yapı Elemanı :	Çatı
		Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Metal
Kullanım Amacı :	Kendi kendini ve havayı temizleme		
<p>1974 yılında inşa edilmiş eski stadyumdan çıkan malzemeler geri dönüştürülerek 2013 yılında yeniden yapımı tamamlanmış yapı alanı 224.000 m<sup>2</sup> ve membran çatı alanının 48.507 m<sup>2</sup> olan 70.042 koltuk kapasiteli Brasilia Stadyumu dünyanın LEED Platinum sertifikasına aday ilk stadyumdur.</p>			
			



Şekil 2.56. Brasilia Stadyumu konumu (URL-54, 2019).

Brasilia Stadyumu yakın çevresinde yapı bulunmamakta ve  $TiO_2$  pigment katkı membranın güneş ile aktive olması sağlanmıştır.



Şekil 2.57. Brasilia Stadyumu Mayıs 2013 fotoğrafları (URL-54, 2019).

Tablo 2.55. Medikal Park Arena analiz tablosu (URL 70 ve 71, 2018; URL-54, 2019)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>	
Yapının Adı :	Medikal Park Arena
Yapının Yeri :	Trabzon, Türkiye
Yapım Yılı :	2016
Tasarım/Proje :	Mete Arat
Yapının İşlevi :	Stadyum
	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>	
Kullanılan Akıllı Malzeme :	TiO <sub>2</sub> kaplamalı membran
Kullanıldığı Yer :	Dış ortam/Cephe
Uygulandığı Yapı Elemanı :	Çatı
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Metal
Kullanım Amacı :	Kendi kendini ve havayı temizleme
2013 yılında temeli atılan stadyum 105x68 m boyutlarında ve 41.461 koltuk kapasitelidir.	





Şekil 2.58. Medikal Park Arena konumu (URL-54, 2019).

Stadyum yakın çevresinde yerleşim gözlenmemiş olup,  $TiO_2$  pigment katkı membranının güneş ile aktive olması sağlanmıştır.






Şekil 2.59. Medikal Park Arena Mayıs 2018 fotoğrafları (URL-54, 2019).

Tablo 2.56. East Otel analiz tablosu (Leydecker, 2008; URL 75 ve 76, 2018)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>	
Yapının Adı :	East Otel
Yapının Yeri :	Hamburg, Almanya
Yapım Yılı :	2005
Tasarım/Proje :	Jordan Mozer & Associates Ltd.
Yapının İşlevi :	Otel
	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>	
Kullanılan Akıllı Malzeme :	TiO <sub>2</sub> kaplamalı cam+lamine cam
Kullanıldığı Yer :	Dış ortam/Cephe
Uygulandığı Yapı Elemanı :	Çatı
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Cam
Kullanım Amacı :	Kendi kendini ve havayı temizleme
126 odalı 16.000 m <sup>2</sup> alana sahip yapıda 8.8-12.8 mm arası ölçülere sahip fotokatalitik cam kullanılmıştır.	

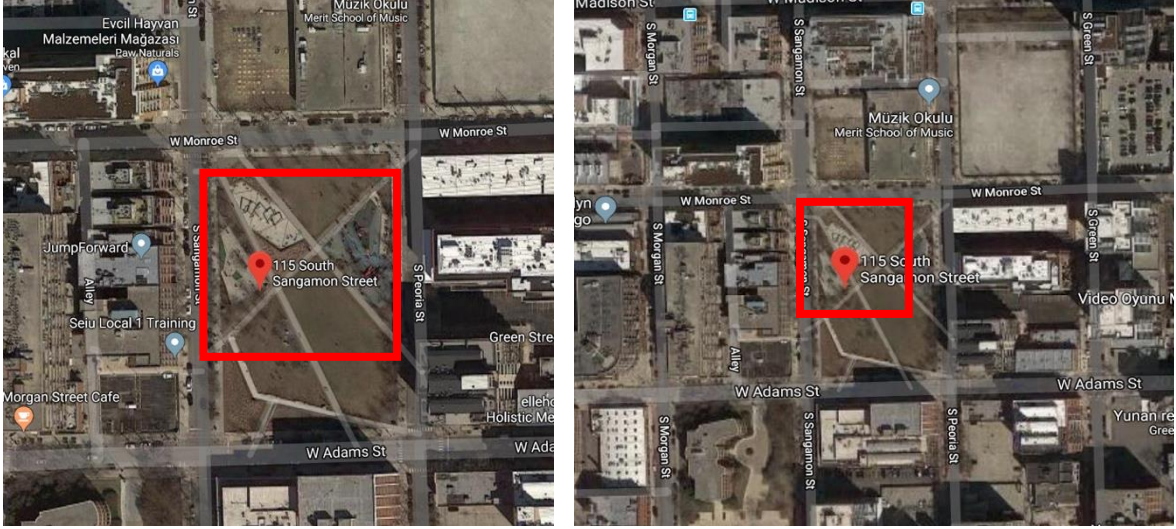
Tablo 2.57. Italcementi Araştırma İnovasyon Merkezi analiz tablosu (Mathew vd. 2015; URL-63, 2016; URL-77, 2019)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>		
Yapının Adı :	Italcementi Araştırma İnovasyon Merkezi	
Yapının Yeri :	Bergamo, İtalya	
Yapım Yılı :	2012	
Tasarım/Proje :	Richard Meier	
Yapının İşlevi :	Araştırma Merkezi	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>		
Kullanılan Akıllı Malzeme :	TiO <sub>2</sub> nanoparçacık katkılı beton	
Kullanıldığı Yer :	Dış ortam/Cephe/Yapı kabuğu	
Uygulandığı Yapı Elemanı :	Çatı	
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Beton	
Kullanım Amacı :	Kendi kendini ve havayı temizleme	
<p>Araştırma laboratuvarları, ofisler, toplantı odası ve konferans salonundan oluşan yapının toplam alanı 23.000 m<sup>2</sup> olup yapıda 1200 m<sup>3</sup> fotokatalitik beton kullanılmıştır.</p>		

### 2.1.1.1.2.3.3. Döşeme Yüzeyinde Kullanımı ile İlgili Örnekler

Tablo 2.58. Adams-Sangamon Parkı analiz tablosu (Orhon, 2013; URL-78, 2017; URL-54, 2019)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>	
Yapının Adı :	Adams-Sangamon Parkı
Yapının Yeri :	Chicago, ABD
Yapım Yılı :	2010
Tasarım/Proje :	Essroc
Yapının İşlevi :	Ulaşım
	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>	
Kullanılan Akıllı Malzeme :	TiO <sub>2</sub> nanoparçacık katkılı beton
Kullanıldığı Yer :	Dış ortam
Uygulandığı Yapı Elemanı :	Döşeme
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Beton
Kullanım Amacı :	Kendi kendini ve havayı temizleme
<p>Fotokatalitik betonlar duman gazlarındaki kirletici azot oksidi güneş ışığıyla nitratlara parçalayarak etkisiz hale getirmeleri nedeniyle “kirlilik yiyici beton” olarak da anılmaktadır. Kaldırım ve park düzenlemelerinde kullanılan beton yüzeylerin genişliği ve kirletici kaynaklara (araç vb.) yakınlığı nedeniyle, hava kirliliğini azaltmaktadır.</p>	
	



Şekil 2.60. Adams-Sangamon Parkı konumu (URL-54, 2019).

Adams-Sangamon Parkı yakın çevresinde yapı bulunmamakta ve  $TiO_2$  pigment katkılı beton güneş olarak aktive olması sağlanmıştır.



Şekil 2.61. Adams-Sangamon Parkı Ağustos 2013 fotoğrafları (URL-54, 2019).



Şekil 2.62. Adams-Sangamon Parkı Haziran 2017 fotoğrafları (URL-54, 2019).



Tablo 2.59. Yürüyüş yolu analiz tablosu (Spasiano vd., 2015; URL 79 ve 80, 2017)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>	
Yapının Adı :	Yürüyüş Yolu
Yapının Yeri :	Chigazaki City, Japonya
Yapım Yılı :	2010
Tasarım/Proje :	The Mitsubishi Materials Corporation
Yapının İşlevi :	Ulaşım
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>	
Kullanılan Akıllı Malzeme :	TiO <sub>2</sub> nanoparçacık katkılı beton
Kullanıldığı Yer :	Dış ortam
Uygulandığı Yapı Elemanı :	Döşeme
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Beton
Kullanım Amacı :	Kendi kendini ve havayı temizleme
Mitsubishi Materials Corp. tarafından geliştirilen parke taşı Osaka, Chiba, Chigasaki ve Saitma-Shintoshin'de test edilmiştir. Malzeme, TiO <sub>2</sub> 'in katalik etkisi ile çoğunlukla araçlardan yayılan azot oksitleri yağmur damlacıkları ile daha çevre dostu moleküllere dönüştürmektedir. Parke taşının renkli kullanımları mevcuttur.	



### 2.1.1.1.3. Şekil Değiştiren Akıllı Malzemeler

Şekil değiştiren akıllı malzemeler; sıcaklık, manyetik, UV ışık, pH gibi bir dış uyarının etkisiyle şekillerinde değişim gerçekleştirebilen malzemelerdir. Şekil hafızalı alaşımlar şekil değiştiren akıllı malzemeler grubunda yer almaktadır.

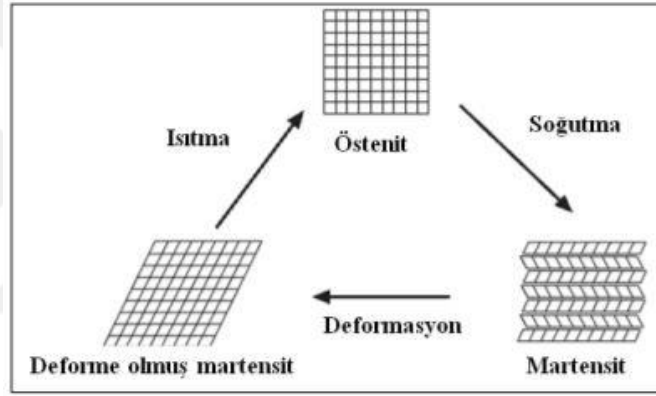
#### 2.1.1.1.3.1. Şekil Hafızalı Alaşımlar

Şekil hafızalı alaşımlar, 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. Geri dönüş kuvvetinin kapsamına göre ve geri dönüş mekanizmasının karakteristiklerine göre, şekil hafızalı malzemeler, akıllı malzeme sistemlerindeki pek çok teknik parametreyi kontrol etmek veya ayarlamak için uygulanabilir. Akıllı sistemler, şekil hafızalı malzemelerin sağladığı şekil, pozisyon (yer), uzama, eğilmezlik, sönümlenme, sürtünme, buhar geçirgenliği veya yüzey gerilimindeki değişikliklerden faydalanmaktadır. Örneğin, sıcaklığa hassas şekil hafızalı malzeme, dönüşüm sıcaklığı altında mekanik olarak deforme olursa, sıcaklık dönüşüm sıcaklığı üstüne arttırıldığında, orijinal şeklinin tümü geri dönmese de, çoğunu geri kazanabilecektir. Bu dönüşüm, materyalin iç yapısını sıcaklıkla değiştirmesi nedeniyle oluşur. Malzemeye, bir kez yeterli bir gerilim uygulandığında, malzeme, elastik deformasyona çok benzer görünen büyük bir deformasyona uğramaktadır. Bununla birlikte, uygulanan yük kaldırıldığında, malzeme orijinal şekline kalıcı deformasyon olmadan geri dönebilmektedir (Bedeloğlu, 2011).

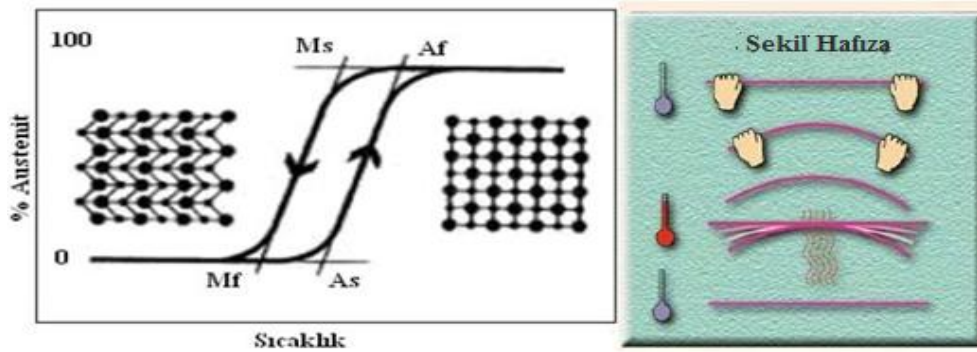
Şekil hafızalı malzemeler, bileşenlerine göre inorganik veya organik olabilmektedir. İnorganik şekil hafızalı malzemelere kıyasla, organik şekil hafızalı malzemeler büyük geri dönüş deformasyonuna, kolayca ayarlanabilir sıcaklığa ve düşük maliyete sahiptir. İnorganik şekil hafızalı malzemeler; metal alaşımlar, seramikler ve camlar, organik şekil hafızalı malzemeler ise polimerler ve jelleri kapsamaktadır. Bunların arasında, şekil hafızalı alaşımlar ve şekil hafızalı polimerler en çok kullanılanlardır, sahip oldukları özellikler nedeniyle bazen kombinasyon halinde de kullanılmaktadırlar (Bedeloğlu, 2011).

Şekil hafızalı alaşım (Shape Memory Alloy, SMA) terimi, ısıya maruz kaldığında önceden belirlenmiş şekil veya boyuta tekrar dönebilme yeteneğine sahip olan bir grup

alaşım sistemine verilen addır (Kurt, 2003). Bu malzemeler kristal yapılarında meydana gelen yüksek sıcaklık fazlı olan, yüksek sertlik ve tokluğa sahip, kolay şekillendirilebilen katı çözeltili olan östenit ve östenitiin hızlı soğutulmasıyla elde edilen, oldukça sert, kırılğan, mukavemet değeri oldukça yüksek olan martenzit faz dönüşümleri sonucunda şekil değişimi yapabilmektedir. Düşük sıcaklıkta martenzit yapıya sahipken kolay deformasyona uğrayan malzeme, uygun sıcaklıkta ısıtıldığında yüksek sıcaklık fazı olan östenit faza geçerek deformasyon öncesi orijinal şekillerine tekrar dönebilmektedir (Ritter, 2007; Toptaş ve Akkuş, 2007). Şekil 2.63'te şekil hafızalı alaşımların martenzit ve östenit fazda görünüşleri, Şekil 2.64'te ise Şekil Hafıza Mekanizmasının mikro ve makro ölçekte yapı görünüşleri verilmiştir.



Şekil 2.63. Şekil hafızalı alaşımın iki fazının görünüşleri (Bedeloğlu, 2011).



Şekil 2.64. Şekil hafıza mekanizmasının mikro ve makro yapı görünüşleri (Kaya vd., 2016).

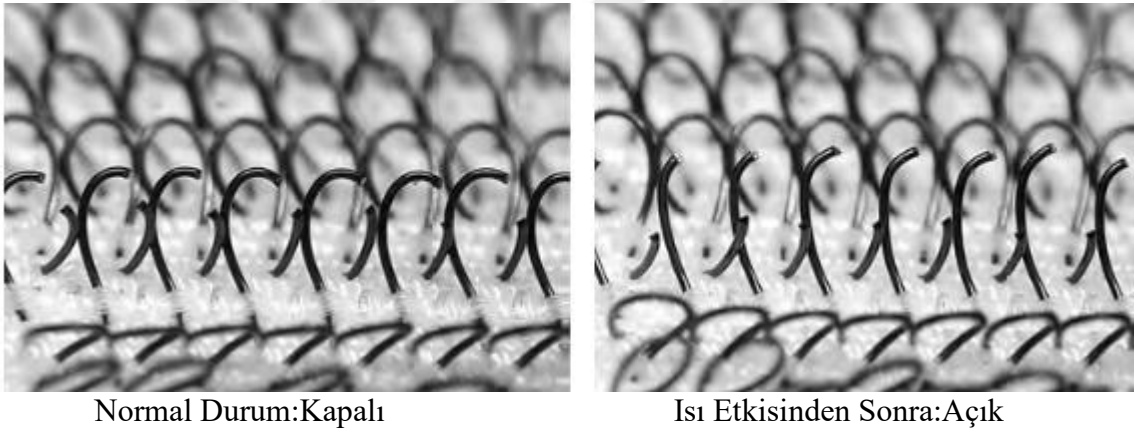
Şekil hafızalı alaşım etkisinin keşfedilmesi 1930'lu yıllara dayanmaktadır (Kaya vd., 2016). Alaşımelerde şekil hafıza olayı ilk kez 1932 yılında, Chang ve Read tarafından Au-Cd (altın- kadmiyum) alaşımları üzerine yürütülen bir çalışma esnasında görülmüştür (Çakmak ve Kaya, 2017). Aynı yıl A. Ölander 1932'de Au-Cd alaşımının suni elastik davranışını keşfetmiştir. 1938'de Greninger ve Mooradian bir Cu-Zn (pirinç) alaşımının sıcaklığının artması ve azalması ile martenzit fazın oluşmasını ve yok olmasını gözlemlemişlerdir. 1960'larda Buehler ve arkadaşları (Şekil 2.65), U.S. Naval Ordnance Laboratuvarı'nda eş atomlu Ni-Ti (Nikel Titanyum) alaşımının şekil hafıza etkisini keşfetmişlerdir. Bu alaşım Nitinol (Nikel Titanyum Naval Ordnance Laboratuvar) adında ticarileştirilmiştir. Alaşımın dikkate değer özellikleri tesadüfen keşfedilmiştir. Alaşım numunelerine çekiçle vurularak darbe testleri uygulanmış ve birkaç darbeden sonra araştırmacılar numuneleri pencere kenarına bırakıp öğle yemeğine gitmişler ve geri döndükleri zaman, numunelerin kendi kendilerine düzelmiş olduğunu görmüşlerdir (Kaya vd., 2016). Bu malzemenin bu laboratuvarında bulunmasından ötürü nikel, titanyum ve araştırma yapılan laboratuvarın baş harflerinde oluşan Ni-Tinol adıyla patentleşmiştir (Gürlük, 2009). Bugün şekil hafızalı alaşımlar artık, orijinal şekillerini "hatırlayıp" bu şekle dönebilmelerinin yanı sıra, yeni şekiller de öğrenebilmektedirler. Martenzit halde tekrar tekrar deforme edilerek ve ısıtılarak istenilen şekilde östenit haline getirilen alaşım, bu süreç esnasında soğutulduğunda yeni şekle adapte olabilmektedir (Toptaş ve Akkuş, 2007).



Şekil 2.65. William J. Buehler, 1968 (Kaya vd., 2016).

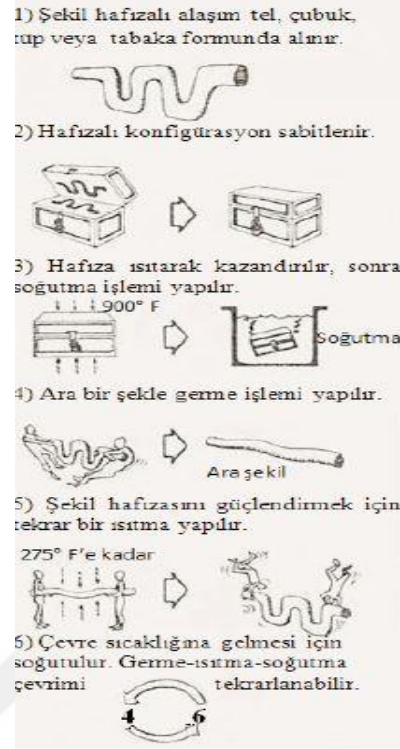
Endüstride en fazla görünen şekil hafızalı Ni-Ti alaşımları ve bakır esaslı alaşımlar önemli ticari değere sahip alaşım sistemleridir. Bu sistemlerin sahip oldukları özellikleri

birbirinden oldukça farklıdır. Bakır esaslı alaşımlarda % 4-5 olan şekil hafıza gerinim değeri, Ni-Ti alaşımlarda yaklaşık %8'dir. Daha fazla ısıl kararlılığa sahip olan Ni-Ti alaşımları, gerilmeli korozyona karşı hassas olan bakır esaslı alaşımlarla karşılaştırıldığında çok iyi bir korozyon direncine ve çok daha yüksek sünekliliğe sahiptir (Akdoğan ve Nurveren, 2003). Çevrimsel uygulamalarda genellikle daha yüksek bir kararlılık gösterirler. Elektriksel hareketlenmeyi daha çok kolaylaştıran yüksek bir elektrik direncine sahiptir (Nurveren, 2008). Diğer taraftan bakır esaslı alaşımlar daha ucuzdur, eritmeleri ve açık havada ekstrude edilmeleri daha kolaydır, daha geniş potansiyel dönüşüm sıcaklık aralığına sahiptirler. Sonuçta her iki alaşım sisteminin de kullanılacağı ortama göre göz önünde bulundurulması gereken avantaj ve dezavantajları olduğu söylenebilir (Akdoğan ve Nurveren, 2003). Şekil 2.66'da, Ni-Ti alaşımlı kancaların ısıl etki öncesi ve sonrasında davranışları gösterilmiştir.



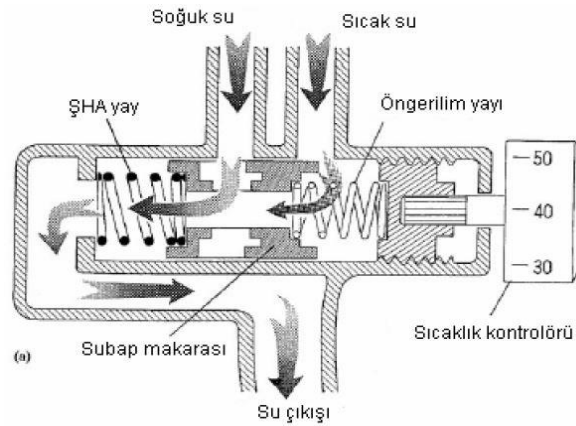
Şekil 2.66. Ni-Ti alaşımlı kancaların ısıl etkisi altındaki davranışları (Ritter, 2007).

Ni-Ti alaşımlarda ısıl işlem ile istenilen hafıza şeklini vermek için sık sık 500-800 °C arasında sıcaklıklar tercih edilir ve bu sıcaklık değeri yeterli zamanın ayarlanmasıyla birlikte en az 300-350 °C olmalıdır. Şekil hafızalı alaşımın ısıl işlemi sırasında arzulanan hafıza şeklinin sağlanması için kontrollü davranmak gerekir. Aksi takdirde hafıza etkisi kazandırılmaz. Jackson ve arkadaşları tarafından Ni-Ti tel üzerinde şekil hafıza etkisi Şekil 2.67'deki gibi gösterilmiştir (Nurveren, 2008).



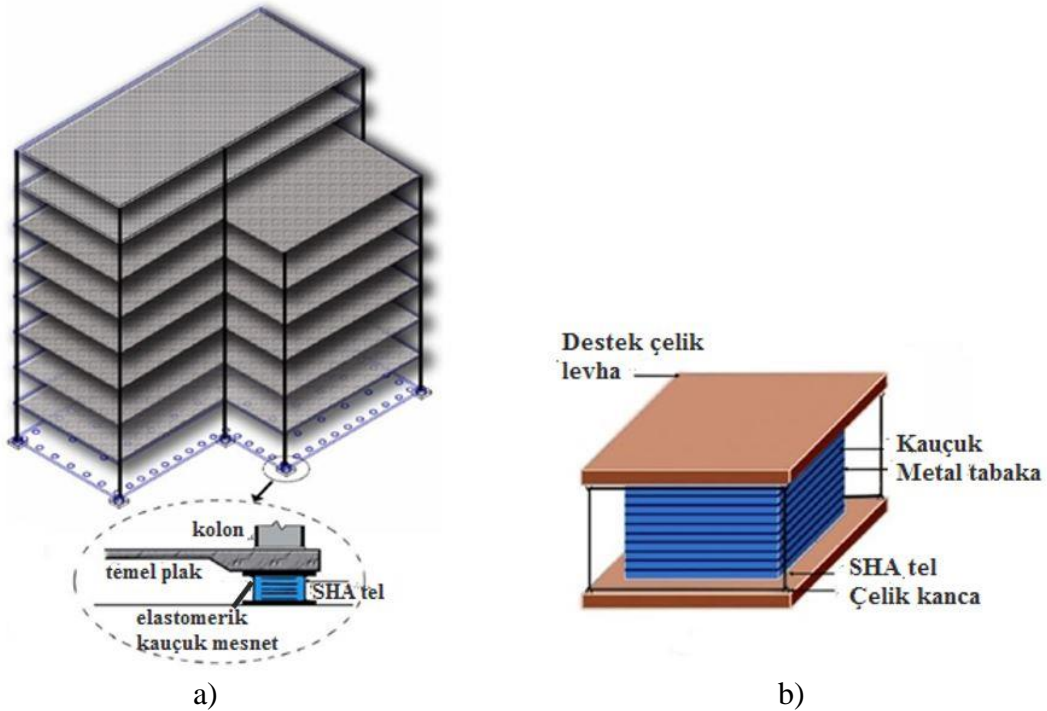
Şekil 2.67. Ni-Ti tel üzerinde şekil hafıza etkisi (Bedeloğlu, 2011).

Şekil hafızalı alaşımların birçok uygulamaları mevcuttur. Bu uygulamalardan biri yangın durumunda yanıcı ve zehirli gazların çıkışını kapatacak şekilde tasarlanmış yangın güvenlik valfleridir. Şekil hafızalı alaşımdan yapılmış yay, sıcaklığa duyarlı olduğundan boyutlarını değiştirerek çıkış akışkanının sıcaklığını ayarlar (Şekil 2.68) (Gürlük, 2009).



Şekil 2.68. Şekil hafızalı alaşım kullanılarak geliştirilmiş karıştırma valfi (Gürlük, 2009).

Şekil hafızalı alaşımlar sabit sıcaklıkta konvansiyonel metallere göre 20 misli daha elastiktir; süper elastisite olarak anılan bu özellikleri “yapı strüktürlerinin deprem dayanımını arttırmak” üzere şekil hafızalı alaşımların kullanımını olanaklı kılmaktadır. Bu konuda yürütülen çalışmalarda deprem yüklerini bölümlendirmek üzere kritik noktalarda (kolon-kiriş bağlantıları gibi) veya aktif yapısal kontrol sistemlerinde (deprem damperleri gibi) şekil hafızalı alaşımlarının kullanımı geniş biçimde araştırılmaktadır (Çakmaklı vd., 2015). Şekil 2.69’da yapı strüktürlerinin deprem dayanımını arttırmak için şekil hafızalı alaşımların kullanımı görsellerle ifade edilmiştir.



a) Bina çerçevesinin yükseltilmesi b) Şekil hafıza alaşım ilaveli elastomerik kauçuk taşıyıcı

Şekil 2.69. Deprem dayanımını arttırmak için şekil hafızalı alaşım kullanımı (Ghodke ve Jangid, 2016).

Şekil hafızalı alaşımlarda kullanım ömrü yaklaşık 30 yıldır (URL-81, 2017). Bu malzemelerin maliyetlerinde boyut ve işleme, belirleyici etkiye sahiptir. Bu etki, maliyet fiyatının 2 ile 3 kat artmasına neden olabilmektedir. Bununla birlikte Ni-Ti alaşımların fiyatında son 10 yılda 1000 \$/kg'dan 150 \$/kg'a kadar düşüş gerçekleşmiştir. Malzeme fiyatı hala diğer inşaat malzemelerin fiyatlarından oldukça yüksek seviyededir. Düşük maliyetli şekil hafızalı alaşımların geliştirilmesi, büyük ölçekli uygulamaları başlatabilmek için önemli bir kriterdir (Alam vd., 2007).

Şekil hafızalı alaşımlar genellikle yüzey olarak plastik, metal, seramik, cam, jel, film yüzeylere; yapı elemanı olarak ise döşeme, çatı ve duvara uygulanabilmektedir. Tasarlanmış bir malzeme olduğundan teknoloji olarak nanoteknoloji ile ilişkili bir malzemedir.

### 2.1.1.1.3.1.1. Uygulama Alanları

Şekil hafızalı alaşımların uygulama alanları özellik, konum ve yapı elemanına göre sınıflandırılarak Tablo 2.60'da verilmiştir.

Tablo 2.60. Şekil hafıza alaşımların uygulama alanları (Bedeloğlu, 2011; Gürlük, 2009; URL-82, 2017; URL-83, 2016)

ÖZELLİK	KONUM	YAPI ELEMANI	UYGULAMA ALANLARI
Bir dış uyarının etkisiyle kontrollü bir biçimde şekil değiştirebilmek	Dış Mekan	Duvar, çatı	Güneş kırıcı eleman
		Duvar	Yenilikçi kolon (Betonarme köprü kolonu) Akustik panel
		Döşeme	Deprem damperi
	İç Mekan	Duvar, çatı ve döşeme	Yangın güvenlik valfi Devre sigortası Rüzgar ve gürültü kontrolü Klimalardaki sensör/ aktüatör Kendiliğinden montaj yapan mobilya
			Özellikle yapılarda sensör, kendi kendini onarma ve yapı cephelerinde havalandırma amaçlı tercih edilmektedir.

Şekil hafızalı alaşımların uygulamaları Şekil 2.70 ve Şekil 2.71'de ifade edilmiştir.



Havalandırma

Şekil 2.70. Şekil hafızalı alaşım uygulama örnekleri (URL-82, 2017).





Şekil 2.71. Şekil hafızalı alaşım uygulama örnekleri (URL-82, 2017).

### 2.1.1.1.3.1.2. Avantajları ve Dezavantajları

#### Avantajları

Şekil hafızalı alaşımların avantajları konularına göre analiz edilmiştir.

Şekil hafızalı alaşımlar;

- Sessiz çalışır, düşük voltajda kullanılabilir, değişken şekiller gösterebilir (URL-112, 2019).
- Estetik görünüm ve fonksiyonellik sağlar (Bedeloğlu, 2011).
- Yüksek enerji emme ve sönümleme kapasitesine sahiptir (URL-83, 2016).
- Bir dış uyarıcının etkisiyle kendiliğinden şekil değiştiren akıllı malzemelerin kendiliğinden kurulum teknolojisinin hayata geçmesinde katkıları olabilir (Sarıgül, 2016).
- Ni-Ti alaşımının deniz suyunda korozyon direnci yüksektir (Gürlük, 2009).
- Bilim insanlarının geliştirdiği nikel, titanyum ve bakırdan oluşan malzeme 10 milyondan fazla defa şekil değiştirmesine rağmen, kristal yapısında herhangi bir hasar meydana gelmemekte olup, malzeme süperelastik yapıya sahiptir (Sarıgül, 2016; Toptaş ve Akkuş, 2007).
- Alaşımlarla ulaşılabilecek uzamalar (%8'e kadar), polimerlerle olanlardan çok daha azdır ancak şekil hafızalı alaşımlar orijinal programlanmış şekline %100 geri dönebilme yeteneği gibi belirli avantajlara sahiptir (Bedeloğlu, 2011).
- Malzemeler boyutunun ve ağırlığının karşısında ürettiği kuvvet değerinin büyük olmasından dolayı sistemlerde aktüatör amaçlı kullanılmaktadır (Toptaş ve Nihat, 2013).
- Ni-Ti şekil hafızalı alaşımlar çok yüksek çalışma gerilmelerine ve gerinimlerine izin verdiklerinden dolayı Cu esaslı şekil hafızalı alaşımlara göre işlenmesi çok zor olmasına ve çok pahalı olmalarına rağmen daha çok talep görmektedir (Nurveren, 2008).
- Daha fazla ısıl kararlılığa sahip olan Ni-Ti alaşımları, gerilmeli korozyona karşı hassas olan bakır esaslı alaşımlarla karşılaştırıldığında mükemmel bir korozyon direncine ve çok daha yüksek sünekliliğe sahiptir (Gürlük, 2009).

#### Dezavantajları

Şekil hafızalı alaşımların dezavantajları konularına göre analiz edilmiştir.

Şekil hafızalı alaşımlar;

- Isıtma ve soğutma sırasında aktivasyon gerektirir, düşük verimlilik gösterir.
- Çelik ve alüminyum gibi diğer malzemelere oranla üretimi pahalıdır (URL-83, 2016).

- Biyouyumlulukları düşüktür, dokulara göre çok serttir, yoğunlukları yüksektir, alerjik doku reaksiyonlarına neden olabilecek metal iyonu salımı yapar (Gürlük, 2009).
- Tipik uygulamalarda, nispeten düşük sıcaklıklarda deforme olurlar belirli bir sıcaklık artışının etkisinde kaldıkları zaman orijinal şekillerine geri dönebilir (Doğrukol, 2002).
- Sadece mekanik bir germe altında elastikiyet göstermektedir (Bedeloğlu, 2011).
- Uzun süreli hava atmosferine maruz kalması, oksitlenmesine neden olmaktadır. Oksitlenen şekil hafızalı alaşımın mikro yapısında martensit fazın kararsızlaşması ve bundan dolayı şekil hafıza özelliğinde azalmaların olduğu gözlenmiştir (Ercan ve Dağdelen, 2015).
- Mevcut uygulamalarının % 90'ından fazlası Ni-Ti esaslı veya üçlü Ni-Ti-Cu ve Ni-Ti-Nb alaşımlardır. Cu-Al-Ni, Fe-Mn-Si gibi diğer şekil hafızalı alaşımlar piyasa ürünleri olmaya yakındır (Nurveren, 2008).

#### 2.1.1.1.3.1.3. Yapı Elemanlarında Uygulanması

Şekil hafızalı alaşımların yapı elemanlarında ve strüktürel olarak uygulandığı 3 adet örnek, Tablo 2.61 ve her bir örnek için analiz tabloları hazırlanarak ifade edilmiştir. Yapı elemanları dağılımına özen gösterilerek örneklem listesi çıkarılmış; analiz edilen örnekler, üretici firmaların internet sitelerine koydukları referans projelerden, literatürde yapılmış çalışmalardan seçilmiştir.

Tablo 2.61. Analizi yapılan örnek listesi

Tablo No	Yapının Adı, Bulunduğu Ülke ve Malzemenin Uygulama Yılı	Uygulandığı Yapı Elemanı	Kullanılan Akıllı Malzeme	Kullanım Yeri	Yapının İşlevi
Tablo 2.62.	Dowa Kasai Phoenix Tower Japonya, 1995	Döşeme	Şekil Hafızalı Alaşım	İç Ortam, Döşeme	Ticari Bina
Tablo 2.63.	San Francisco Bazilikası İtalya, 1997	Çatı	Şekil Hafızalı Alaşım	Dış Ortam, Çatı	Dini Yapı/ Bazilika
Tablo 2.64.	Bloom ABD, 2011	-	Şekil Hafızalı Alaşım-Termobimetal	Dış Ortam, Cephe	Strüktür

### 2.1.1.1.3.1.3.1. Döşeme Yüzeyinde Kullanımı ile İlgili Örnek

Tablo 2.62. Dowa Kasai Phoenix Tower analiz tablosu (Okay, 2017; URL 87 ve 88, 2017)

YAPIYA AİT BİLGİLER			
Yapının Adı :	Dowa Kasai Phoenix Tower		
Yapının Yeri :	Osaka, Japonya		
Yapı Yılı :	1995		
Tasarım/Proje :	Nikken Sekkei Ltd.		
Yapının İşlevi :	Ticari Bina		
			
		MALZEMEYE AİT BİLGİLER	
		Kullanılan Akıllı Malzeme :	Şekil Hafızalı Alaşım
		Kullanıldığı Yer :	İç ortam / Döşeme
		Uygulandığı Yapı Elemanı :	Döşeme
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Metal		
Kullanım Amacı :	Mekanik özelliklerini harekete bağlı olarak değiştirmek		
<p>Dowa Osaka Phoenix Kulesi (145 m) yer sarsıntısını algılayarak, cevap vermektedir. Binadaki DUOX titreşim kontrol sistemi gerek depremlerin ve gerekse kuvvetli rüzgarların neden olduğu sallantıları tamamen bastırmaktadır. Genelde akıllı malzeme sistemleri iki farklı akıllı malzemeden oluşmaktadır: Biri titreşimleri hissetmekte, buna bağlı olan diğer malzeme ise mekanik özelliklerini harekete bağlı olarak değiştirmektedir.</p>			
			
			



### 2.1.1.1.3.1.3.2. Çatı Yüzeyinde Kullanımı ile İlgili Örnek

Tablo 2.63. San Francesco Bazilikası analiz tablosu (Ingalkar,2014; Pampanin,2006; URL-86, 2017)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>		
Yapının Adı :	San Francesco Bazilikası	
Yapının Yeri :	Assisi, İtalya	
Yapı/Restorasyon Yılı/ :	1253/1997	
Tasarım/Proje :	Maestro Jacopo Tedesco	
Yapının İşlevi :	Dini Yapı/Bazilika	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>		
Kullanılan Akıllı Malzeme :	Şekil Hafızalı Alaşım	
Kullanıldığı Yer :	Dış ortam / Çatı	
Uygulandığı Yapı Elemanı :	Çatı	
Uygulandığı/ Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Taş	
Kullanım Amacı :	Mekanik özelliklerini harekete bağlı olarak değiştirmek	
<p>1997 depreminde büyük hasar gördükten sonra restore edilmiştir. Çatı kenarındaki eğik duvar çatıdan ayrılmış daha sonra ise şekil hafızalı alaşım cihazı ile çatıya tekrar bağlanmıştır. Tonoza aktarılan sismik kuvvetleri azaltmak için, çatı arasındaki bağlantı süperelastik şekil hafızalı alaşımlar kullanılmıştır. Şekil hafızalı alaşım cihazı, farklı yatay kuvvetler için farklı yapısal özellikler göstermektedir. Yoğun yatay yükler altında yıkılmayı önlemek için şekil hafızalı alaşımın sertliği artmaktadır.</p>		

### 2.1.1.1.3.1.3.3. Strüktürel Kullanımı ile İlgili Örnek

Tablo 2.64. Bloom analiz tablosu (Mortice, 2015; URL 84 ve 85, 2017)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>	
Yapının Adı	: Bloom
Yapının Yeri	: Kaliforniya, ABD
Yapı Yılı	: 2011
Tasarım/Proje	: DO SU Studio Architecture, Doris Kim Sung
Yapının İşlevi	: Strüktür
	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>	
Kullanılan Akıllı Malzeme	: Şekil hafızalı alaşım- Termobimetal
Kullanıldığı Yer	: Dış ortam/Cephe
Uygulandığı Yapı Elemanı	: -
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi	: Metal
Kullanım Amacı	: Güneş ışığı etkisiyle şekil değiştirerek doğal havalandırma sağlamak
Nefes Alıp Veren Metal' olarak nitelenen Bloom her biri farklı genişleme hızlarına sahip birbirine laminatlanmış 14.000 parça termobimetal tabakasından oluşmaktadır. Sıcaklık yükseldiğinde metal levhalar kıvrılmakta, soğutulduğunda ise levhalar düzleşmektedir. Termobimetaller kompozit alaşımlardan oluşmaktadır. Malzeme ısıtıldığında bir malzeme hızla genişlerken diğeri daha yavaş hızda genişlemektedir. Bu şekilde doğal havalandırma sağlanmaktadır. Bloom 'Materials and Applications Gallery'de bulunmaktadır.	

### 2.1.1.2. Enerji Alışverişi Yapan Akıllı Malzemeler

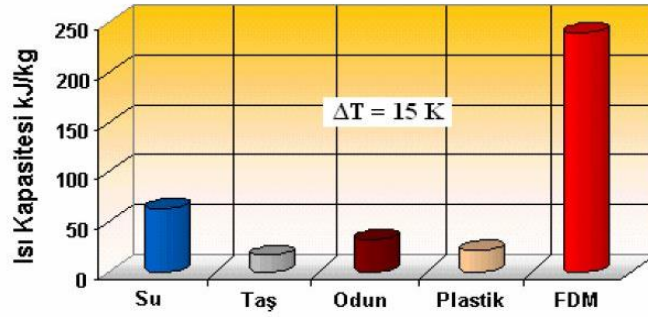
Enerji alışverişi yapan akıllı malzemeler, dış uyarıcı etkisiyle malzemenin yapısında enerji değişimi yapabilen malzemelerdir.

#### 2.1.1.2.1. Faz Değiştiren Akıllı Malzemeler

Isıl enerji depolama, düşük veya yüksek ısı enerjisinin daha sonra kullanılmak üzere geçici süre ile depo edilmesidir. Bu özellik, enerji gereksinimi ile enerjinin kullanımı arasındaki zaman aralığında geçiş görevi üstlenmektedir. Gizli ısı, duyulabilir ısı ve kimyasal reaksiyon ısısı depolama olmak üzere üç tür ısı depolama yöntemi vardır. Değişik ısı enerji depolama teknikleri arasında gizli ısı depolama; yüksek enerji depolama kapasitesi ile ısı enerjisi depolamada en etkili yöntemlerden birisidir ve “faz değiştirme ısısı depolama” olarak da isimlendirilmektedir. Gizli ısı depolama özellikli materyaller faz değiştiren malzemeler (FDM) olarak isimlendirilmektedirler (Kuru ve Alay Aksoy, 2012).

Faz değişim teknolojisinin kullanımı 1970’li yıllarda, NASA (National Aeronautics and Space Administration) tarafından yürütülen bir araştırma programına dayanmaktadır. Bu programdaki asıl amaç, astronot giysilerine uzaydaki aşırı sıcaklık dalgalanmalarına karşı ısı koruma etkinliğinin kazandırılmasıdır. NASA’nın 1971 yılında yayınladığı; Phase Change Materials Handbook’ isimli raporunda, 500’den fazla faz değiştiren madde olduğu belirtilmiş, faz değiştirme sıcaklıklarına ve ısı depolama kapasitelerine göre kategorilere ayrılmıştır (Güngör ve Kabul, 2015).

Faz Değiştiren Malzemeler (FDM), faz değişimi esnasında ortaya çıkan gizli ısının enerji depolama uygulamalarında kullanıldığı maddelerdir. Bu maddeler içinde buldukları ortamın sıcaklığı faz değişim sıcaklığının üzerine çıktığında, çevreden ısı alırken (gizli ısı), soğuma esnasında bu ısıyı tekrar çevreye yaymaktadır (Güngör ve Kabul, 2015). Şekil 2.72’de ısı depolayan bazı maddelerin birim ünite başına depolanan enerji miktarları karşılaştırılmıştır:

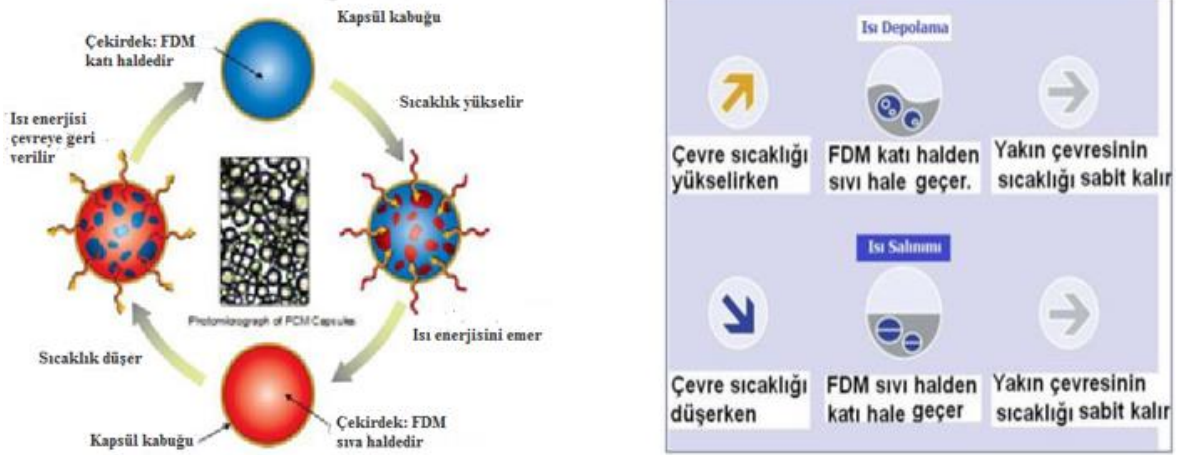


Şekil 2.72. Malzemelerin birim ünite başına depolanan enerji miktarları (Sarı, 2017).

Isı depolamaya uygun faz değişimleri; katı-katı ve katı-sıvıdır. Sıvı-buhar faz değişimi, gaz fazın depolanmasının basınçlı depolama kaplarını gerektirmesi gibi karşılaşılan sorunlar nedeniyle ısı depolamaya uygun değildir. Katı durumdaki bir materyal kristalleşerek diğer bir katı faza dönüştüğünde (katı-katı değişimi), kristalleşme ısısı şeklinde ısı depolanır. Materyal ilk durumdaki katı fazına yeniden dönüştüğünde, faz değişimi sırasında depolanan ısı da geri kazanılır. Katı-katı faz değişimi sırasında açığa çıkan gizli ısı miktarı azdır. Katı-sıvı faz değişiminde, diğer faz değişimlerine oranla daha az hacim değişimi gerçekleşir. Uygulamada hacimsel enerji depolama kapasitesi yüksek olduğundan sadece katı-sıvı veya kristalleşme ısısı yüksek olan katı-katı faz değişimleri pratik öneme sahiptir. FDM'ler hem ısıtma hem de soğutma sistemlerinde uygulanabilir. FDM'lerin sabit sıcaklıkta faz değiştirmeleri ısı depolama ve geri kazanma için uygundur (Konuklu vd., 2017).

FDM'ler termal enerjiyi gizli ısı şeklinde depolayan maddelerdir. Enerji alan madde erir ve tekrar donarken aldığı bu enerjiyi geri verir. Böylece ortam sıcaklığı faz değişim sıcaklığına çok yakın bir sıcaklık aralığında tutulmuş olur. Isı depolama amacıyla, belirli sıcaklıklarda faz değişimlerine uğrayan ve gizli ısı değerleri yüksek olan materyallerden yararlanır. Gece dış ortam sıcaklığının düşmesiyle donan FDM ısı salarak binanın ısınmasına katkı sağlar. Böylece güneş enerjisinden yararlanılarak bina içerisindeki ısının homojen olarak dağılmasına olanak sağlanır. FDM'nin mikrokapsüllenmiş olarak veya doğrudan uygulanmasıyla soğutmada %30'a, ısıtmada ise %20'lere varan tasarruf sağlanmıştır. Şekil 2.73'te faz değiştiren malzemelerin çalışma prensibi verilmiştir (Beyhan vd., 2016).





Şekil 2.73. Faz değıştiren malzeme çalışma prensibi (Wahid vd., 2017; Sarı, 2017).

Faz değıştiren malzemelerin genel özellikleri termal, fiziksel, kimyasal, kinetik ve ekonomik olmak üzere alt başlıklar halinde sınıflandırılmıştır.

#### Termal Özellikleri,

- İstenilen sıcaklık aralığında erime sıcaklığına sahip olma,
- Yüksek özgül ısı,
- Birim hacim ya da kütle başına depolanan yüksek faz değışim ısısı,
- Hem sıvı hem de katı fazda yüksek ısı iletkenliği,
- Yüksek erime ısısına sahip olması,

#### Fiziksel Özellikleri,

- Aşırı soğuma özelliği göstermeme,
- Yüksek yoğunluk,
- Düşük buhar basıncına sahip olma,
- Faz değışimi esnasında küçük hacim değışimi,
- Düzenli erime ve katılaşma davranışı,
- Tekrarlanan erime donma döngüsünde bozunmama,

#### Kimyasal Özellikleri,

- Uzun süreli kimyasal kararlılık,
- Çok sayıda erime/katılaşma dönüşümünden sonra kimyasal kararlılık gösterme,
- Yapı malzemelerine karşı korozif olmama,
- Yapı malzemeleri için uygun olma,
- Toksik, yanıcı ve patlayıcı olmama,

### Ekonomik Özellikleri,

- Kolay temin edilebilir olma (Sarı, 2017; Wahid vd., 2017, Konuklu ve Paksoy, 2011).

Faz değiştiren maddeler, organik, inorganik ve estetik olmak üzere üç gruba ayrılırlar. Organik faz değiştiren maddelere parafin, inorganik faz değiştiren maddelere ise tuz hidrati örnek gösterilebilir.

Tablo 2.65'te organik, inorganik ve estetik faz değiştiren malzemelerin özellikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

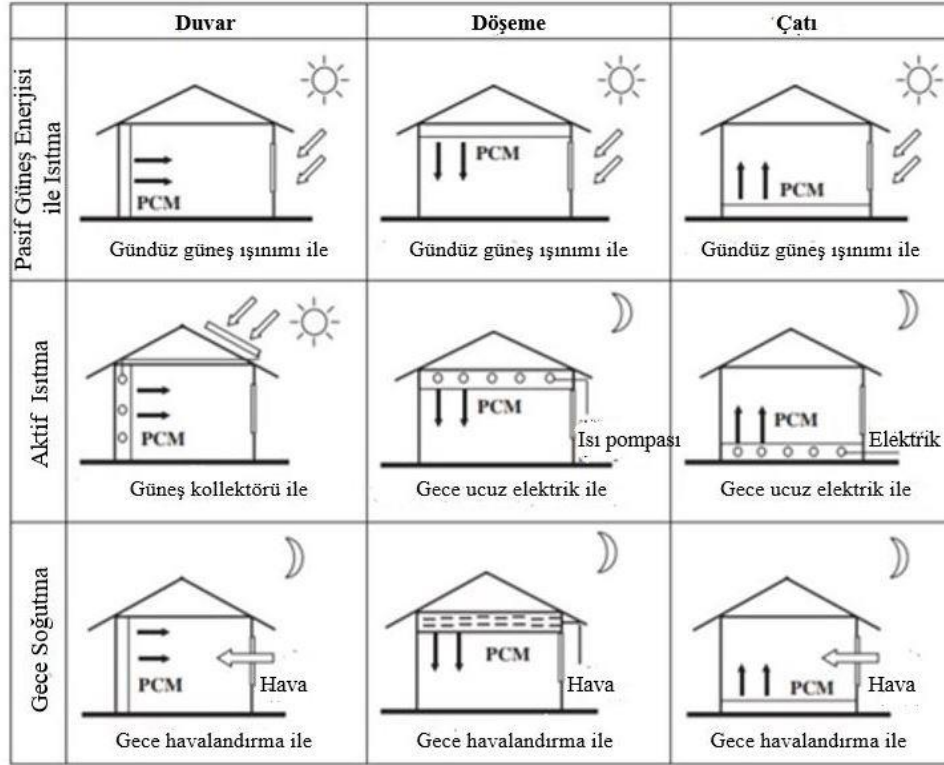
Tablo 2.65. Organik, inorganik ve estetik faz değiştiren malzemelerin özellikleri (Wahid vd., 2017)

Özellik	Çeşit	Organik	İnorganik	Estetik
Aşırı soğuma		Hayır	Evet	Termofiziksel özellikleri ile ilgili çok fazla veri mevcut değildir. Estetik faz değiştiren malzemeler nispeten yeni bir FDM sınıfıdır.
Faz bozunması		Hayır	Evet	
Sıcaklık aralığı		Geniş	Düşük	
Isıl iletkenlik		Düşük	Yüksek	
Yapı malzemeleri için uygun		Yüksek	Orta	
Kimyasal kararlılık		Evet	-	
Geri dönüştürülebilirlik		Evet	Evet	
Yanabilirlik		Evet	Hayır	
Erime ısısı		Yüksek	Yüksek	
Korozyon direnci		Yüksek	Düşük	
Hacimsel depolama yoğunluğu		Düşük	Yüksek	Yüksek
Maliyet		Yüksek	Düşük	Yüksek

FDM olarak genellikle parafin; sandviç panel uygulamalarının bazılarında ise tuz çözeltileri denenmiştir. Kapsülsüz doğrudan FDM uygulamalarında parafinin gözenekli yapıdan dışarıya akması, araştırmaları kapsüllenmiş FDM kullanımına yöneltmiştir (Beyhan vd., 2016).

ZAE (Zentrum für Angewandte Energieforschung) Bayern Co. (Almanya) tarafından yürütülen bir çalışmada binaların ısıtması ve soğutması için kullanılan FDM'lerin uygulamaları geliştirilmiştir. Bu firma tarafından bina duvarlarında ve binanın diğer yapı elemanlarında kullanılan FDM'ler araştırılmıştır. Binalardaki FDM'ler de iki farklı ısı kaynağı kullanır. Bunların birincisi doğal ısı ve soğuk kaynaklarıdır. Örneğin ısıtma için güneş enerjisi veya soğutma için gecenin soğuk havası kullanılır. İkincisi ise yapay ısı veya soğuk kaynaklardır. Soğutma amaçlı kullanılan FDM'ler 5 °C-30 °C erime noktasına sahip olan malzemelerdir. Bina uygulamalarında erime sıcaklığı 22-24 °C olanlar kullanılmaktadır

(Arslan, 2014). Şekil 2.74'te faz değiştiren malzemelerin gün içinde yapıya etkisi görsellerle ifade edilmiştir.

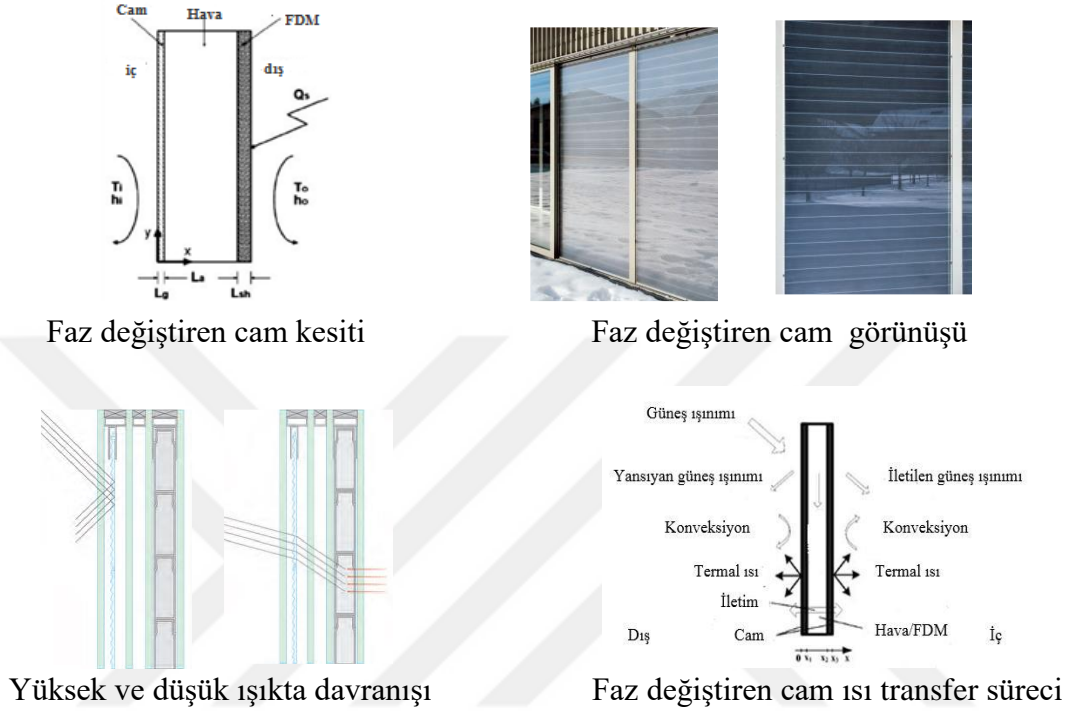


Şekil 2.74. Faz değiştiren malzemelerin gün içinde yapıya etkisi (Zhang vd., 2007).

Enerji depolama özelliği gösteren faz değiştiren malzemeler mimari uygulamalarda genellikle pasif iklimlendirmede ısı enerjisini depolama amacıyla kullanılmaktadır. Polimer mikrokapsüllenmiş parafin mumu esaslı bir FDM, micronal adıyla ticari olarak piyasaya sunulmuştur; toz haldeki malzeme duvar veya tavanlarda kullanmak üzere sıva, dolgu vb. amaçlar ile yapı malzemelerine katılmaktadır. Malzemeyi içeren alçı levhalar da üretilmiştir (URL-89, 2018).

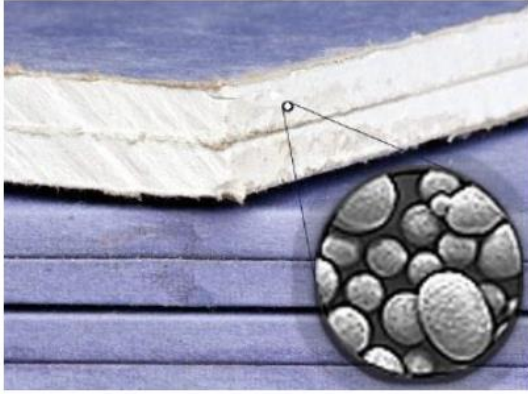
FDM kullanılarak akıllı cepheler de geliştirilmiştir. Harç ve dolgu malzemesine katılan polimer mikrokapsüllenmiş parafin mumu esaslı FDM katkısı (ticari adı: Micronal) ya da FDM malzemeli cephe sistemleri (ticari adı: GlassX) gibi uygulamalar faz değiştiren malzemelerin ısı depolama özelliğini kullanarak yapının daha az enerji tüketmesini sağlamaktadır. Düşük maliyetli bir FDM olan sulu tuzun kullanıldığı GlassX cephe sisteminde, gündüz güneş radyasyonu ile gelen ısıyı faz değişimiyle depolayan malzeme sıcaklık  $27^{\circ}\text{C}$ 'ın altına düştüğünde – malzemenin faz dönüşümünün başladığı sıcaklık –

depoladığı ısıyı mekâna vererek mekânın ısı konforunu düzenlemektedir (Orhon, 2013). Şekil 2.75'te faz değiştiren cam görünüşü, kesiti , yüksek ve düşük ışıktaki davranışına ait görseller verilmiştir.

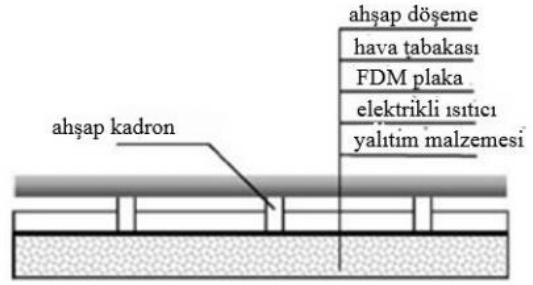


Şekil 2.75. Faz değiştiren cam kesiti, görünüşü, yüksek ve düşük ışıktaki davranış, faz değiştiren camda ısı transfer süreci (Ritter, 2007; Wahid vd., 2017; Zhong vd., 2015).

Şekil 2.76'da görüldüğü gibi FDM'ler binalarda yapı elemanlarında (döşeme, asma tavan ve duvarlar) ve yapı malzemelerinde (sıva ve alçı panel) yalıtımı artırmak amaçlı ve döşemede elektrikli yerden ısıtma sistemi ile binaların ısıtılmasında kullanılmaktadır (Arslan, 2014; Lin vd., 2005).



Faz değiştiren malzemeli alçı panel



Faz değiştiren malzeme plakaları ile yerden ısıtma sistemi



Elektrikli ısıtıcı

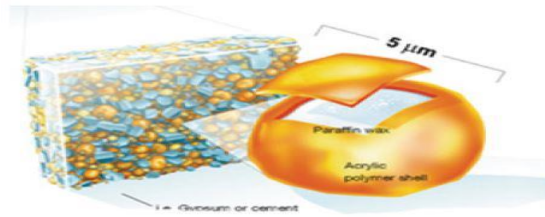


Faz değiştiren malzemeli plaka Ahşap döşeme



şekil 2.76. Faz değiştiren malzemelerin yapıda kullanımı (Wahid vd. 2017; Lin vd., 2005).

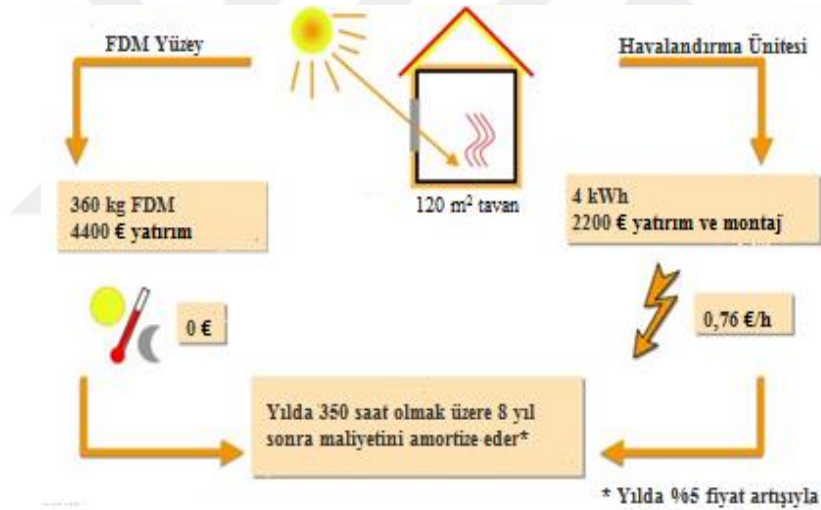
Faz değiştiren malzemelerin mikro ölçekte kapsüllenmesi enerji depolama konusunda son yıllarda yaygın biçimde kullanılan bir yöntemdir ve enerji tasarrufu sağlamak amacıyla yapılan çalışmalar 1990'lı yılların sonlarında başlamıştır (Arslan, 2014; Konuklu ve Paksoy, 2011). Mikrokapsüller çekirdek-kabuk yapısında fonksiyonel malzemeyi uzun süre dış etkilerden korumak ya da dış faza geçmesini engellemek için oluşturulurlar. Genellikle mikrokapsüllerin kabuk malzemesi olarak, farklı morfolojik ya da fizikokimyasal özellikler taşıyan doğal ya da sentetik malzemeler kullanılmaktadır (Arslan, 2014). Faz değiştiren malzemelerin mikrokapsül görünümü şekil 2.77'de görselle ifade edilmiştir.



şekil 2.77. Mikrokapsül görünümü (Lukic vd., 2012).

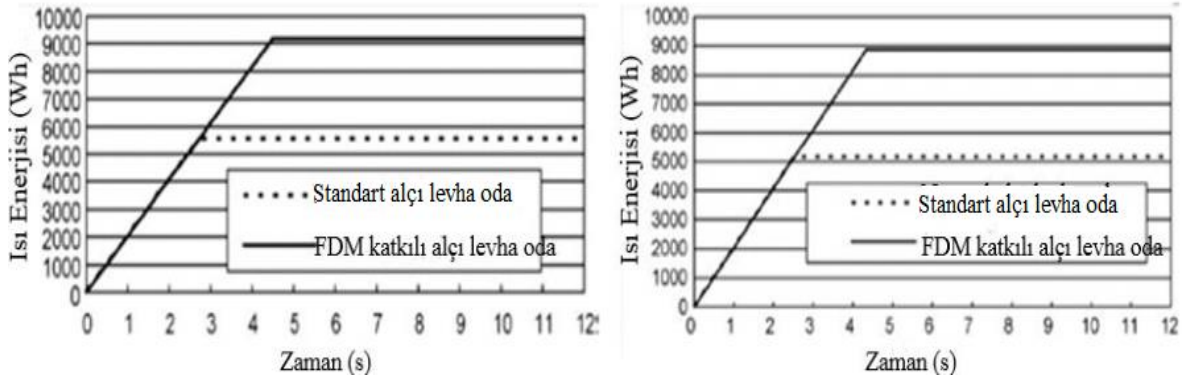
Faz değiştiren malzemelerin kullanım ömrü 10.000 faz değişikliği yani yaklaşık olarak 30 yıldır (Mclaren, 2017). Fiyat aralığı yaklaşık \$7 - \$10 arasındadır. Konsy vd.'nin yapmış olduğu hesaplamalara göre, faz değiştiren malzemeleri yapı malzemeleri olarak kullanmanın ek maliyetinin, tek katlı bir çiftlik evi için yaklaşık 6 yılda geri ödeneceği ortaya çıkmış ve her yıl % 20'ye varan oranda enerji tasarrufu sağlayacağı hesaplanmıştır (Wang ve Liu, 2017).

Şekil 2.78'de yer alan bir diğer çalışmada ise malzeme; 120 m<sup>2</sup> alana sahip bir mekanda hesaplanmış, tüm tavanda metrekaare başına 3 kg faz değiştiren malzeme kullanılan tek katlı konutta faz değiştiren malzemelerin ısı emici performansı ile 350 saat tasarruf sağlandığı ortaya çıkmıştır. Ayrıca kabul edilen %5 enerji fiyat artışıyla sadece 8 yıl sonra geri ödeme sağlanacağı ve 15 yıl sonra ise 5000 € tasarruf edilebileceği sonuçlarına ulaşılmıştır (URL-90, 2017).



Şekil 2.78. FDM kullanımı ile geri ödeme süresi hesabı (URL-90, 2017).

Oliver vd., ağırlılığının %45'i faz değiştiren malzeme olan yeni bir alçı panel; kullanıma sunmuştur. 5 cm kalınlılığında olan ve faz değiştiren malzeme içeren alçı panelin, tuğla duvarla karşılaştırıldığında alçı panelin beş kat daha fazla ısı enerjisine, sıradan bir alçı panel ile karşılaştırıldığında ise birim kütle başına üç kat daha fazla enerjiye sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Şekil 2.79'da ise farklı sıcaklık aralıklarında faz değiştiren malzemeli alçı panel ile standart alçı panele ait sonuçlar verilmiştir (Wahid vd., 2017).



(a) 11°C-24°C arası ısı enerjisi değişimi

(b) 12°C-24°C arası ısı enerjisi değişimi

Şekil 2.79. Farklı sıcak aralıklarında faz değiştiren malzeme kullanımı (Wahid vd., 2017).

Literatürde yer alan ve Oak Ridge National Laboratory tarafından yapılan bir çalışmada geleneksel yapıdaki duvarların bünyesine % 10, % 20 ve % 30 oranlarında FDM'ler yerleştirilmiş ve termofiziksel özellikleri Tablo 2.66'da incelenmiştir (Konuklu, 2008).

Tablo 2.66. Yapı malzemesi içerisindeki FDM'lerin termofiziksel özellikleri (Konuklu, 2008).

Yapı Malzemesi	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Özgül Isı (kJ/kg K)	İletkenlik W/m K	Gizli ısı (kJ/kg)
Geleneksel	696	1089	0,173	0
%10 FDM	720	1215	0,187	19,3
% 16 FDM	760	1299	0,192	31,0
% 20 FDM	800	1341	0,204	38,9
% 30 FDM	998	1467	0,232	58,3

Yaz aylarında soğutma yükünün azaltılması ve aşırı ısınmanın engellenmesi amacıyla yapılan bir çalışmada sıva içerisine erime sıcaklığı 25 °C olan mikrokapsüllenmiş FDM eklenmiştir. 2002 yılında alınan ölçümlerde referans odasının sıcaklığı 50 saat boyunca 28 °C'nin üzerindeyken, FDM'li test odasının sıcaklığının sadece 5 saat boyunca 28 °C'nin üzerinde olduğu gözlemlenmiştir. Böylece aktif soğutma sistemine olan ihtiyaç azaltılmıştır (Kurt, 2012).

Faz değiştiren malzemeler genellikle yzey olarak beton, cam, tuğla, alminyum, sıva, membran, alçı panel yzeylere; yapı elemanı olarak ise döşeme, çatı ve duvara uygulanabilmektedir. Teknoloji olarak nanoteknoloji ve ekoloji ile ilişkili bir malzemedir.

#### 2.1.1.2.1.1. Uygulama Alanları

Faz değiştiren malzemelerin uygulama alanları özellik, konum ve yapı elemanına göre sınıflandırılarak Tablo 2.67’de verilmiştir.

Tablo 2.67. Faz değiştiren malzemelerin uygulama alanları (Sarı, 2017; Arslan, 2014; Konuklu, 2008)

ÖZELLİK	KONUM	YAPI ELEMANI	UYGULAMA ALANLARI
Enerji depolama	İç Mekan	Duvar, çatı ve döşeme	Binaların ısıtılması ve soğutulması, binalarda ısı yalıtımının sağlanması, sıcak su sağlama, sıcaklığın sabit tutulması amacıyla yapı malzemelerinde
	Dış Mekan	Duvar, çatı	Fotovoltaiklerin soğutulması
Özellikle enerji verimliliği sağlama amacıyla yapılarda tercih edilmektedir.			

Faz değiştiren malzemelerin uygulamaları şekil 2.80 ve 2.81’de görsellerle ifade edilmiştir.



şekil 2.80. FDM’lerin yapıda ısıtma ve soğutma amaçlı kullanılması (Sarı, 2017).





Şekil 2.81. FDM'lerin ısı yalıtım amaçlı kullanılması (Sarı, 2017).

### 2.1.1.2.1.2. Avantajları ve Dezavantajları

#### Avantajları

Faz değiştiren malzemelerin avantajları alt başlıklara indirgenerek analiz edilmiştir.

Faz değiştiren malzemeler;

- Binalarda ısı yalıtımını (kışın soğuktan yazın ise sıcaktan korunmayı) sağlarlar. Yapılan ısı yalıtımı ile yaşam konforu artmakta ve enerji tasarrufu sağlanmış olmaktadır.
- Isınma amaçlı kullanılan fosil yakıtlardan kaynaklanan emisyonlar azaltılarak hava kirliliğinin de önüne geçilmektedir.
- Soğutma amaçlı kullanılan elektrik tüketimi azaltılarak elektrik enerjisine duyulan ihtiyaç azalmaktadır (Arslan, 2014).
- Konvansiyonel ısıtma sistemleri ile karşılaştırıldığında faz değiştiren malzeme kullanımı ile enerji tüketiminde %35 oranında bir azalma elde edilmiştir (Konuklu ve Paksoy, 2011).
- Pazar imkanı vardır, fazla miktarda üretimi yapılabilir.
- Detayları basitleştiren geleneksel cam sistemleri ile birlikte kullanılabilir.
- Şarj durumunu gösterebilir (Ritter, 2007).
- Birim kütlesi veya birim hacmi başına ısı depolama kapasitesi duyulur ısı depolama maddelerine oranla daha yüksektir.
- Enerji depolama süresince faz değiştiren malzemelerin sıcaklığı hemen hemen sabit kaldığından “sabit sıcaklıkta enerji depolama ve geri kazanım uygulamaları” için oldukça uygundur (Aycan vd., 2018).

Faz değiştiren mikrokapsül;

- Gün ışığını geçirebilir ve uzun kullanım ömrüne sahiptir.
- Kullanım sıcaklığının oldukça üzerindeki sıcaklıklarda bozunmaz.

- Ek bir depolama kabı gerektirmediğinden düşük maliyetli, küçük hacimli ve hafif enerji depolama sistemlerinin tasarımına imkan verir (Sarı, 2011).
- Mikrokapsüllenmiş faz değiştiren malzemelerin yazın soğutma yüküne %5-10; kışın ısıtma yükünde % 10-20 arası katkı sağladığı belirlenmiştir.
- Mikrokapsüller sıvı materyallerin katı bir şekilde kullanılmasını sağlarlar ve faz değişimi sırasında gerçekleşecek hacim değişimine izin verir.
- Erime - donma hal değişimi sırasında fiziksel olarak değişim gözlenmemektedir (Konuklu ve Paksoy, 2011).

#### Dezavantajları

Faz değiştiren malzemelerin dezavantajları alt başlıklara indirgenerek analiz edilmiştir:

#### Faz değiştiren malzemeler;

- Tuz hidratları nemli bölgelerde binanın duvarları içerisinde akabilir. Buharlaşma ile havanın uçucu organik bileşimini sınır değerlerinin üstüne yükseltebilirler. Bu yüzden faz değiştiren maddeler bir kap, yani kendilerini saran bir mikro-kapsül içerisinde kullanılmalıdır (Konuklu ve Paksoy, 2011).
- Değişim maliyetleri, üretim, kurulum maliyeti nispeten yüksektir (Ritter, 2007).

#### Faz değiştiren mikrokapsül;

- Maliyeti yüksektir (Alay ve Alkan, 2018).

### 2.1.1.2.1.3. Yapı Elemanlarında Uygulanması

Faz değiştiren malzemenin uygulandığı 10 adet örnek, Tablo 2.67’de ve her bir örnek için analiz tabloları hazırlanarak ifade edilmiştir. Yapı elemanları dağılımına özen gösterilerek örneklem listesi çıkarılmış; analiz edilen örnekler, üretici firmaların internet sitelerine koydukları referans projelerden, literatürde yapılmış çalışmalardan seçilmiştir.

Tablo 2.68. Analizi yapılan örnek listesi

<b>Tablo No</b>	<b>Yapının Adı, Bulunduğu Ülke ve Malzemenin Uygulama Yılı</b>	<b>Uygulandığı Yapı Elemanı</b>	<b>Kullanılan Akıllı Malzeme</b>	<b>Kullanım Yeri</b>	<b>Yapının İşlevi</b>
Tablo 2.69.	Solar III İsviçre, 2000	Duvar	Faz Değiştiren Malzeme Katkılı Cam	Dış Ortam, Cephe	Konut
Tablo 2.70.	Alterswohnen İsviçre, 2004	Duvar	Faz Değiştiren Malzeme Katkılı Cam	Dış Ortam, Cephe	Konut
Tablo 2.71.	Eulachhof İsviçre, 2007	Duvar	Faz Değiştiren Malzeme Katkılı Cam	Dış Ortam, Cephe	Konut
Tablo 2.72.	Wohnüberbauung Silence İsviçre, 2010	Duvar	Faz Değiştiren Malzeme Katkılı Cam	Dış Ortam, Cephe	Konut
Tablo 2.73.	3 Liter House Almanya, 2001	Duvar	Faz Değiştiren Malzeme Katkılı Sıva	İç Ortam, Cephe	Konut
Tablo 2.74.	Badenova Binası Almanya, 2003	Duvar	Faz Değiştiren Malzeme Katkılı Sıva	İç Ortam, Cephe	Ofis Binası
Tablo 2.75.	Floating Pavilion Hollanda, 2010	Duvar	Faz Değiştiren Malzeme Katkılı Alçıpanel	İç Ortam, Cephe	Sergi Salonu
Tablo 2.76.	Cooper Hewitt National Design Müzesi, Smartwrap Pavilionu , 2003	Duvar	Faz Değiştiren Malzeme Katkılı Film	Dış Ortam, Cephe	Sergi Salonu
Tablo 2.77.	Wilo Nederland Sanayi Binası, 2009	Çatı	Faz Değiştiren Malzeme Katkılı Beton	Dış Ortam, Çatı	Ticari Bina
Tablo 2.78.	Ofis Binası, 2004	Döşeme	Faz değiştiren Malzeme Katkılı Sıva	İç Ortam, Döşeme	Ofis Binası

### 2.1.1.2.1.3.1. Duvar Yüzeyinde Kullanımı ile İlgili Örnekler

Tablo 2.69. Solar III analiz tablosu (URL-92, 2016)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>		
Yapının Adı	: Solar III	
Yapının Yeri	: Ebnat-Kappel CH/ İsviçre	
Yapı Yılı	: 2000	
Tasarım/Proje	: Dietrich Schwarz	
Yapının İşlevi	: Konut	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>		
Kullanılan Akıllı Malzeme	: Faz değiştiren malzeme katkılı cam	
Kullanıldığı Yer	: Dış ortam/Cephe	
Uygulandığı Yapı Elemanı	: Duvar	
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi	: Cam	
Kullanım Amacı	: Isı depolama özelliği ile yapının daha az enerji tüketmesini sağlamak	
<p>Bina prefabrike ahşap elemanlar kullanılarak inşa edilmiştir. Güney cephesi, parafin esaslı faz değiştiren malzemeler ile ısı depolama özelliğini kullanarak yapının daha az enerji tüketmesini sağlamaktadır. Proje 2001'de İsviçre Güneş Ödülü'nü kazanmıştır.</p>		

Tablo 2.70. Alterswohnen analiz tablosu (Orhon, 2012; Ritter, 2007; Orhon, 2013)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>		
Yapının Adı	: Alterswohnen	
Yapının Yeri	: Domat/Ems, İsviçre	
Yapı Yılı	: 2004	
Tasarım/Proje	: Dietrich Schwarz	
Yapının İşlevi	: Konut	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>		
Kullanılan Akıllı Malzeme	: Faz değıştiren malzeme katkılı cam	
Kullanıldığı Yer	: Dış ortam/Cephe	
Uygulandığı Yapı Elemanı	: Duvar	
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi	: Cam	
Kullanım Amacı	: Isı depolama özelliği ile yapının daha az enerji tüketmesini sağlamak	
<p>Güney cephede 148 m<sup>2</sup>'lik bir alanda 78 mm genişliğinde GlassXcrystal olarak adlandırılan bir cephe sistemi uygulanmıştır. Dıştaki prizmatik cam katmanı güneş ışınları 40° den büyük açıyla geldiğinde (yaz zamanı) yansıtacak, bu açının altına düştüğünde ise (kış zamanı) geçirecek şekilde tasarlanmıştır. Sistemin akıllı elemanı güneş radyasyonu ile gelen ısıyı depolamak üzere konulan ve FDM özelliği gösteren sulu tuz tabakasıdır. Malzemenin faz dönüşümü +27°C civarında başladığından iç mekan sıcaklığı bu değerin altına düştüğünde depoladığı ısıyı mekana vermeye başlar.</p>		

Tablo 2.71. Eulachhof analiz tablosu (URL-91, 2016)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>		
Yapının Adı	: Eulachhof	
Yapının Yeri	: Wintherthur/ İsviçre	
Yapı Yılı	: 2007	
Tasarım/Proje	: Dietrich Schwarz	
Yapının İşlevi	: Konut	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>		
Kullanılan Akıllı Malzeme	: Faz değiştiren malzeme katkılı cam	
Kullanıldığı Yer	: Dış ortam/Cephe	
Uygulandığı Yapı Elemanı	: Duvar	
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi	: Cam	
Kullanım Amacı	: Isı depolama özelliği ile yapının daha az enerji tüketmesini sağlamak	
<p>Proje endüstriyel bir arazide yeni bir mahalle geliştirmeyi hedeflemiştir. Projede yer alan iki binanın da güney cepheleri, sakinlerinin konfor gereksinimlerinden ve yaşam tarzlarından ödün vermeden enerji açısından optimize edilmiştir. Güney cephesinin yaklaşık %60'sı üçlü yalıtım cam ve faz değiştiren malzeme katkılı güneş camından oluşmaktadır. Güneş ışınları, cam ürünler içerisinde ısı olarak depolanır ve ardından odalarda ısı yayar. Proje 2007'de İsviçre Güneş Ödülü'nü (Swiss Solar Prize) kazanmıştır.</p>		

Tablo 2.72. Wohnüberbauung Silence analiz tablosu (URL-93, 2016)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>	
Yapının Adı :	Wohnüberbauung Silence
Yapının Yeri :	Neubausiedlung/ İsviçre
Yapı Yılı :	2010
Tasarım/Proje :	Dietrich Schwarz
Yapının İşlevi :	Konut
	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>	
Kullanılan Akıllı Malzeme :	Faz değıştiren malzeme katkılı cam
Kullanıldığı Yer :	Dış ortam/Cephe
Uygulandığı Yapı Elemanı :	Duvar
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Cam
Kullanım Amacı :	Isı depolama özelliği ile yapının daha az enerji tüketmesini sağlamak
<p>Dört adet ahşap binadan oluşan projede ekolojik malzemeler tercih edilmiştir. Güney cephesinde FDM özellikli cam kullanılmıştır. Prix Lignum 2012 ödülünü kazanmıştır. Mİnergie-P-ECO enerji standardındadır.</p>	
	
	

Tablo 2.73. 3 Liter House analiz tablosu (Ritter, 2007; URL-95, 2017)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>			
Yapının Adı	: 3 Liter House		
Yapının Yeri	: Ludwigshafen/ Almanya		
Yapı Yılı	: 2001		
Tasarım/Proje	: BASF Bauen + Wohnen, Luwoge		
Yapının İşlevi	: Konut		
			
		<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>	
		Kullanılan Akıllı Malzeme	: Faz değiştiren malzeme katkılı sıva
		Kullanıldığı Yer	: İç ortam/Cephe
		Uygulandığı Yapı Elemanı	: Duvar
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi	: Alçı panel		
Kullanım Amacı	: Isı depolama özelliği ile yapının daha az enerji tüketmesini sağlamak		
<p>900 m<sup>2</sup> alanlı projede iç duvarlarda FDM katkılı alçı sıva kullanılmıştır. Bir dönüşüm projesi olarak başlatılan çalışmada dönüşüm öncesi 25 litre yakıt tüketimi gerçekleşirken dönüşüm sonrası hedef 7 litre iken yıllık 3 litre yakıt tüketimi gerçekleşmiştir. Isı gereksinimi, yalıtım elemanları, kontrollü havalandırma sistemleri ve üçlü camların kullanımı ile yaklaşık %80 azalma ile 30 kWh/ m<sup>2</sup>a'a düşürülmüştür.</p>			



Tablo 2.74. Badenova Binası analiz tablosu (Konuklu ve Paksoy, 2011; URL-94,2017; De Haan, 2017; Schossig, 2017)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>	
Yapının Adı :	Badenova Binası
Yapının Yeri :	Offenburg/ Almanya
Yapı Yılı :	2003
Tasarım/Proje :	Lehmann
Yapının İşlevi :	Ofis Binası
	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>	
Kullanılan Akıllı Malzeme :	Faz değıştiren malzeme katkılı sıva
Kullanıldığı Yer :	İç ortam/Cephe
Uygulandığı Yapı Elemanı :	Duvar
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Alçı panel
Kullanım Amacı :	Isı depolama özelliği ile yapının daha az enerji tüketmesini sağlamak
<p>1200 m<sup>2</sup> faz değıştiren malzeme iç duvar yüzeyinde kullanılmıştır. Binanın işletme maliyeti konvansiyonel klima sistemine göre daha düşüktür.</p>	
	

Tablo 2.75. Floating Pavilion analiz tablosu (De Haan, 2017; Van Dinther, 2017; URL 96, 97 ve 98, 2017)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>		
Yapının Adı	: Floating Pavilion	
Yapının Yeri	: Rotterdam/ Hollanda	
Yapı Yılı	: 2010	
Tasarım/Proje	: Deltasync ve Public Domain Architects	
Yapının İşlevi	: Sergi Salonu	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>		
Kullanılan Akıllı Malzeme	: Faz değiştiren malzeme katkılı alçı panel	
Kullanıldığı Yer	: İç ortam/Cephe	
Uygulandığı Yapı Elemanı	: Duvar	
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi	: Metal	
Kullanım Amacı	: Isı depolama özelliği ile yapının daha az enerji tüketmesini sağlamak	
<p>Yapı, her biri 12 m yüksekliğinde 18.5, 20 ve 24 m çapında birbirine bağlı üç yarım küreden oluşmaktadır. Pavilion büyük ölçüde kendi enerji ihtiyacını karşılayacak düzeydedir. Faz değiştiren malzemeler en küçük kubbe olan oditoryumda duvar yüzeyinde kullanılmıştır. Faz değiştiren malzemelerin işlevi doluluk oranları değişiminin neden olduğu hızla değişen ısı yükünden dolayı tercih edilmiştir.</p>		

Tablo 2.76. Cooper Hewitt National Design Müzesi, Smartwrap Pavilion analiz tablosu  
(Ritter, 2007; Tokuç ve Taşçı, 2014)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>	
Yapının Adı :	Cooper Hewitt National Design Müzesi, Smartwrap Pavilionu
Yapının Yeri :	New York/ ABD
Yapı Yılı :	2003
Tasarım/Proje :	Kieran Timberlake Associates
Yapının İşlevi :	Sergi Salonu
	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>	
Kullanılan Akıllı Malzeme :	Faz değiştiren malzeme katkılı film
Kullanıldığı Yer :	Dış ortam/Cephe
Uygulandığı Yapı Elemanı :	Duvar
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Metal
Kullanım Amacı :	Isı depolama özelliği ile yapının daha az enerji tüketmesini sağlamak
<p>İki katmanlı kaplama sistemi olan akıllı kabuk uygulamasında katmanlar saydam ve elastik PET'ten (polietilen tereftalat) üretilmektedir. Dış katman üzerine baskı ya da haddeleme yöntemiyle gereksinim duyulan özelliklere sahip farklı malzemeler uygulanabilmektedir. İki katman arasında yer alan hava tabakası ısı yalıtıcı görevini yerine getirmekte, iç katman ise ısı yalıtıcı arojel ve faz değişimi ile gizli ısı depolayan malzemelerden (FDM) oluşmaktadır.</p>	
	

### 2.1.1.2.1.3.2. Çatı Yüzeyinde Kullanımı ile İlgili Örnek

Tablo 2.77. Wilo Netherland Sanayi Binası analiz tablosu (URL 99 ve 100, 2017)

YAPIYA AİT BİLGİLER		
Yapının Adı	: Wilo Netherland Sanayi Binası	
Yapının Yeri	: Zaanstad/ Almanya	
Yapı Yılı	: 2009	
Tasarım/Proje	: Benthem Crouwel Architects	
Yapının İşlevi	: Ticari Bina	
MALZEMEYE AİT BİLGİLER		
Kullanılan Akıllı Malzeme	: Faz değiştiren malzeme katkılı beton	
Kullanıldığı Yer	: Dış ortam/Çatı	
Uygulandığı Yapı Elemanı	: Çatı	
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi	: Metal	
Kullanım Amacı	: Isı depolama özelliği ile yapının daha az enerji tüketmesini sağlamak	
<p>1330 m<sup>2</sup> ve 2 katlı olan bina yaklaşık 20 m yüksekliğindedir. Çelik çatı profillerinden oluşan çatıda çelik levhalardan oluşan kanallar parafin mumu esaslı faz değiştiren malzeme katkılı beton ile doldurulmuştur. Karışım içine gömülü borular soğutma ve gerekirse düşük sıcaklıkta ısıtma sağlamaktadır. Yapıda çelik çatı içerisinde bulunan faz değiştiren malzeme, iç mekanın çok hızlı ısınmasını veya aşırı ısınmasını önlemektedir. Faz değiştiren malzeme çatı yapısının kütlelerinin %4'ünü oluşturmaktadır.</p>		

### 2.1.1.2.1.3.3. Döşeme Yüzeyinde Kullanımı ile İlgili Örnek

Tablo 2.78. Ofis Binası analiz tablosu (URL 101,102 ve 103, 2017)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>		
Yapının Adı	: Ofis Binası	
Yapının Yeri	: Berlin/ Almanya	
Yapı/Restorasyon Yılı/	: 1921 /2004	
Tasarım/Proje	: -	
Yapının İşlevi	: Ofis Binası	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>		
Kullanılan Akıllı Malzeme	: Faz değiştiren malzeme katkılı sıva	
Kullanıldığı Yer	: İç ortam/Döşeme	
Uygulandığı Yapı Elemanı	: Döşeme	
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi	: Beton	
Kullanım Amacı	: Isı depolama özelliği ile yapının daha az enerji tüketmesini sağlamak	
<p>8 kattan oluşan yapıda 5. ve 6. katta yapılan yenileme ile tavanlarda 7 ton faz değiştiren malzemeli sıva kullanılmıştır. 5. ve 6. katta 4 cm kalınlığında ve 40 kg/ m<sup>2</sup> şeklinde uygulanan faz değiştiren malzemeli sıvanın yapıya etkisi test edilmiştir. Faz değiştiren malzemeli sıva kullanılan mekan ve 3. katta geleneksel sıva kullanılan mekan arasında yüksek soğutma yüküne sahip zamanlarda büro odalarında iç hava sıcaklığına belirgin bir pozitif etki yarattığı gözlenmiş ve 2004 yaz sonunda uygulanan test ile mekanda 2K sıcaklığa kadar düşüş gözlemlenmiştir.</p>		

### 2.1.1.2.2. Elektrik Üreten Akıllı Malzemeler

Elektrik üreten akıllı malzemeler, ısı veya gerilme gibi uyarıcı etkisi ile elektrik üretebilen malzemelerdir. Piezoelektrik ve piroelektrik malzemeler, elektrik üreten akıllı malzemeler grubundandır.

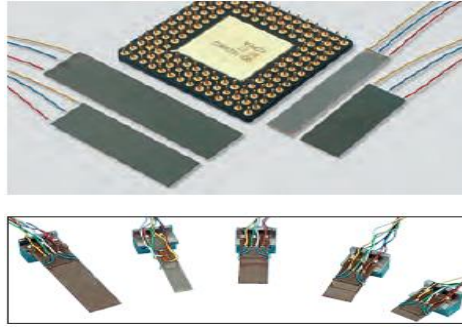
#### 2.1.1.2.2.1. Piezoelektrik Malzemeler

Latince “bastırmak-press” anlamına gelen “piezo” ön ekinden türetilen “piezoelektrik” kavramı basitçe, üzerine mekanik bir basınç uygulanan bazı kristal ve seramik malzemelerde bir elektriksel gerilimin oluşması olarak tanımlanabilir (Türker, 2009).

Piezoelektrik özellik bazı malzemelere uygulanan mekanik basınç sonucunda, malzemenin elektrik alma ya da elektrik potansiyel değiştirme yeteneğidir (Aslan, 2016). Piezoelektrik malzemeler ise elektrik sinyallerini harekete veya hareketi elektrik sinyallerine dönüştüren malzemelerdir (Ergun vd. 2006).

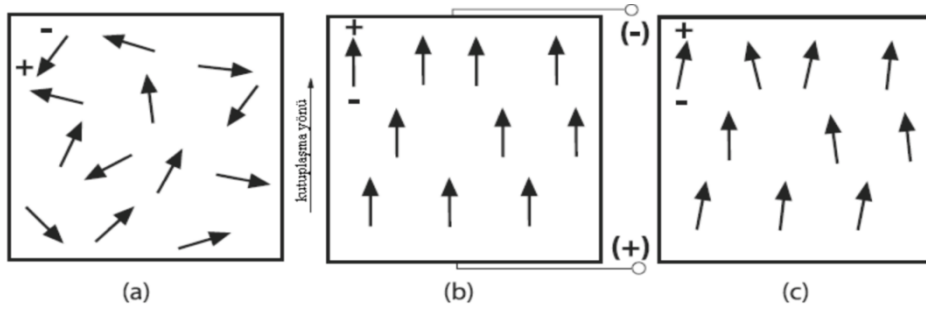
Günümüzde piezoelektrik olarak adlandırılan özellik, ilk olarak yüzyıllar öncesinde turmalin kristali olarak bilinen farklı renkleri bulunan şeffaf taşlarda fark edilmiş ve bu özelliğin fark edilmesinden sonra birçok bilim adamı bu konuda çalışma yapmıştır (Bayar, 2007). ‘Piezoelektrik etki’ kavramı ilk kez Fransız mineralog René Just Haüy (1817) tarafından anılmış, 1880 yılında ise Pierre ve Jacques Curie kardeşlerin bazı kristallerin piezoelektrik etkiye sahip olabileceği, yaptıkları çalışmalar sonucu bilimsel olarak kanıtlanmış ve uygulanan basınçla orantılı bir voltaj üreten sıkıştırılmış bazı kristal malzemelerin bir yüzünden diğer yüzüne bir voltaj uygulanarak malzemenin şeklinde bir değişiklik olduğu gözlemlenmiştir (Bayar, 2007; Yazıcı vd., 2004). 1916 yılında piezoelektrik malzemenin kullanıldığı ilk mühendislik uygulama, Fransa’da Paul Langev’in, denizaltıların yerinin belirlenmesinde kullanılmak üzere sualtında ultrasonik dalga üretebilecek piezoelektrik quartz ve çelik levhalardan sandviç şeklinde yaptığı cihaz olmuştur. II. Dünya Savaşı sırasında, sadece Amerika Birleşik Devletleri’nde 50 milyonun üzerinde piezoelektrik kristal kullanıldığı tahmin edilmektedir (Ergun vd. 2006). 1980’li yıllarda piezoelektrik malzemelerle, eyleyici ve algılayıcı maksadı ile kullanılarak, ses ve titreşim kontrolü yapılabileceği kanıtlanmıştır ve bu alanda çalışmalar günümüzde de devam etmektedir (Kurt, 2010).

Genellikle ticari amaçlarla elde edilmek istenen piezoelektrik malzemelerin üretimi, yüksek şiddette elektrik alana maruz bırakılan malzemeye yüksek sıcaklık uygulaması ile mümkündür (Sevgi, 2009). Şekil 2.82’de piezoelektrik malzeme devresi görsellerle ifade edilmiştir.



Şekil 2.82. Piezoelektrik malzeme devresi (Ritter, 2007).

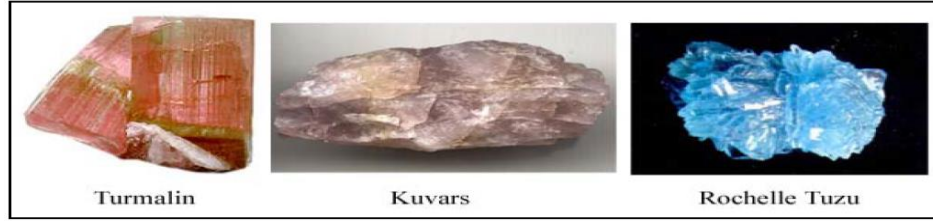
Kutuplanma adı verilen bu işlem ile istenen yönde piezoelektrik özelliğe sahip malzemeler elde edilebilmektedir (Sevgi, 2009). Şekil 2.83’te elektrik alan etkisi öncesi, sonrası ve elektrik alan etkisi altında durumu verilmiştir.



a) Serbest durum, b) Elektrik alan etkisi altında c) Elektrik alan kaldırıldıktan sonra

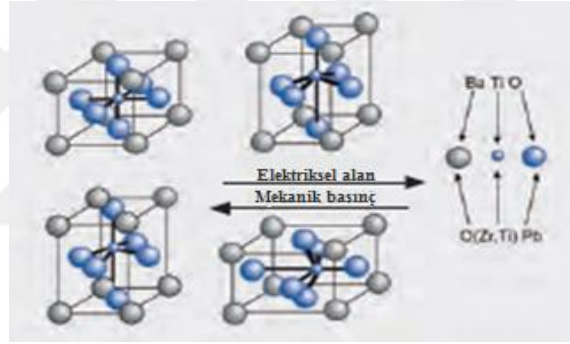
Şekil 2.83. Kutuplanma süreci (Sevgi, 2009).

Çoğunlukla kristalli katı yapıda bulunan piezoelektrik malzemeler, tek kristalli ve çok kristalli olarak iki gruba ayrılmaktadır. Tek kristalli katılar doğada bulunmasının yanında yapay olarak elde edilebilmekte iken, çok kristalli yapılar piezoelektrik özelliği sonradan kazandırılan malzemelerdir. Tek kristalli malzemelere doğada turmalin, kuvarz, topaz ve Rochelle tuzu gibi malzemeler örnek verilebilir (Şekil 2.84) (Sevgi, 2009).



Şekil 2.84. Doğal piezoelektrik malzemeler (Günaydın, 2007).

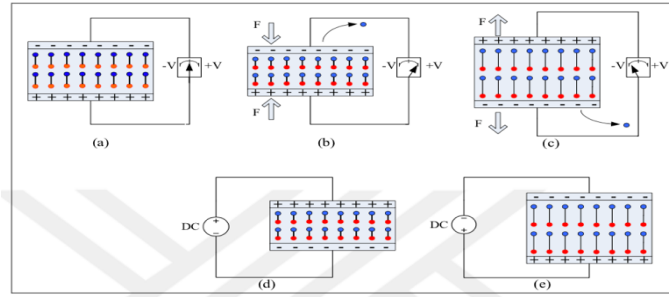
Ticari olarak yaygın olarak kullanılan piezoelektrik malzemelere örnek olarak çok kristalli yapıdaki seramik esaslı PZT (kurşun zirkonat titanat) ,  $BaTiO_3$  (baryum titanat) ve yarı kristalli yapıdaki PVDF (polivinilidinden florid) verilebilir (Ritter, 2007; Sevgi, 2009). Şekil 2.85’te, PZT (kurşun zirkonat titanat) ,  $BaTiO_3$  (baryum titanat)’ın şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.85. Piezoelektrik malzemelerin şematik gösterimi (Ritter, 2007).

Katı maddeler yüklü parçacıklardan oluşur. Bu pozitif ve negatif yüklü parçacıklar madde içerisinde denge halinde olup elektriksel olarak yüksüzdür. Ancak; mekanik bir yolla malzeme üzerinde bir kuvvet uygulandığında maddedeki artı yüklerin merkezi ile eksi yüklerin merkezi birbirinden uzaklaşır ve maddenin karşılıklı yüzeylerinde zıt yüklerin ortaya çıkmasına neden olur. Yüklerin bu şekilde ayrılması bir elektrik alanı meydana getirir ve maddenin karşılıklı yüzeyleri arasında ölçülebilir bir potansiyel fark oluşturur. Piezoelektrik etkiyi ifade eden sürecin tersi de geçerlidir. Şekil 2.86’da mekaniksel basınç ve gerilme sonucu doğrudan piezoelektrik ve ters piezoelektrik olaylarında meydana gelen elektron hareketi verilmektedir (Aydın, 2016; Demir, 2017).

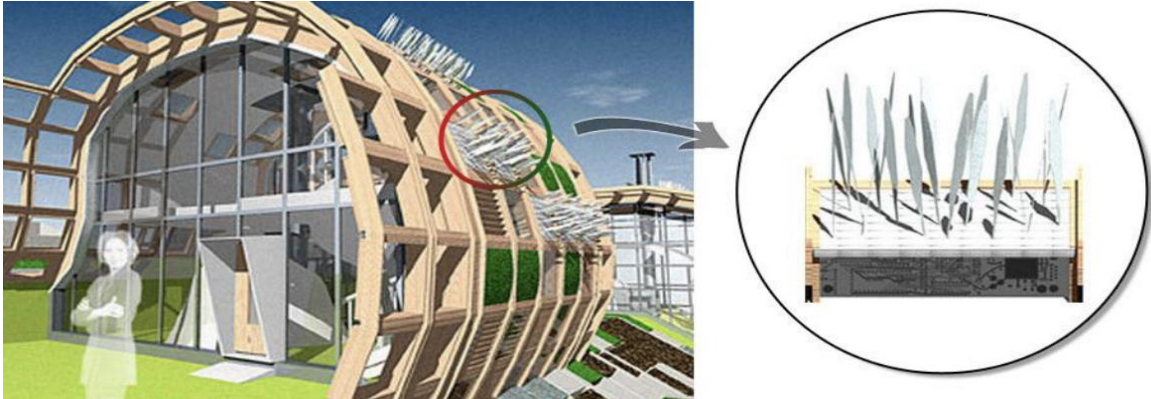




a) dışarıdan hiçbir etkiye maruz bırakılmamış piezoelektrik malzemenin elektron dizilimi b) sıkıştırma neticesinde doğrudan piezoelektrik etki altındaki elektron hareketi ve enerji üretimi c) gerilme neticesinde doğrudan piezoelektrik etki altındaki malzemenin elektron hareketi ve enerji üretimi d) ve e) piezoelektrik malzemeye uygulanan gerilim neticesinde malzemede oluşan ters piezoelektrik etki ve mekaniksel şekil değişiklikleri

Şekil 2.86. Kutuplanmış piezoelektrik malzemenin piezoelektrik ve ters piezoelektrik olaylarındaki elektron hareketi (Demir, 2017).

Piezoelektrik malzemelerin mimaride uygulanmasına yönelik araştırmalar devam etmektedir. MATscape projesinde (Mitchell Joachim, 2005) yapı kabuğuna piezoelektrik malzemeli tüy şeklinde elektrik üreticilerinin (rüzgâr tüyleri) konması önerilmiştir (Orhon, 2012). Bu tüyler rüzgârla hareket ettikçe yapısında bulunan piezoelektrik malzeme, mekanik enerjisi elektrik enerjisine çevirerek elektrik üretecektir (Şekil 2.87) (Orhon, 2013).



Şekil 2.87. MATscape projesinde yapı kabuğunda kullanımı önerilen elektrik üretici rüzgâr tüyleri (Orhon, 2013).

Piezoelektrik malzemeler genellikle yüzey olarak beton, seramik, plastik yüzeylere, yapı elemanı olarak ise döşeme, çatı ve duvara uygulanabilmektedir. Tasarlanmış bir malzeme olmasından dolayı teknoloji olarak nanoteknoloji, yapıda enerji tüketimini azaltması sebebiyle ekoloji ile ilişkili bir malzemedir.

### 2.1.1.2.2.1.1. Uygulama Alanları

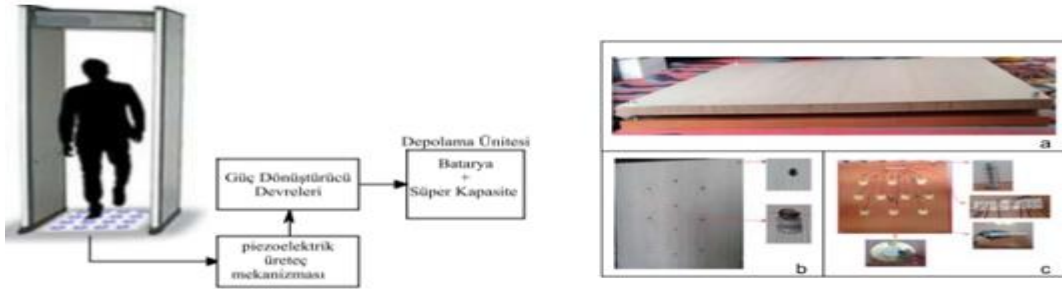
Piezo elektrik malzemelerin uygulama alanları özellik, konum ve yapı elemanına göre sınıflandırılarak Tablo 2.79’da verilmiştir.

Tablo 2.79. Piezo elektrik malzemelerin uygulama alanları (Ritter, 2007; Türker, 2009; Sevgi, 2009; Ergun vd., 2006; URL-83, 2016)

ÖZELLİK	KONUM	YAPI ELEMANI	UYGULAMA ALANLARI
Mekanik basınç etkisi ile elektrik üretmek	İç Mekan	Duvar, çatı ve döşeme	Ses kesici akıllı kaplama Akustik dalgaölçer, sensör, aktuatör, jeneratör Katmanlı kompozit yapılarda titreşim ve şekil kontrolü, çatlak tespiti Ev güvenliği, sigorta
	Dış Mekan	Döşeme	Zeminde enerji üretimi

Özellikle başta titreşim kontrolü olmak üzere sensör ve aktuatör olarak kullanılmaktadır.

Piezo elektrik malzemelerin uygulamaları Şekil 2.88 ve 2.89’da görsellerle ifade edilmiştir.

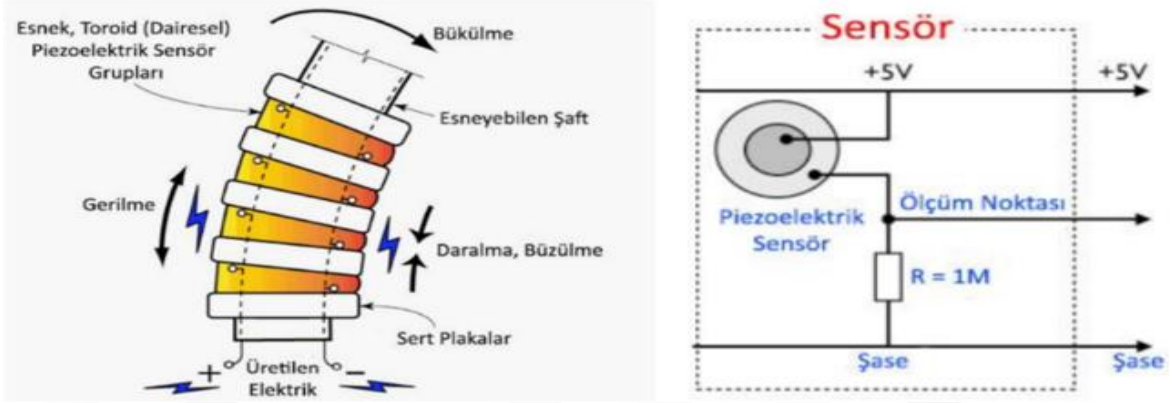


Şekil 2.88. Piezo elektrik malzemenin zeminde uygulanması (Aslan vd., 2016).



Şekil 2.89. Piezo elektrik malzemenin zeminde uygulanması (URL-114, 2019).

Brezilya Rio de Janeiro’da bir saha zemininde piezoelektrik malzeme uygulanmıştır. Oyuncu hareketleri sonucunda üretilen enerji gece ışıklandırma amacıyla kullanılmaktadır.



Şekil 2.90. Piezoelektrik malzemenin jeneratör ve sensör olarak kullanımı (URL-104, 2018).

#### 2.1.1.2.2.1.2. Avantajları ve Dezavantajları

##### Avantajları

Piezoelektrik malzemelerin avantajları alt başlıklara indirgenerek analiz edilmiştir.

Piezoelektrik malzemeler;

- Çalışma koşulları geniş bir sıcaklık aralığını ve ani ve şiddetli darbe ve titreşimleri kapsar (Ergun vd., 2006).

- Uygun yapısal özelliklere ve kontrol edilebilir sapma/saptırma/eğilme davranışına sahiptir (Büyükçerçi vd., 2007).

- Sürekli, istikrarlı ve uzun soluklu temiz enerji sağlar (Aslan, 2016).

- Kolay şekillendirilebilme, yüksek mekanik dayanım özelliğindedir.

- Esnek, hafif, düşük yoğunluğa sahiptir (Korkmaz, 2015).

Piezoseramik malzemeler;

- Yüksek frekans ve yüksek elektrik alan gerektiren uygulamalar için uygundur (Korkmaz, 2015).

- Birim değişikliklere karşı hassastır, kolaylıkla ölçülebilen elektrik sinyali verir, herhangi bir dış güç kaynağına ihtiyaç göstermez (Yaman, 1999).

- Hızlı cevap verir ve düşük enerji kullanılır (Bayar, 2007).

- Hem sensör hem de aktuatör olarak kullanılabilir (Abacı, 2018).

Piezoelektrik sensör;

- Uygun tasarlanmış endüstriyel bir piezoelektrik sensör; kirli, yağlı ve kimyasal ortamlar gibi çok ağır ve kötü koşullarda başarı ile kullanılabilir (Ergun vd., 2006).
- Doğrudan piezoelektrik etki ile voltaj üretme yeteneğine sahiptir.
- Az yer kaplamaları, kullanıma hazır olarak bulunması, kolay yapıştırılabilirliği ve gerekli devrelerin makul sinyal koşullarına sahip olması, piezoelektrik sensör ve aktuatör sistemleri diğer sistemlere göre avantajlı kılar (Kaçar, 2009).

#### Dezavantajları

Piezoelektrik malzemelerin dezavantajları, alt başlıklara indirgenerek analiz edilmiştir.

#### Piezoelektrik malzemeler;

- Statik uygulamalar için uygun değildir (Korkmaz, 2015).

#### Piezoseramik malzemeler;

- Elektromanyetik etkileşim sorunları vardır ve eğer kompozitlere gömülürlerse elektriksel koruma gereklidir (Yaman, 1999).

#### Piezoelektrik aktüatör;

- Piezoelektrik aktüatörlerin hassas kontrolü oldukça zordur (Yannier ve Sabanovic, 2007).

### 2.1.1.2.2.1.3. Yapı Elemanlarında Uygulanması

Piezoelektrik malzemenin strüktürel olarak uygulandığı 1 adet örnek, Tablo 2.80 ve Tablo 2.81 ile ifade edilmiştir. Mimaride yaygın tercih edilmemesinden dolayı malzemenin literatürde kullanım örnekleri kısıtlıdır.

Tablo 2.80. Analizi yapılan örnek listesi

Tablo No	Yapının Adı, Bulunduğu Ülke ve Malzemenin Uygulama Yılı	Uygulandığı Yapı Elemanı	Kullanılan Akıllı Malzeme	Kullanım Yeri	Yapının İşlevi
Tablo 2.81.	Gateshead Millennium Köprüsü İngiltere, 2001	-	Piezoelektrik Boya	Dış Ortam, Yapı Kabuğu	Ulaşım

### 2.1.1.2.2.1.3.1. Strüktürel Kullanımı ile İlgili Örnek

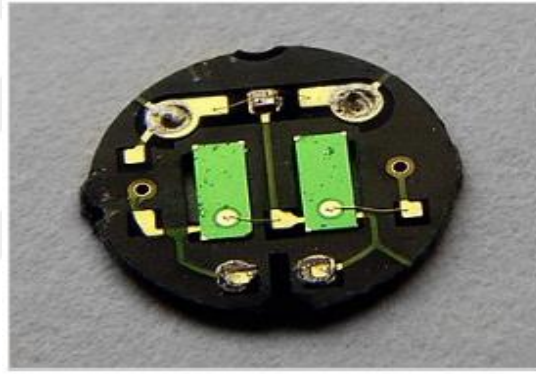
Tablo 2.81. Gateshead Millennium Köprüsü analiz tablosu (URL 105 ve 106, 2018)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>	
Yapının Adı :	Gateshead Millennium Köprüsü
Yapının Yeri :	Newcastle, İngiltere
Yapım Yılı :	2001
Tasarım/Proje :	Wilkinson Eye Architects
Yapının İşlevi :	Köprü
	
<b>MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>	
Kullanılan Akıllı Malzeme :	Piezoelektrik boya
Kullanıldığı Yer :	Dış ortam/Yapı kabuğu
Uygulandığı Yapı Elemanı :	-
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Metal
Kullanım Amacı :	Titreşim kontrolü ile yapının strüktürel davranışını izlemek
91 m uzunlukta 43 m yükseklikte olan Gateshead Millennium Köprüsü'nde yapının strüktürel davranışı izlemek amacıyla piezoelektrik boya kullanılmıştır.	

### 2.1.1.2.2. Piroelektrik Malzemeler

Sıcaklık anlamına gelen pyro ve electric kelimelerinden türetilen piroelektrik terimi, bazı maddelerin ısıtılması ile elektrik üretmesi anlamına gelmektedir. Isı uygulanması sonucu elektrik üreten malzemeler ise piroelektrik malzemeler olarak tanımlanmaktadır (URL-107, 2018).

Bazı malzemelere ısı uygulandığında pozitif ve negatif yükler malzemenin zıt uçlarına doğru hareket ederler. Malzemenin ısıtılmaya devam etmesi sonucunda statik elektrik oluşması piroelektrik etki olarak tanımlanmaktadır. Bu özellikten yararlanılarak çeşitli aygıtlardan elektrik akımı elde edilebilmektedir (URL-108, 2017). Şekil 2.91’de piroelektrik malzeme ile oluşturulmuş devre görselle ifade edilmiştir.

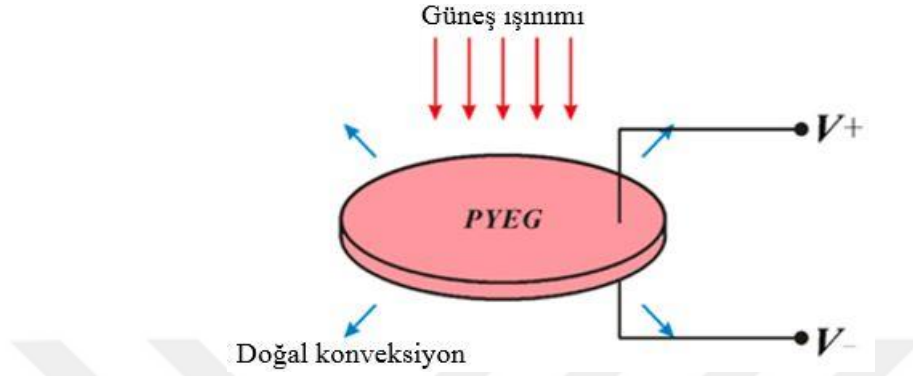


Şekil 2.91. Piroelektrik malzeme devresi (URL-107, 2018).

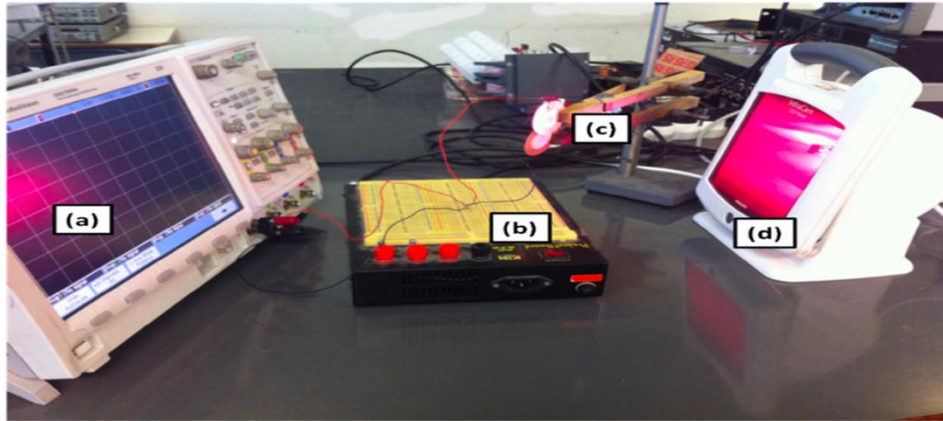
Yaygın olarak kullanılan piroelektrik malzemeler kuvars, turmalin, triglisin sülfat, PVDF (polivinilidin florid) ve kurşun zirkonattır (Yazıcı vd., 2004; Abacı, 2018).

M.Ö. 4. yüzyılda Theophrastus, turmalinin ısıtıldığında saman liflerini ve külü kendisine çektiğini yazarak bilmeden ilk piroelektrik malzemeyi tanımlamıştır (Orhon, 2012). Piroelektrik etki, 18.yy ortalarında Carl Linnaeus ve Franz Aepinus tarafından çalışılmıştır (URL-109, 2018). 1824 yılında Brewster çeşitli türdeki kristallerin etkisini gözlemlemiş ve ‘Piroelektrik’ terimini bulmuştur. Lord Kelvin piroelektriğin sürekli kutuplamaya dayandığını kaydetmiştir (Doğrukol, 2002). Çok eski tarihlerden beri bilinen piroelektrik etkiyi nicel olarak karakterize edebilmek için 18. ve 19. yüzyıllarda çok sayıda deney yapılmıştır (Erdinç, 2006).

Malzemeye ısı uygulanması sonucu elektrik potansiyeli oluşturan piroelektrik malzemelerin çalışma prensibi ve sıcaklık etkisi ile elektrik üretimi Şekil 2.92 ve Şekil 2.93'te görsellerle ifade edilmiştir.

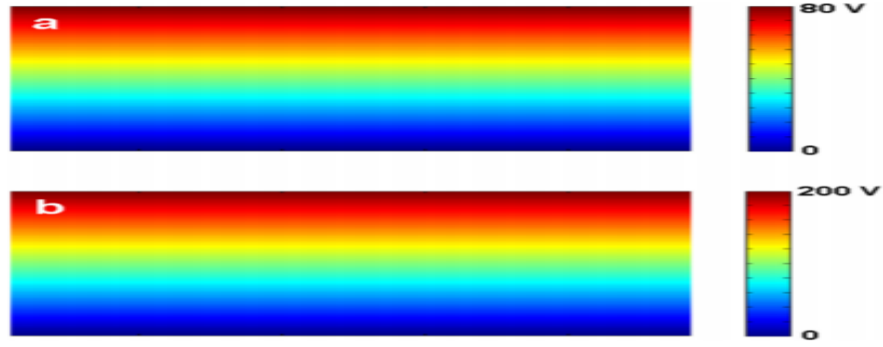


Şekil 2.92. Piroelektrik malzeme çalışma prensibi (Zhang, 2011).



Şekil 2.93. Sıcaklık etkisi ile piroelektrik malzemenin elektrik üretimi (El Fathani vd., 2016).

Piroelektrik malzemelerin aktif hale gelebilmesi için ana etken sıcaklıktır. Şekil 2.94'te farklı sıcaklık aralığında piroelektrik malzemenin ürettiği elektrik miktarları karşılaştırılmıştır. 20K sıcaklıkta malzeme 80V elektrik üretmişken, 50K sıcaklıkta 200V elektrik üretmiştir (Zhang vd., 2016).



(a) Piroelektrik malzemenin 20 K'de üretmiş olduğu elektrik  
 (b) Piroelektrik malzemenin 50 K'de üretmiş olduğu elektrik

Şekil 2.94. Piroelektrik malzemelerin farklı sıcaklıklarda üretmiş olduğu elektrik miktarları (Zhang vd., 2016).

Piroelektrik malzemelerin çeşitli şekillerde kullanımı mevcuttur. Kullanımı geçmiş yıllara dayanan ve ısıya maruz kaldığında elektrik yükü üreten turmalin bu özelliği sayesinde 18 ve 19. yy'da bacalardan çıkan toz ve kül parçacıklarının temizlenmesinde kullanılmıştır. Bacadan çıkan ısı sayesinde turmalinin yüzeyinde elektrik yükü oluşmakta ve ince tanecikleri üzerinde toplamaktadır (Yazıcı vd., 2004).

Doğu Karadeniz Bölgesi jeolojik yönden kayaçları zengin olduğu kadar maden yatakları açısından da oldukça zengindir. Araştırmalar sonucunda Şebinkarahisar-Asarcık'ta yapılan araştırmalar sonucunda turmalin varlığı belirlenmiştir (Yazıcı vd., 2004).



Şekil 2.95. Turmalin kristali (URL-110, 2019).

Piroelektrik malzemeler genellikle yüzey olarak plastik yüzeylere, yapı elemanı olarak ise döşeme, çatı ve duvara uygulanabilmektedir. Teknoloji olarak nanoteknoloji, yapıda enerji tüketimini azaltması sebebiyle ekoloji ile ilişkili bir malzemedir.



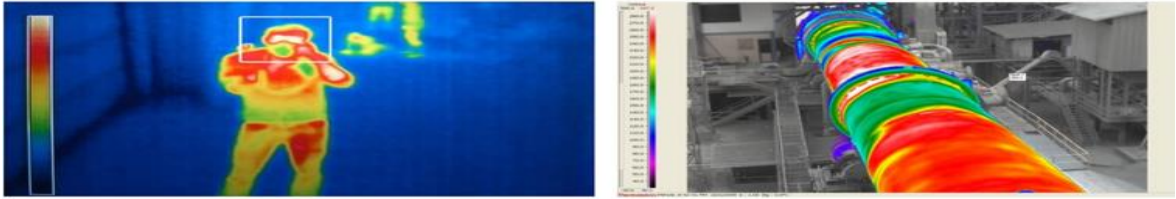
### 2.1.1.2.2.2.1. Uygulama Alanları

Piroelektrik malzemelerin uygulama alanları özellik, konum ve yapı elemanına göre sınıflandırılarak Tablo 2.82’de verilmiştir.

Tablo 2.82. Piroelektrik malzemelerin uygulama alanları (Zhang vd., 2016; Yavaş, 2016)

ÖZELLİK	KONUM	YAPI ELEMANI	UYGULAMA ALANLARI
Isı etkisi ile elektrik üretmek	İç Mekan	Duvar, çatı ve döşeme	Hırsız ve yangın alarmı Kendi kendine çalışan termometre LCD veya ticari LED’i aydınlatmak için güç kaynağı Termal sensör
Özellikle sensör olarak kullanılmaktadır.			

Piroelektrik malzemelerin termal sensör olarak kullanımı Şekil 2.96’da görsellerle ifade edilmiştir.



Şekil 2.96. Termal sensör olarak kullanımı (Yavaş, 2016).

Termal sensörlerin içerisinde yer alan piroelektrik malzeme yayılan ısıyı absorbe (soğurma) ederek yapısına alır ve bir elektrik tepkisi gösterir. İnşaat sektöründe de kullanılan termal sensörler binalardaki ısı kayıplarının tespitini yapmaktadır ve bu sayede izolasyon yapılacak yerler belli olmaktadır (Yavaş, 2016).

### 2.1.1.2.2.2.2. Avantajları ve Dezavantajları

#### Avantajları

Piroelektrik malzemelerin avantajları alt başlıklara indirgenerek analiz edilmiştir.

Piroelektrik malzeme;

- Uzun süre kullanılabilir (URL-111, 2018).

Piroelektrik sensörler;

- Ucuz, kolay kullanımlı ve kolay bulunabilir olduklarından dolayı uygulamalarda tercih edilmektedir (Soyer, 2006).

Dezavantajları

Piroelektrik malzeme;

- Verimli çalışması için yüksek sıcaklık gerekmektedir (URL-111, 2018).

### **2.1.1.3. Madde Alışverişi Yapan Akıllı Malzemeler**

Madde alışverişi yapan akıllı malzemeler, tersinir özellikte olup maddeleri içine alıp moleküler formda, çeşitli gazlar veya katı ve sıvı bileşenler olarak serbest bırakabilen malzemelerdir (Ritter, 2007).

#### **2.1.1.3.1. Gaz/Su Depolayan Akıllı Malzemeler**

Gaz/su depolayan akıllı malzemeler, hava gibi başka bir ortamla temas yoluyla veya sıcaklık artışı gibi uyarıcılar ile aktif hale gelerek emilim yapabilir veya depolanan malzemeyi geri çıkarabilir. İşlemin sürecine bağlı olarak; hacim, yoğunluk, optik özelliklerini ve/veya enerji durumlarını tersine çevirebilir (Ritter, 2007).

##### **2.1.1.3.1.1. Mineral Emilimi Yapan Akıllı Malzemeler**

Mineral adsorbanlar (MAd), iç yüzeylerine gaz komponentlerini alıp sonuç olarak hacimlerini, yoğunluklarını, optik özelliklerini ve / veya enerji durumlarını tersine çevirebilen bir sıvı veya katı faza sahip malzemeler veya bileşenlerdir. Buna karşın, mineral emiciler (MAb), iç yüzeylerinde sıvı bileşenleri hacimlerine alabilen ve gerektiğinde viskozitesini tersine çevirebilen bir sıvı veya katı faza sahip malzeme veya bileşenlerdir (Ritter, 2007).

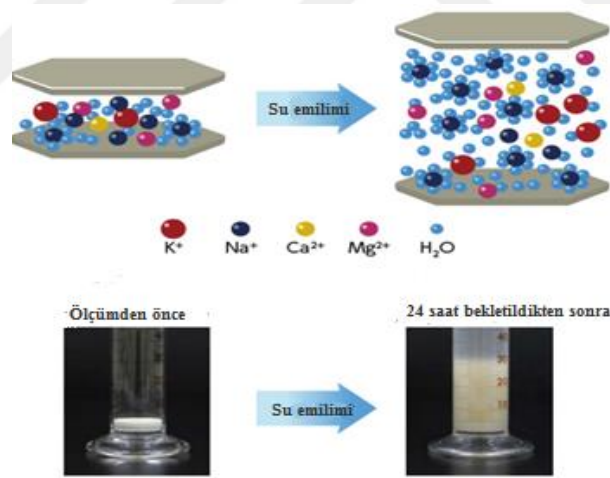
Mineral emili yapan akıllı malzemeler grubunda bentonit yaygın olarak kullanılmaktadır. Bentonit, ticari anlamda suyla temasa geçince şişebilen, asitle aktiflendirilebilen, geniş yüzey alanı gösteren bir kil mineralidir (Şekil 2.97) (Başbuğ, 2008). İlk defa 1888 yılında ABD’de Fort Benton yakınlarında bulunmuş ve 1898 yılında Knight

tarafından bu isimle adlandırılmıştır (Hancıoğlu, 2015). Bentonit 1987 yılından itibaren yalıtım amaçlı kullanılmaktadır (Ritter, 2007).



Şekil 2.97. Bentonit minerali (Ritter, 2007).

Bentonitler için en önemli ayırt edici özellik bünyelerinde su tutabilmeleridir. Bentonitin bünyesine fiziksel su alması sonucu kristal yapısı genişlemektedir. Ham bentonit su ile teması geçtiğinde en az beş misli şişebiliyorsa ticari bakımdan iyi bir bentonit olarak kabul edilir (Koçyiğit, 2014). Bentonitin su ile teması sonucu yapısında oluşan değişim Şekil 2.98’de görsellerle ifade edilmiştir.



Şekil 2.98. Bentonitin su ile teması sonucu yapısında oluşan değişim (URL- 51, 2018)

Bentonitler sızdırmazlık özellikte olup mimaride neme karşı önlem amaçlı kullanılmaktadır. Ayrıca günümüzde mineral emilimi yapan akustik alçı panoların üretimi yapılmaktadır. Gürültü emici özellikte de kullanılabilen bu malzemeler, koku ve kirlilik yayan maddeleri bağlayarak ve parçalarak hava kalitesini de arttırmaktadır (Şekil 2.99) (Ritter, 2007).



Şekil 2.99. Bentonitin mimaride kullanımı (Ritter, 2007)

Türkiye oldukça geniş yataklarına sahip bir ülkedir. Ülkemizde 1960'lı yıllardan bu yana bentonit tüketimi artış göstermiştir. Yataklar ağırlıklı olarak Marmara, Orta Karadeniz ve Orta Anadolu bölgelerinde bulunur (Koçyiğit, 2014).

Mineral emilimi yapan akıllı malzemeler genellikle yüzey olarak plastik ve alçı yüzeylere, yapı elemanı olarak ise döşeme, çatı ve duvara uygulanabilmektedir. Teknoloji olarak nanoteknoloji ile ilişkili bir malzemedir.

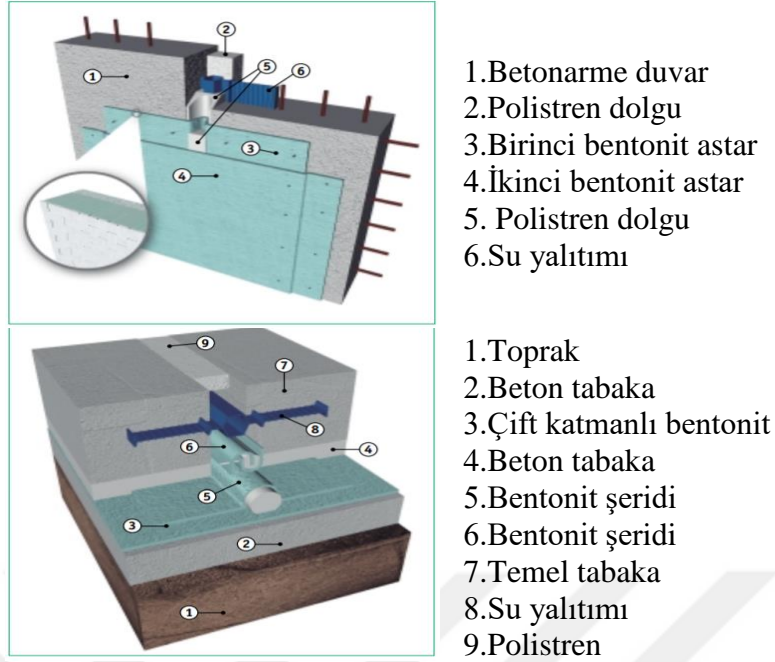
#### 2.1.1.3.1.1.1. Uygulama Alanları

Mineral emilimi yapan akıllı malzemelerin uygulama alanları özellik, konum ve yapı elemanına göre sınıflandırılarak Tablo 2.83'te verilmiştir.

Tablo 2.83. Mineral emilimi yapan akıllı malzemelerin uygulama alanları (Ritter, 2007)

ÖZELLİK	KONUM	YAPI ELEMANI	UYGULAMA ALANLARI
Uyarıcı etkisi ile mineral emilimi gerçekleştirmek	İç mekan	Duvar, çatı ve döşeme	Akustik alçı pano
	Dış mekan	Duvar, çatı ve döşeme	Bodrum duvarları, binalar, temeller arası derzler Otoyol, tünel, dolgu inşaatları Binalarda su yalıtımı
Binalarda ısı yalıtımı, müzelerde ise özellikle nem yalıtımı amacıyla kullanılmaktadır.			

Mineral emilimi yapan akıllı malzemelerin uygulamaları Şekil 2.100'de görsellerle ifade edilmiştir.



Şekil 2.100. Bentonitin duvarda ve derzde yalıtım amaçlı kullanımı (URL-50, 2018).

### 2.1.1.3.1.1.2. Avantajları ve Dezavantajları

#### Avantajları

Mineral emilimi yapan akıllı malzemelerin avantajları alt başlıklara indirgenerek analiz edilmiştir.

Mineral emilimi yapan akıllı malzemeler;

- Pazarı mevcuttur. Uygulanması kolaydır (Ritter, 2007).

Bentonit;

• Suya karşı oldukça hassastır, kolay çözünüp dağılır ve hacimce büyük ölçüde genişleyebilir (Erdem, 2004).

- Alçıda, donma süresini kısaltıcı madde olarak yararlanılır (Kaya vd., 2015).

- Nem alma özelliği ve ucuz olması nedeniyle tercih edilir (Chimeddorj, 2007).

• Kolay şişer, dış yüzeyi ile katmanlar arası moleküllerin iyon değişimi hızlıdır (Abak, 2016).

- İnce taneli ve gözenekli yapıya sahiptir.

- Su emilimi olduğunda yüksek biçimlenme özelliğine sahiptir (Kasim, 2016).

#### Dezavantajları

Mineral emilimi yapan akıllı malzemelerin dezavantajları alt başlıklara indirgenerek analiz edilmiştir.

Mineral emilimi yapan akıllı malzemeler;

- Boyutsal olarak her uygulamayı karşılamayabilir (Ritter, 2007).

Bentonit;

- Bütıl membrana göre uygulamak daha zordur (URL-113, 2018).
- Geçirgenliği az olduğundan donma dayanımı düşüktür (Avcı, 2009).

### 2.1.1.3.1.1.3. Yapı Elemanlarında Uygulanması

Mineral emilimi yapan malzemenin uygulandığı 1 adet örnek, Tablo 2.84 ve Tablo 2.85 ile ifade edilmiştir. Mimaride yaygın tercih edilmemesinden dolayı malzemenin literatürde kullanım örnekleri kısıtlıdır.

Tablo 2.84. Analizi yapılan örnek listesi

Tablo No	Yapının Adı, Bulunduğu Ülke ve Malzemenin Uygulama Yılı	Uygulandığı Yapı Elemanı	Kullanılan Akıllı Malzeme	Kullanım Yeri	Yapının İşlevi
Tablo 2.85.	The Factory Almanya 2005	Çatı	Mineral Eğilimi Yapan Alçıpanel	İç Ortam, Çatı	Fabrika

### 2.1.1.3.1.1.3.1. Çatı Yüzeyinde Kullanımı ile İlgili Örnek



Tablo 2.85. The Factory analiz tablosu (Ritter, 2007)

<b>YAPIYA AİT BİLGİLER</b>	
Yapının Adı :	The Factory
Yapının Yeri :	Cottbus, Almanya
Yapım Yılı :	2005
Tasarım/Proje :	Marco Duchow, Alexander Duchow
Yapının İşlevi :	Fabrika
	
<b>KULLANILAN AKILLI MALZEMEYE AİT BİLGİLER</b>	
Kullanılan Akıllı Malzeme :	Mineral eğilimi yapan alçıpanel
Kullanıldığı Yer :	İç ortam/Çatı
Uygulandığı Yapı Elemanı :	Çatı
Uygulandığı/Bünyesine Katıldığı Yüzey Malzemesi :	Metal
Kullanım Amacı :	Gürültü emilimi, hava temizleme
Mineral emilimi yapan malzeme içeren alçıpanelin kullanıldığı yapıda akustik olarak iyileştirme yapıldığı ve sigara dumanı, egzoz dumanı gibi kirleticilerin etkisinin düşürüldüğü gözlemlenmiştir.	
	

## 2.2. Çalışma Kapsamında İncelenen Örneklerin Listesi





Çalışma kapsamında analiz edilen örnekler özellik değiştiren, enerji alışverişi yapan ve madde alışverişi yapan malzemeler başlıkları altında incelenmiş olup söz konusu malzemeler; uygulandığı yapı elemanı, kullanım yeri, yapının işlevi, türü, yapının adı, bulunduğu ülke, malzemenin uygulama yılı ve yapının görseli şeklinde sınıflandırılmış ve Tablo 2.85 ile liste şeklinde sunulmuştur.

Tablo 2.86. Tez kapsamında analiz yapılan örnek listesi






<b>ÖZELLİK DEĞİŞTİREN AKILLI MALZEMELERİN KULLANILDIĞI ÖRNEKLER</b>							
<b>RENK VE OPTİK ÖZELLİKLERİNİ DEĞİŞTİREN AKILLI MALZEMELERİN KULLANILDIĞI ÖRNEKLER</b>							
<b>Elektrokromik Malzemelerin Kullanıldığı Örnekler</b>							
<b>Kullanılan Akıllı Malzeme</b>	<b>Uygulandığı Yapı Elemanı</b>	<b>Kullanım Yeri</b>	<b>Yapının İşlevi</b>	<b>Yapının Türü</b>	<b>Yapının Adı, Bulunduğu Ülke ve Malzemenin Uygulama Yılı</b>	<b>Yapının Görseli</b>	<b>Detaylı Bilgi</b>
Elektrokromik Cam	Duvar	Dış Ortam, Cephe	Okul	Kamusal	Miami Üniversitesi Frost Müzik Okulu ABD, 2003		Tablo 2.6
Elektrokromik Cam	Duvar	Dış Ortam, Cephe	Okul	Kamusal	Chabot Koleji ABD, 2012		Tablo 2.7
Elektrokromik Cam	Duvar	Dış Ortam, Cephe	Hastane	Kamusal	Butler County Sağlık Merkezi ABD, 2013		Tablo 2.8
Elektrokromik Cam	Duvar	Dış Ortam, Cephe	Müze	Kamusal	Bilim Müzesi ABD, 2014		Tablo 2.9
Elektrokromik Cam	Çatı	Dış Ortam, Çatı	Sergi Salonu	Kamusal	CERN Bilim ve Yenilik Küresi İsviçre 2004		Tablo 2.10







Tablo 2.86'nın devamı

<b>Elektrokromik Malzemelerin Kullanıldığı Örnekler</b>							
<b>Kullanılan Akıllı Malzeme</b>	<b>Uygulandığı Yapı Elemanı</b>	<b>Kullanım Yeri</b>	<b>Yapının İşlevi</b>	<b>Yapının Türü</b>	<b>Yapının Adı, Bulunduğu Ülke ve Malzemenin Uygulama Yılı</b>	<b>Yapının Görseli</b>	<b>Detaylı Bilgi</b>
Elektrokromik Cam	Çatı	Dış Ortam, Çatı	Okul	Kamusal	Ball State University/Dehority Hall ABD 2010		Tablo 2.11
Elektrokromik Cam	Çatı	Dış Ortam, Çatı	Sanat Galerisi	Kamusal	St. Johnsbury Athenaeum ABD 2011		Tablo 2.12
Elektrokromik Cam	Çatı	Dış Ortam, Çatı	Alışveriş Merkezi	Kamusal	America Alışveriş Merkezi ABD 2015		Tablo 2.13
<b>Fotokromik Malzemelerin Kullanıldığı Örnekler</b>							
<b>Kullanılan Akıllı Malzeme</b>	<b>Uygulandığı Yapı Elemanı</b>	<b>Kullanım Yeri</b>	<b>Yapının İşlevi</b>	<b>Yapının Türü</b>	<b>Yapının Adı, Bulunduğu Ülke ve Malzemenin Uygulama Yılı</b>	<b>Yapının Görseli</b>	<b>Detaylı Bilgi</b>
Fotokromik Boya	-	Dış Ortam	Strüktür	Kamusal	OR <sup>2</sup> İngiltere 2012		Tablo 2.17

Tablo 2.86'nın devamı

<b>Termokromik Malzemelerin Kullanıldığı Örnekler</b>							
<b>Kullanılan Akıllı Malzeme</b>	<b>Uygulandığı Yapı Elemanı</b>	<b>Kullanım Yeri</b>	<b>Yapının İşlevi</b>	<b>Yapının Türü</b>	<b>Yapının Adı, Bulunduğu Ülke ve Malzemenin Uygulama Yılı</b>	<b>Yapının Görseli</b>	<b>Detaylı Bilgi</b>
Termokromik Boya	Duvar	İç Ortam, Cephe	Müze	Kamusal	Modern Sanat Müzesi Fransa 1988		Tablo 2.21
Termokromik Boya	Duvar	İç Ortam, Cephe	Sergi Salonu	Kamusal	Magnusmüller Galerisi Almanya 2015		Tablo 2.22
Termokromik Cam	Duvar	Dış Ortam, Cephe	Konut	Özel	Rehau Ecosmart Evi ABD 2011		Tablo 2.23
Termokromik Cam	Duvar	Dış Ortam, Cephe	Ofis Binası	Kamusal	Glasswork PTY LTD Ofis Binası ABD 2012		Tablo 2.24
Termokromik Cam	Duvar	Dış Ortam, Cephe	Ofis Binası	Kamusal	BIG Dutchman Merkezi ABD 2014		Tablo 2.25






Tablo 2.86'nın devamı

<b>Termokromik Malzemelerin Kullanıldığı Örnekler</b>							
<b>Kullanılan Akıllı Malzeme</b>	<b>Uygulandığı Yapı Elemanı</b>	<b>Kullanım Yeri</b>	<b>Yapının İşlevi</b>	<b>Yapının Türü</b>	<b>Yapının Adı, Bulunduğu Ülke ve Malzemenin Uygulama Yılı</b>	<b>Yapının Görseli</b>	<b>Detaylı Bilgi</b>
Termokromik Cam	Duvar	Dış Ortam, Cephe	Gösteri Merkezi	Kamusal	Hope Koleji Jack H. Miller Müzik Sanatları Merkezi ABD 2015		Tablo 2.26
Termokromik Boya	Döşeme	İç Ortam, Döşeme	Sergi Salonu	Kamusal	Tate Galeri İngiltere 2004		Tablo 2.27
Termokromik Cam	Çatı	Dış Ortam, Çatı	Alışveriş Merkezi	Kamusal	Atrium Facility Alışveriş Merkezi Polonya 2013		Tablo 2.28
Termokromik Boya	-	Dış Ortam	Heykel	Kamusal	Dünya (The Earth) Japonya 1987		Tablo 2.29






Tablo 2.86'nın devamı

<b>ADEZYON DEĞİŞTİREN AKILLI MALZEMELERİN KULLANILDIĞI ÖRNEKLER</b>							
<b>Fotokatalitik Malzemelerin Kullanıldığı Örnekler</b>							
<b>Kullanılan Akıllı Malzeme</b>	<b>Uygulandığı Yapı Elemanı</b>	<b>Kullanım Yeri</b>	<b>Yapının İşlevi</b>	<b>Yapının Türü</b>	<b>Yapının Adı, Bulunduğu Ülke ve Malzemenin Uygulama Yılı</b>	<b>Yapının Görseli</b>	<b>Detaylı Bilgi</b>
TiO <sub>2</sub> Nanoparçacık Katkılı Beton	Duvar	Dış Ortam, Cephe	Gösteri Merkezi	Kamusal	Müzik ve Güzel Sanatlar Merkezi Fransa 2000		Tablo 2.34
TiO <sub>2</sub> Nanoparçacık Katkılı Beton	Duvar	Dış Ortam, Cephe/Yapı Kabuğu	Dini Yapı/ Kilise	Kamusal	Jübile Kilisesi İtalya 2003		Tablo 2.35
TiO <sub>2</sub> Nanoparçacık Katkılı Beton	Duvar	Dış Ortam, Cephe	Ofis Binası	Kamusal	Air France Yönetim Binası Fransa 2006		Tablo 2.36
TiO <sub>2</sub> Nanoparçacık Katkılı Beton	Duvar	Dış Ortam, Cephe	Banka	Kamusal	Bank HQ İtalya 2009		Tablo 2.37
TiO <sub>2</sub> Nanoparçacık Katkılı Beton	Duvar	Dış Ortam, Cephe	Ofis Binası	Kamusal	Vodafone Village İtalya 2012		Tablo 2.38






Tablo 2.86'nın devamı

<b>Fotokatalitik Malzemelerin Kullanıldığı Örnekler</b>							
<b>Kullanılan Akıllı Malzeme</b>	<b>Uygulandığı Yapı Elemanı</b>	<b>Kullanım Yeri</b>	<b>Yapının İşlevi</b>	<b>Yapının Türü</b>	<b>Yapının Adı, Bulunduğu Ülke ve Malzemenin Uygulama Yılı</b>	<b>Yapının Görseli</b>	<b>Detaylı Bilgi</b>
TiO <sub>2</sub> Nanoparçacık Katkılı Beton	Duvar	Dış Ortam, Cephe	Sergi Salonu	Kamusal	Expo 2015 İtalyan Pavilion İtalya 2015		Tablo 2.39
6 mm TiO <sub>2</sub> Kaplamalı Cam + Güneş Kontrol Cam	Duvar	Dış Ortam, Cephe	Stadyum	Kamusal	MSV Arena Stadyumu Almanya 2004		Tablo 2.40
6 mm TiO <sub>2</sub> Kaplamalı Cam + Güneş Kontrol Cam	Duvar	Dış Ortam, Cephe	Hastane	Kamusal	Helen De Vos Çocuk Hastanesi ABD 2004		Tablo 2.41
12 mm Kalınlıkta TiO <sub>2</sub> Kaplamalı Cam + Lamine Cam	Duvar	Dış Ortam, Cephe	Restoran	Kamusal	AKT-am Kaiser's Turm Almanya 2006		Tablo 2.42
TiO <sub>2</sub> Nanoparçacık Katkılı Boya	Duvar	Dış Ortam, Cephe	Konut	Özel	Kurakuen Evi Japonya 2005		Tablo 2.43






Tablo 2.86'nın devamı

<b>Fotokatalitik Malzemelerin Kullanıldığı Örnekler</b>							
<b>Kullanılan Akıllı Malzeme</b>	<b>Uygulandığı Yapı Elemanı</b>	<b>Kullanım Yeri</b>	<b>Yapının İşlevi</b>	<b>Yapının Türü</b>	<b>Yapının Adı, Bulunduğu Ülke ve Malzemenin Uygulama Yılı</b>	<b>Yapının Görseli</b>	<b>Detaylı Bilgi</b>
TiO <sub>2</sub> Nanoparçacık Katkılı Sıva	Duvar	Dış Ortam, Cephe	Dini Yapı/ Kilise	Kamusal	Lesu Kilisesi İspanya 2011		Tablo 2.44
TiO <sub>2</sub> Nanoparçacık Katkılı Sıva	Duvar	Dış Ortam, Cephe	Konut	Özel	Magnet Yerleşim Merkezi Arnavutluk 2014		Tablo 2.45
TiO <sub>2</sub> Nanoparçacık Katkılı Seramik	Duvar	Dış Ortam, Cephe	Müze	Kamusal	Muhammad Ali Center MAC Louisville ABD 2005		Tablo 2.46
TiO <sub>2</sub> Nanoparçacık Katkılı Seramik	Duvar	Dış Ortam, Cephe	Konut	Özel	Monte Verde Kulesi Avusturya 2010		Tablo 2.47
TiO <sub>2</sub> Nanoparçacık Katkılı Alüminyum Panel	Duvar	Dış Ortam, Cephe	Okul	Kamusal	Bertram ve Judith Kohl Binası ABD 2010		Tablo 2.48

Tablo 2.86'nın devamı




<b>Fotokatalitik Malzemelerin Kullanıldığı Örnekler</b>							
<b>Kullanılan Akıllı Malzeme</b>	<b>Uygulandığı Yapı Elemanı</b>	<b>Kullanım Yeri</b>	<b>Yapının İşlevi</b>	<b>Yapının Türü</b>	<b>Yapının Adı, Bulunduğu Ülke ve Malzemenin Uygulama Yılı</b>	<b>Yapının Görseli</b>	<b>Detaylı Bilgi</b>
TiO <sub>2</sub> Nanoparçacık Katkılı Plastik Panel	Duvar	Dış Ortam, Cephe	Hastane	Kamusal	Manuel Gea Gonzalez Hastanesi Meksika 2010		Tablo 2.49
TiO <sub>2</sub> kaplamalı membran	Çatı	Dış Ortam, Cephe/ Yapı Kabuğu	Havalimanı	Kamusal	Narita Uluslararası Havalimanı 1.Terminal Japonya 2006		Tablo 2.50
TiO <sub>2</sub> kaplamalı membran	Çatı	Dış Ortam, Cephe/ Yapı Kabuğu	Yarış Pisti	Kamusal	YAS Marina Pisti Birleşik Arap Emirlikleri 2009		Tablo 2.51
TiO <sub>2</sub> kaplamalı membran	Çatı	Dış Ortam, Cephe/ Yapı Kabuğu	Stadyum	Kamusal	Dallas Cowboys Stadyumu ABD 2009		Tablo 2.52
TiO <sub>2</sub> kaplamalı membran	Çatı	Dış Ortam, Cephe/ Yapı Kabuğu	Müze	Kamusal	Centre Pompidou-Metz Fransa 2010		Tablo 2.53

Tablo 2.86'nın devamı






<b>Fotokatalitik Malzemelerin Kullanıldığı Örnekler</b>							
<b>Kullanılan Akıllı Malzeme</b>	<b>Uygulandığı Yapı Elemanı</b>	<b>Kullanım Yeri</b>	<b>Yapının İşlevi</b>	<b>Yapının Türü</b>	<b>Yapının Adı, Bulunduğu Ülke ve Malzemenin Uygulama Yılı</b>	<b>Yapının Görseli</b>	<b>Detaylı Bilgi</b>
TiO <sub>2</sub> kaplamalı membran	Çatı	Dış Ortam, Çatı	Stadyum	Kamusal	Brasilia Stadyumu Brezilya 2013		Tablo 2.54
TiO <sub>2</sub> kaplamalı membran	Çatı	Dış Ortam, Çatı	Stadyum	Kamusal	Medikal Park Arena Türkiye 2016		Tablo 2.55
TiO <sub>2</sub> Kaplamalı Cam+Lamine cam	Çatı	Dış Ortam, Cephe	Otel	Kamusal	East Otel Almanya 2005		Tablo 2.56
TiO <sub>2</sub> Nanoparçacık Katkılı Beton	Çatı	Dış Ortam, Cephe/ Yapı Kabuğu	Araştırma Merkezi	Kamusal	Italcementi Araştırma İnovasyon Merkezi İtalya 2012		Tablo 2.57
TiO <sub>2</sub> Nanoparçacık katkılı Beton	Döşeme	Dış Ortam	Ulaşım	Kamusal	Adams-Sangamon Parkı ABD 2010		Tablo 2.58








Tablo 2.86'nın devamı

<b>Fotokatalitik Malzemelerin Kullanıldığı Örnekler</b>							
<b>Kullanılan Akıllı Malzeme</b>	<b>Uygulandığı Yapı Elemanı</b>	<b>Kullanım Yeri</b>	<b>Yapının İşlevi</b>	<b>Yapının Türü</b>	<b>Yapının Adı, Bulunduğu Ülke ve Malzemenin Uygulama Yılı</b>	<b>Yapının Görseli</b>	<b>Detaylı Bilgi</b>
TiO <sub>2</sub> Nanoparçacık katkılı Beton	Döşeme	Dış Ortam	Ulaşım	Kamusal	Yürüyüş Yolu Japonya 2010		Tablo 2.59
<b>ŞEKİL DEĞİŞTİREN AKILLI MALZEMELERİN KULLANILDIĞI ÖRNEKLER</b>							
<b>Şekil Hafızalı Alaşımların Kullanıldığı Örnekler</b>							
<b>Kullanılan Akıllı Malzeme</b>	<b>Uygulandığı Yapı Elemanı</b>	<b>Kullanım Yeri</b>	<b>Yapının İşlevi</b>	<b>Yapının Türü</b>	<b>Yapının Adı, Bulunduğu Ülke ve Malzemenin Uygulama Yılı</b>	<b>Yapının Görseli</b>	<b>Detaylı Bilgi</b>
Şekil Hafızalı Alaşım	Döşeme	İç Ortam, Döşeme	Ticari Bina	Kamusal	Dowa Kasai Phoenix Tower Japonya 1995		Tablo 2.62
Şekil Hafızalı Alaşım	Çatı	Dış Ortam, Çatı	Dini Yapı/ Bazilika	Kamusal	San Francesco Bazilikası İtalya 1997		Tablo 2.63
Şekil Hafızalı Alaşım- Termobimetal	-	Dış Ortam, Cephe	Strüktür	Kamusal	Bloom ABD 2011		Tablo 2.64

Tablo 2.86'nın devamı

<b>ENERJİ ALIŞVERİŞİ YAPAN AKILLI MALZEMELERİN KULLANILDIĞI ÖRNEKLER</b>							
<b>FAZ DEĞİŞTİREN AKILLI MALZEMELERİN KULLANILDIĞI ÖRNEKLER</b>							
<b>Faz Değiştiren Malzemelerin Kullanıldığı Örnekler</b>							
<b>Kullanılan Akıllı Malzeme</b>	<b>Uygulandığı Yapı Elemanı</b>	<b>Kullanım Yeri</b>	<b>Yapının İşlevi</b>	<b>Yapının Türü</b>	<b>Yapının Adı, Bulunduğu Ülke ve Malzemenin Uygulama Yılı</b>	<b>Yapının Görseli</b>	<b>Detaylı Bilgi</b>
Faz Değiştiren Malzeme Katkılı Cam	Duvar	Dış Ortam, Cephe	Konut	Özel	Solar III İsviçre 2000		Tablo 2.69
Faz Değiştiren Malzeme Katkılı Cam	Duvar	Dış Ortam, Cephe	Konut	Özel	Alterswohnen İsviçre 2004		Tablo 2.70
Faz Değiştiren Malzeme Katkılı Cam	Duvar	Dış Ortam, Cephe	Konut	Özel	Eulachhof İsviçre 2007		Tablo 2.71
Faz Değiştiren Malzeme Katkılı Cam	Duvar	Dış Ortam, Cephe	Konut	Özel	Wohnüberbauung Silence İsviçre 2010		Tablo 2.72
Faz Değiştiren Malzeme Katkılı Sıva	Duvar	İç Ortam, Cephe	Konut	Özel	3 Liter House Almanya 2001		Tablo 2.73

Tablo 2.86'nın devamı

<b>Faz Değiştiren Malzemelerin Kullanıldığı Örnekler</b>							
<b>Kullanılan Akıllı Malzeme</b>	<b>Uygulandığı Yapı Elemanı</b>	<b>Kullanım Yeri</b>	<b>Yapının İşlevi</b>	<b>Yapının Türü</b>	<b>Yapının Adı, Bulunduğu Ülke ve Malzemenin Uygulama Yılı</b>	<b>Yapının Görseli</b>	<b>Detaylı Bilgi</b>
Faz Değiştiren Malzeme Katkılı Sıva	Duvar	İç Ortam, Cephe	Ofis Binası	Kamusal	Badenova Binası Almanya 2003		Tablo 2.74
Faz Değiştiren Malzeme Katkılı Alçıpan	Duvar	İç Ortam, Cephe	Sergi Salonu	Kamusal	Floating Pavilion Hollanda 2010		Tablo 2.75
Faz Değiştiren Malzeme Katkılı Film	Duvar	Dış Ortam, Cephe	Sergi Salonu	Kamusal	Smartwrap Pavilion ABD 2003		Tablo 2.76
Faz Değiştiren Malzeme Katkılı Beton	Çatı	Dış Ortam, Çatı	Ticari Bina	Kamusal	Wilo Nederland Sanayi Binası Almanya 2009		Tablo 2.77
Faz Değiştiren Malzeme Katkılı Sıva	Döşeme	İç Ortam, Döşeme	Ofis Binası	Kamusal	Ofis Binası Almanya 2004		Tablo 2.78

Tablo 2.86'nın devamı

<b>ELEKTRİK ÜRETEN AKILLI MALZEMELERİN KULLANILDIĞI ÖRNEKLER</b>							
<b>Piezoelektrik Malzemelerin Kullanıldığı Örnekler</b>							
<b>Kullanılan Akıllı Malzeme</b>	<b>Uygulandığı Yapı Elemanı</b>	<b>Kullanım Yeri</b>	<b>Yapının İşlevi</b>	<b>Yapının Türü</b>	<b>Yapının Adı, Bulunduğu Ülke ve Malzemenin Uygulama Yılı</b>	<b>Yapının Görseli</b>	<b>Detaylı Bilgi</b>
Piezoelektrik Boya	-	Dış Ortam, Yapı Kabuğu	Ulaşım	Kamusal	Gateshead Millennium Köprüsü İngiltere 2001		Tablo 2.81
<b>MADDE ALIŞVERİŞİ YAPAN AKILLI MALZEMELERİN KULLANILDIĞI ÖRNEKLER</b>							
<b>GAZ VE SU DEPOLAYAN AKILLI MALZEMELERİN KULLANILDIĞI ÖRNEKLER</b>							
<b>Mineral Emilimi Yapan Malzemelerin Kullanıldığı Örnekler</b>							
<b>Kullanılan Akıllı Malzeme</b>	<b>Uygulandığı Yapı Elemanı</b>	<b>Kullanım Yeri</b>	<b>Yapının İşlevi</b>	<b>Yapının Türü</b>	<b>Yapının Adı, Bulunduğu Ülke ve Malzemenin Uygulama Yılı</b>	<b>Yapının Görseli</b>	<b>Detaylı Bilgi</b>
Mineral Emilimi Yapan Alçıpanel	Çatı	İç Ortam, Çatı	Fabrika	Kamusal	The Factory Almanya 2005		Tablo 2.85

### 3. BULGULAR VE İRDELEME

21.yy’da kullanım alanı giderek genişleyen akıllı malzemelerin mimaride kullanım olanakları tez kapsamında analiz edilmiştir. ‘Yapılan Çalışmalar’ bölümünde incelenen ve analizi gerçekleştirilen 59 adet örneğe ‘ait bulgulara yer verilmiş ve elde edilen bulgular irdelenmiştir.

Bulgular ve irdellemeler;

1. Malzeme özelinde yapılan bulgular ve irdeme,

2. Genel bulgular ve irdeme,

olmak üzere iki başlık olarak incelenmiştir.

Malzeme özelinde yapılan bulgular ve irdeme bölümünde her malzeme ile ilgili elde edilen veriler tablo ile ifade edilmiştir. Genel bulgular ve irdeme bölümünde ise tez kapsamında ele alınan malzemeler ile ilgili veriler; uygulama sayısı, yılı, yapının işlevi, ülkelere göre dağılım, uygulama yeri, yüzey malzemesi başlıkları altında incelenmiştir. Literatürde analiz edilen her malzeme ile ilgili uygulanmış örnek bulunmadığından ‘Bulgular ve İrdeme’ bölümünde yer alan tablo ve grafikler akıllı malzemeler hakkında net bilgi vermemekte, analizi yapılan örnekler hakkında bilgi vermektedir.

#### 3.1. Malzeme Özelinde Yapılan Bulgular ve İrdeme

Analizi yapılan akıllı malzemeler Tablo 3.1’de ifade edilmiştir.

Tablo 3.1. Mimaride kullanılan akıllı malzemelerin sınıflandırılması

MALZEME TÜRÜ		
Özellik Değiştiren	Renk ve Optik Özelliklerini Değiştiren	Elektrokromik
		Fotokromik
		Termokromik
		Gazokromik
	Adezyon Değiştiren	Fotokatalitik
Enerji Alışverişi Yapan	Şekil Değiştiren	Şekil Hafızalı Alaşım
	Faz Değiştiren	Faz Değiştiren
	Elektrik Üreten	Piezoelektrik
Madde Alışverişi Yapan	Gaz ve Su Depolayan	Piroelektrik
		Mineral Emilimi Yapan

Tablo 3.2. Renk ve optik özelliklerini değiştiren akıllı malzemeye ait bulgular

MALZEMEYE AİT BİLGİLER												YAPIYA AİT BİLGİLER																				
Türü	Kullanılan Akıllı Malzeme	Toplam	Yeri		Yapı Elemanı			Yüzey Malzemesi					Ülke						Yapım Yılı					İşlevi								
			Dış Ortam	İç Ortam	Duvar	Döşeme	Çatı	Cam	Boya	Alüminyum Membran	Beton	Metal	ABD	İsviçre	Almanya	İngiltere	Fransa	Polonya	Japonya	1987	1988	2003	2004	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Kamusal	Özel	
Elektrokromik Malzeme	Elektrokromik Cam	8	8	-	4	-	4	8	-	-	-	-	7	1	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8	-
Fotokromik Malzeme	Fotokromik Boya	1	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	-	
Gazokromik Malzeme	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Termokromik Malzeme	Termokromik Cam	5	5	-	4	-	1	5	-	-	-	-	4	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	1	1	1	1	1	4	1	
	Termokromik Boya	4	1	3	2	1	-	-	1	1	1	1	-	-	1	1	1	1	-	1	1	-	1	-	-	-	-	-	1	4	-	

Kromik malzeme grubunda yer alan malzemelere ait bulgular Tablo 3.2 ile ifade edilmiştir. Kromik malzeme olarak da adlandırılan uyarıcı etkisi ile renk ve optik özelliklerini değiştiren malzeme grubunda elektrokromik, fotokromik, gazokromik ve termokromik malzemeler yer almaktadır. Gaz elde edilmesinde sıkıntı yaşanması ve renk seçeneğinin sınırlı olması nedeniyle literatürde gazokromik malzeme uygulama örneğine rastlanılmamıştır. Renk ve optik özelliklerini değiştiren malzeme genel olarak dış ortamda, yapı elemanı olarak duvarda ve malzeme olarak ise cam ile birlikte çalışmaktadır. 2000’li yıllarda yapılan çalışmalar sonucunda malzeme, mimaride daha çok yer bulmaya başlamıştır.

Elektrokromik malzemeler cam yüzeylere uygulanmaktadır. İncelenen örneklerde elektrokromik cam dış ortamlarda kullanılmış olup malzeme incelemesinde iç ortamda kullanımına ait görseller yer almaktadır. Malzeme, yapı elemanı olarak duvar ve çatıda tercih edilmiş olup şeffaf camların döşeme yüzeyinde kullanımı çok tercih edilen bir durum olmadığından döşeme yüzeyinde kullanılan elektrokromik cam örneğine rastlanılmamıştır. Analiz edilen örnekler doğrultusunda malzeme genel olarak ABD’de, kamusal yapılarda ve 2003-2015 yılları arası uygulanmıştır.

Fotokromik camlar ısı kontrolü sağlamadıkları için mimaride çok fazla kullanım alanı bulamamıştır. Fotokromik malzeme, fotokromik boya olarak uygulanmış olup dış ortamda strüktür olarak kullanımı tercih edilmiştir. 2012 yılında İngiltere’de kamusal bir yapıda uygulanmıştır.

Termokromik malzeme ise uygulamalarda termokromik boya ve cam olarak yer almaktadır. Termokromik cam genel olarak 2011-2015 yılları arası, ABD’de, kamusal ve özel yapılarda, dış ortamda uygulanırken; termokromik boya 1987 -2015 yılları arası Almanya, Japonya vb. ülkelerde, heykel olarak dış mekanda kullanılırken; müze, sergi gibi yapılarda görsel amaçlı iç mekanlarda tercih edilmiştir.

Adezyon değiştiren malzemeler gün ışığı ve yağmur almalıdır, bu nedenle yapının yönlendirilmesi önemlidir. Tablo 3.3’te adezyon değiştiren akıllı malzemeler yapıya ve malzemeye ait bilgiler olmak üzere iki gruba ayrılarak ifade edilmiştir.

Tablo 3.3. Adezyon değiştiren akıllı malzemeye ait bulgular

MALZEMEYE AİT BİLGİLER										YAPIYA AİT BİLGİLER																														
Türü	Kullanılan Akıllı Malzeme	Toplam	Yeri		Yapı Elemanı			Yüzey Malzemesi				Ülke										Yapım Yılı							İşlevi											
			Dış	İç Ortam	Duvar	Döşeme	Çatı	Cam	Ahşap	Beton	Metal	ABD	İtalya	İspanya	BAE	Almanya	Brezilya	Türkiye	Meksika	Avusturya	İngiltere	Fransa	Arnavutluk	Japonya	2000	2001	2003	2004	2005	2006	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Kamusal	Özel
Fotokatalitik Malzeme	TiO <sub>2</sub> Katkılı Beton	9	9	-	6	2	1	-	-	9	-	1	5	-	-	-	-	-	-	-	2	-	1	1	-	1	-	-	1	1	2	-	2	-	-	1	-	9	-	
	TiO <sub>2</sub> Kaplamalı Cam	4	4	-	3	-	1	4	-	-	-	1	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	
	TiO <sub>2</sub> Katkılı Boya	1	1	-	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1
	TiO <sub>2</sub> Katkılı Sıva	2	2	-	2	-	-	-	-	2	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	1	1	
	TiO <sub>2</sub> Katkılı Seramik	2	2	-	2	-	-	-	-	-	2	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	1	
	TiO <sub>2</sub> Katkılı Alüminyum Panel	1	1	-	1	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	
	TiO <sub>2</sub> Katkılı Plastik Panel	1	1	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	
	TiO <sub>2</sub> Kaplamalı Membran	6	6	-	-	-	6	-	1	-	5	1	-	-	1	-	1	1	-	-	-	1	-	1	-	-	-	1	2	1	-	-	1	-	-	1	6	-		



Işık, sıcaklık, elektriksel alan vb. uyaran etkisiyle katı, sıvı veya gaz bileşenlerinin atom veya molekülleri arasındaki adezyonu değiştiren malzeme grubunda fotokatalitik malzeme yer almaktadır. Fotokatalitik malzeme  $TiO_2$  katkılı beton, seramik, alüminyum panel, plastik panel,  $TiO_2$  kaplamalı cam ve membrandan oluşmaktadır.

Fotokatalitik malzemeler çalışma prensibi gereği güneş ışığı ile aktive olduklarından iç ortamda kullanım örnekleri bulunmamaktadır. Malzeme genellikle kamusal yapılarda, yapı elemanı olarak en çok duvarda ve beton yüzeylerde tercih edilmiştir.

Fotokatalitik malzeme grubunda en çok tercih edilen malzemeler  $TiO_2$  katkılı beton ve  $TiO_2$  kaplamalı membrandır.  $TiO_2$  katkılı beton en çok İtalya'da uygulanırken,  $TiO_2$  kaplamalı membran Türkiye, ABD, İspanya vb. ülkelerde kullanım alanı bulmuştur.  $TiO_2$  kaplamalı membran kullanımını genellikle örtü elemanı olarak stadyum, havalimanı gibi yapılarda tercih edilmiştir.

Yapılan çalışmalar bölümünde fotokatalitik malzeme uygulanmış yapıların uygulama yılları sonrasına ait fotoğraflarına erişilerek analizi yapılmış, malzemelerin verimli çalıştığı ve yapım yıllarına göre kirlenmenin az olduğu gözlemlenmiştir.

Şekil değiştiren akıllı malzemeye ait bulgular Tablo 3.4'te ifade edilmiştir.

Tablo 3.4. Şekil değiştiren akıllı malzemeye ait bulgular

MALZEMEYE AİT BİLGİLER										YAPIYA AİT BİLGİLER							
Türü	Akıllı Malzeme	Toplam	Yeri		Yapı Elemanı			Yüzey Malzeme		Ülke			Yapım Yılı			İşlevi	
			Dış Ortam	İç Ortam	Duvar	Döşeme	Çatı	Metal	Taş	ABD	İtalya	Japonya	1995	1997	2011	Kamus	Özel
Şekil Hafızalı Alaşım	Şekil Hafızalı Alaşım	3	2	1	-	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	3	-

Sıcaklık, manyetik alan, UV ışık, pH gibi dış uyaranın etkisiyle şekillerinde değişim gerçekleştirebilen malzeme grubunda şekil hafızalı alaşım yer almaktadır. Uygulama örneklerinin az olma nedeni olarak, uzun süreli atmosfere maruz kalması sonucunda oksitlenmesi ve dolayısıyla şekil hafıza performansının azalması gösterilebilir. Dış ve iç ortamda kullanılabilen malzeme 1995-1997 yıllarında döşeme ve çatıda deprem karşısında önlem amaçlı, 2011 yılında ise yapıda doğal havalandırma amacı ile kullanılmıştır.

Tablo 3.5. Faz değiştiren akıllı malzemeye (FDM) ait bulgular

MALZEMEYE AİT BİLGİLER												YAPIYA AİT BİLGİLER													
Türü	Akıllı Malzeme	Toplam	Yeri		Yapı Elemanı			Yüzey Malzemesi				Ülke				Yapım Yılı						İşlevi			
			Dış Ortam	İç Ortam	Duvar	Döşeme	Çatı	Cam	Alçı Panel	Metal	Beton	İsviçre	Almanya	ABD	Hollanda	2000	2001	2003	2004	2006	2007	2009	2010	Kamusal	Özel
Faz Değiştiren Malzeme (FDM)	FDM Katkılı Cam	4	4	-	4	-	-	4	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	1	1	1	-	1	-	3
	FDM Katkılı Sıva	3	-	3	2	1	-	-	2	-	1	-	3	-	-	-	1	1	1	-	-	-	-	2	1
	FDM Katkılı Alçı panel	1	1	-	1	-	-	-	-	1	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-
	FDM Katkılı Film	1	1	-	1	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-
	FDM Katkılı Beton	1	1	-	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-

Faz değişimi esnasında ortaya çıkan gizli ısının enerji depolama uygulamalarında faz değiştiren malzeme katkılı cam, sıva, alçı panel, film ve beton kullanılmaktadır. Ortam sıcaklığı faz değişim sıcaklığının üzerine çıktığında çevreden ısı alıp, soğuma esnasında bu ısıyı tekrar çevreye yayma prensibi ile çalışan malzeme; Tablo 3.4 ile görüldüğü üzere dış ortamda, sıcaklığı en çok bünyesinde depolayabilen cam malzemede, iç ortamda ise yalıtım sağlama amacı ile sıvada yüksek oranda kullanılmıştır. Faz değiştiren malzeme katkılı cam ABD’de kullanım alanı bulurken, faz değiştiren malzeme katkılı sıvanın ise Almanya’da yaygın uygulamalarının bulunduğu gözlemlenmiştir. Söz konusu ülkelerde yapılan araştırmalar ve üretici firmalar, uygulama sayılarının artmasına katkıda bulunmaktadır.

Isı veya gerilme gibi uyarıcı etkisi ile elektrik üretebilen malzemelere ait bulgular Tablo 3.6 ile yapılmıştır.

Tablo 3.6. Elektrik üreten akıllı malzemelere ait bulgular

MALZEMEYE AİT BİLGİLER								YAPIYA AİT BİLGİLER				
Türü	Akıllı Malzeme	Toplam	Yeri		Yapı Elemanı			Yüzey Malzemesi	Ülke	Yapım Yılı	İşlevi	
			Dış Ortam	İç Ortam	Duvar	Döşeme	Çatı				Metal	İngiltere
Piezoelektrik Malzeme	Piezoelektrik Boya	1	1	-	-	-	-	1	1	1	1	-
Piroelektrik Malzeme	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Elektrik üreten akıllı malzeme grubunda piezoelektrik ve piroelektrik malzeme yer almaktadır. Piroelektrik malzemelerin uygulama örneğine rastlanılmamıştır. Bu durumun nedeni olarak malzemenin verimli çalışabilmesi için yüksek oranda sıcağa ihtiyaç duyması gösterilebilir. Piezoelektrik malzeme ise dış ortamda İngiltere’de metal bir köprüde uygulanmış ve titreşim kontrolü sağlayarak yapının strüktürel davranışını izlemek amacıyla tercih edilmiştir.

Temas yolu veya sıcaklık artışı gibi uyarıcılar ile aktif hale gelen gaz ve su depolayan akıllı malzemeye ait bulgular Tablo 3.7 ile verilmiştir.

Tablo 3.7. Gaz ve su depolayan akıllı malzemeye ait bulgular

MALZEMEYE AİT BİLGİLER								YAPIYA AİT BİLGİLER				
Türü	Akıllı Malzeme	Toplam	Yeri		Yapı Elemanı			Yüzey Malzemesi	Ülke	Yapım Yılı	İşlevi	
			Dış Ortam	İç Ortam	Duvar	Döşeme	Çatı	Metal	Almanya	2005	Kamusal	Özel
Mineral Emilimi Yapan Malzeme	Mineral Emilimi Yapan Alçı Panel	1	-	1	-	-	1	1	1	1	1	-

Gaz ve su depolayan akıllı malzeme bölümünde, hacimlerini, yoğunluklarını, optik özelliklerini ve / veya enerji durumlarını tersine çevirebilen mineral emilimi yapan malzemeler yer almaktadır. Uygulamalarda boyutsal olarak istekleri karşılayamaması ve uygulanmasının zor olması gibi dezavantajlarından dolayı literatürde 1 adet örneğe rastlanılmıştır. Analiz edilen örnekte mineral emilimi yapan alçı panel kullanılmış ve insan yoğunluğu fazla olan kamusal bir binada iç ortamda gürültü emilimi ve hava temizleme amacıyla kullanılan malzeme çatıda uygulanmıştır.

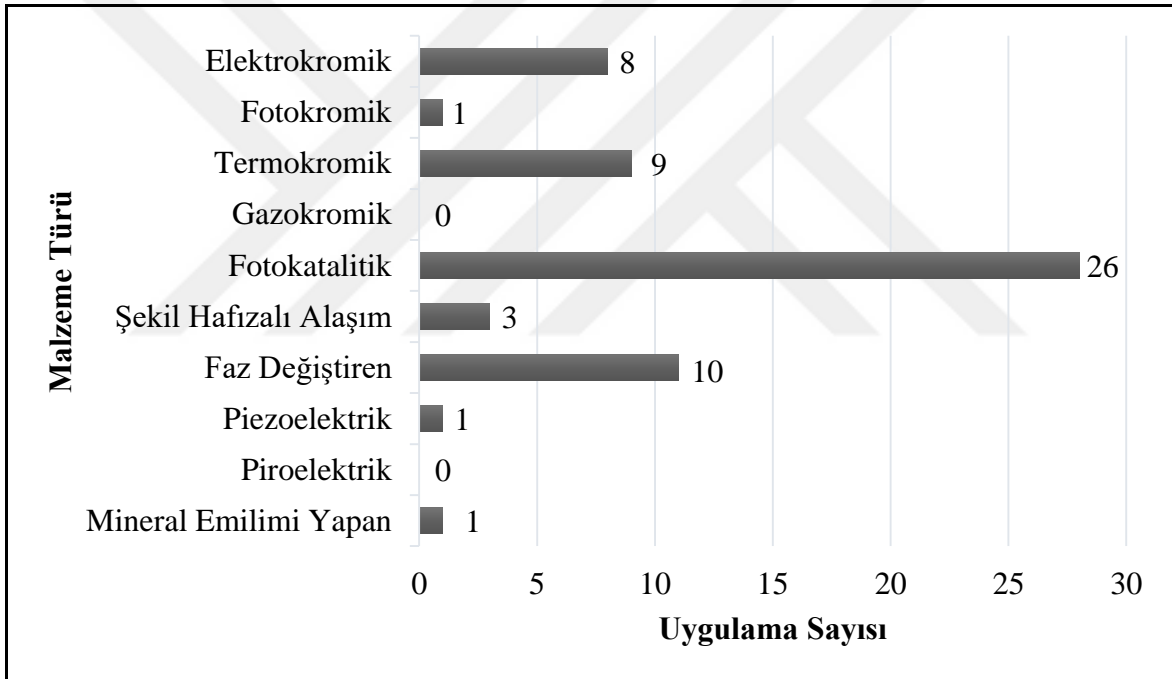
### 3.2. Genel Bulgular ve İrdeleme

- Uygulama Sayısı

Akıllı malzemelerin mimaride kullanım olanaklarının ele alındığı tezde 58 adet örnek analiz edilmiş ve Tablo 3.8. ve Şekil 3.1. ile ifade edilmiştir.

Tablo 3.8. Analiz edilen yapıların özelliklerine göre uygulama sayısı

MALZEME TÜRÜ		SAYI	
Özellik Değiştiren	Renk ve Optik Özelliklerini Değiştiren	Elektrokromik	8
		Fotokromik	1
		Termokromik	9
		Gazokromik	-
	Adezyon Değiştiren	Fotokatalitik	26
Enerji Alışverişi Yapan	Şekil Değiştiren	Şekil Hafızalı Alaşım	3
	Faz Değiştiren	Faz Değiştiren	10
	Elektrik Üreten	Piezoelektrik	1
Piroelektrik		-	
Madde Alışverişi Yapan	Gaz ve Su Depolayan	Mineral Emilimi Yapan	1



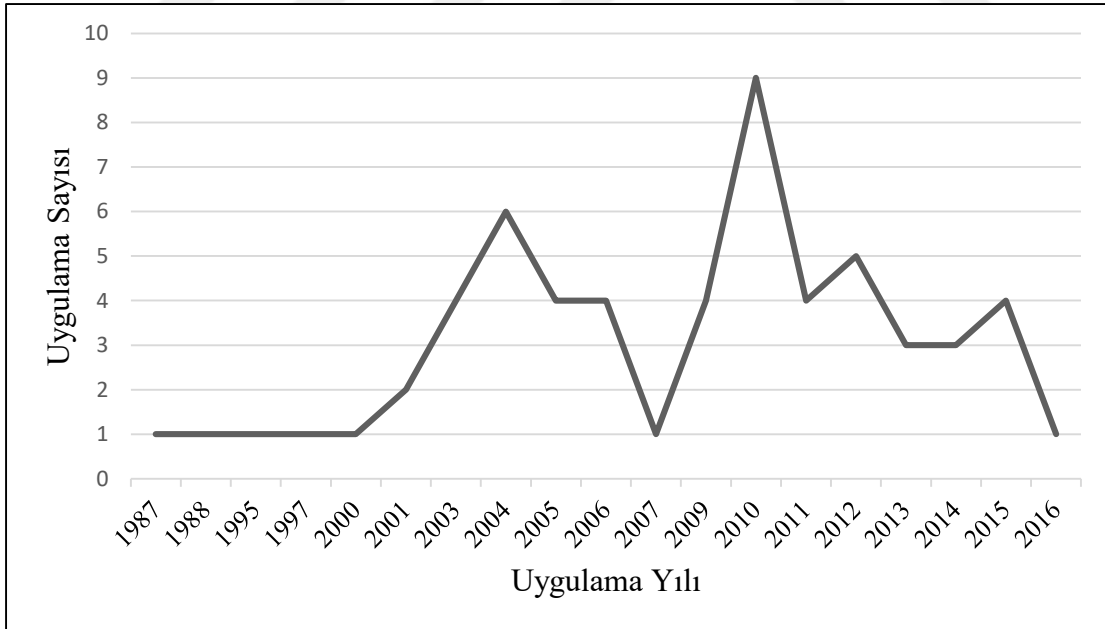
Şekil 3.1. Analiz edilen yapıların özelliklerine göre uygulama sayısı

Literatür taraması sonucu elde edilen veriler doğrultusunda farklı özelliklere sahip akıllı malzemelerin olduğu görülmektedir. Adezyon değiştiren ve renk, optik özelliklerini değiştiren malzemelerin diğer malzemelere göre geniş kullanım alanına sahip olduğu Tablo 3.8’de gözlemlenmektedir. Kendi kendini, havayı, suyu temizleme vb. özelliklerine sahip adezyon değiştiren malzeme bünyesinde yer alan  $TiO_2$ ’nin yaygın bulunması, pahalı olmaması, fayda/maliyet oranına bakıldığında avantaj sağlaması kullanım oranını arttırmaktadır. Renk ve optik özelliklerini değiştiren malzemeler uygulandıkları yapıya

görsel/işlevsel avantaj sağlamasından dolayı tercih edilen akıllı malzeme türlerindedir. Bu bölümde yer alan ve literatürde uygulama örneğine sık rastlanan malzemeler ise elektrokromik ve termokromik malzemelerdir (Şekil 3.1.). Söz konusu malzemelerin binanın enerji yükünü azaltma, konforu artırma ve ayrıca elektrokromik malzemenin mahremiyet sağlaması yönü ile uygulama sayıları fazladır. Faz değiştiren malzemenin ise yapılarda yalıtım, enerji tüketiminde tasarruf sağlama avantajlarından dolayı kullanımı yaygındır. Şekil değiştiren malzeme genel olarak geniş kullanım alanı bulsa da mimari alanda kullanımı kısıtlıdır. Elektrik üreten malzeme mimaride sensör ve aktüatör olarak kullanıldığı için bu malzemenin literatürde yer alan örneği kısıtlıdır. Mineral emilimi yapan malzeme ise boyutsal olarak üretiminin kısıtlı ve dayanımının az olması nedeniyle talep görmemiştir.

- Uygulama Yılı

Akıllı malzeme kullanılan örnek yapıların uygulama yılı Şekil 3.2. ve Tablo 3.9. ile ifade edilmiştir.



Şekil 3.2. Analiz edilen yapıların uygulama yıllarına göre dağılımı

Tablo 3.9. Analiz edilen yapıların uygulama yıllara göre dağılımı

		UYGULAMA YILLARI																		
		1987	1988	1995	1997	2000	2001	2003	2004	2005	2006	2007	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
AKILLI MALZEME TÜRÜ	Elektrokromik Malzeme							1	1					1	1	1	1	1	1	
	Fotokromik Malzeme															1				
	Termokromik Malzeme	1	1						1						1	1	1	1	2	
	Gazokromik Malzeme																			
	Fotokatalitik Malzeme					1		1	2	3	3		3	6	1	2	1	1	1	1
	Şekil Hafızalı Alaşım			1	1										1					
	Faz Değiştiren Malzeme						1	2	2		1	1	1	2						
	Piezoelektrik Malzeme						1													
	Piroelektrik Malzeme																			
	Mineral Emilimi Yapan Malzeme									1										
	Toplam	1	1	1	1	1	2	4	6	4	4	1	4	9	4	5	3	3	4	1

Gelişen teknolojiye bağlı olarak tercih edilme oranı da artan akıllı malzemelerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. 1980’li ve 1990’lı yıllarda uygulama sayısı az olan malzemelerde 2000 ve özellikle 2007 yılından sonra hızlı bir artış gözlemlenmiştir (Şekil 3.2.). Tablo 3.9.’da farklı özelliklerdeki akıllı malzemelerin 1987-2016 yılları arasında gerçekleştirilen uygulama sayıları verilmiştir. En eski tarihli kullanım 1987 yılında, en fazla uygulama sayısı 2010 yılında gerçekleşmiştir. 2016 yılında gözlenen düşüş ise malzemelerin kullanımının azalmasından çok son yıllarda yapılan uygulamaların literatürde hızlı bir şekilde yer almamasıdır. Analiz edilen örneklerde 3 adet tarihi yapı bulunmaktadır ve akıllı malzemelerin yapıların restorasyon aşamasında kullanılması nedeniyle, malzemenin uygulandığı yıl esas alınmıştır.

- Yapının İşlevi

Akıllı malzemeler farklı işlevlere sahip binalarda kullanılabilir. Tablo 3.10'da malzemelerin yapıların işlevlerine göre dağılımı ifade edilmiştir.

Tablo 3.10. Analiz edilen yapıların işlevlerine göre dağılımı

		YAPININ İŞLEVİ																						
		Okul	Ofis Binası	Gösteri Merkezi	Araştırma Merkezi	Müze	Hastane	Sergi Salonu	Alışveriş Merkezi	Sanat Galerisi	Heykel	Strüktür	Otel	Yarış Pisti	Havalimanı	Ulaşım	Banka	Dini Yapı	Stadyum	Anıt/Restoran	Ticari Bina	Fabrika	Konut	
AKILLI MALZEME TÜRÜ	Elektrokromik Malzeme	3				1	1	1	1	1														
	Fotokromik Malzeme										1													
	Termokromik Malzeme		3	1		1		2	1		1													1
	Gazokromik Malzeme																							
	Fotokatalitik Malzeme	1	2	1	1	2	2	1					1	1	1	2	1	2	4	1				3
	Şekil Hafızalı Alaşım											1						1			1			
	Faz Değiştiren Malzeme		2					2													1			5
	Piezoelektrik Malzeme															1								
	Piroelektrik Malzeme																							
	Mineral Emilimi Yapan Malzeme																						1	
		Toplam	4	6	2	1	4	3	6	2	1	1	2	1	1	1	3	1	3	4	1	2	1	9

Analizi gerçekleştirilen 59 adet yapı genellikle farklı işlevlere sahiptir. Tablo 3.10.'dan elde edilen veriler doğrultusunda özellikle yapı cephelerinin temizliği için fotokatalitik, ısı yükünün azaltılması amacıyla ise faz değiştiren malzemelerin konut örneklerinde yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir.



Akıllı malzemelerin ihtiyaçları karşılar nitelikte olması, uzun vadede sağladığı avantajlar ile maliyetlerini karşılama kullanımını yaygınlaştırmış; konut gibi özel yapılara oranlara ofis binası, dini yapı gibi kamusal yapılarda da tercih edilmiştir.

- Ülkelere Göre Dağılım

Analizi yapılan örneklerin uygulandıkları ülkelere göre elde edilen verileri Tablo 3.11’de ifade edilmiştir.

Tablo 3.11. Analiz edilen yapıların ülkelere göre dağılımı

AKILLI MALZEME TÜRÜ	Avrupa											Asya		Amerika		
	Türkiye	İtalya	İspanya	Almanya	Avusturya	İngiltere	Fransa	Arnavutluk	İsviçre	Polonya	Hollanda	Japonya	BAE	ABD	Meksika	Brezilya
Elektrokromik Malzeme								1						7		
Fotokromik Malzeme						1										
Termokromik Malzeme				1		1	1			1		1		4		
Gazokromik Malzeme																
Fotokatalitik Malzeme	1	5	1	3	1		3	1				3	1	5	1	1
Şekil Hafızalı Alaşım		1										1		1		
Faz Değiştiren Malzeme				4					4		1			1		
Piezoelektrik Malzeme						1										
Piroelektrik Malzeme																
Mineral Emilimi Yapan Malzeme				1												
<b>Toplam</b>	<b>33</b>											<b>6</b>		<b>20</b>		

Analiz edilen örnekler uygulandıkları ülkelere göre incelendiğinde, akıllı malzeme kullanımının Avrupa ülkelerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Tablo 3.11’de söz konusu malzemelerin ülkelere göre dağılımı verilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda malzeme uygulamalarına farklı ülkelerde rastlanılmış ve akıllı malzemelerin özellikle ABD, İtalya, Almanya, Fransa ve Japonya’da tercih edildiği gözlemlenmiştir. Ülkelerin sahip olduğu teknoloji ve yapılan araştırmalar malzemelerin tercih edilme oranının artmasında pay etkilidir. Uygulanması az olan veya hiç olmayan malzeme türlerine rağmen akıllı malzeme uygulaması son yıllarda artış göstermiştir ancak Türkiye’de yeterli çalışmaların yapılmamış olması, malzeme satışını sağlayacak kapsamlı firmanın mevcut olmaması nedeniyle literatür araştırmasında Türkiye’de uygulanmış 1 adet örneğe rastlanılmıştır.

- Uygulama Yeri

Analizi yapılan örnekler uygulama yerine göre Tablo 3.12’de ifade edilmiştir.

Tablo 3.12. Analiz edilen yapıların uygulama yerlerine göre dağılımı

AKILLI MALZEME TÜRÜ	Az Uygulanmış	Çok Uygulanmış	Dış Ortam				İç Ortam			
			Duvar	Döşeme	Çatı	Diğer	Duvar	Döşeme	Çatı	Diğer
			Elektrokromik Malzeme	4		4				
Fotokromik Malzeme				1						
Termokromik Malzeme	4		1	1	2	1				
Gazokromik Malzeme										
Fotokatalitik Malzeme	16	2	8							
Şekil Hafızalı Alaşım		1	1	1						
Faz Değiştiren Malzeme	5		1		3	1				
Piezoelektrik Malzeme				1						
Piroelektrik Malzeme										
Mineral Emilimi Yapan Malzeme								1		
Toplam	29	3	15	4	5	2	1			

Analiz edilen örneklerin uygulama yerlerine göre dağılımı Tablo 3.12’de ifade edilmiştir. Söz konusu malzemeler; kullanım örneklerine göre genellikle ışık, sıcaklık gibi çevresel faktörlerle etkileşim halinde olduklarından çoğunlukla dış ortamda, duvar ve çatı elemanlarında uygulanmıştır. Ayrıca 26 adet analiz örneği bulunan fotokatalitik malzeme, kendi kendini ve havayı temizleme gibi özelliklerinden dolayı yapı cephelerinde tercih edildiği için dış ortam oranının artmasına katkıda bulunmuştur.

- Yüzey Malzemesi

Analiz edilen örnekler uygulandığı/bünyesine katıldığı yüzey malzemesine göre Tablo 3.13’te verilmiştir.

Tablo 3.13. Analiz edilen yapıların uygulandığı/bünyesine katıldığı yüzey malzemesine göre dağılımı

		YÜZEY MALZEMESİ							
		Cam	Ahaşp	Beton	Metal	Taş	Alüminyum Membran	Boya	Alçı Panel
		Az Uygulanmış		Çok Uygulanmış					
AKILLI MALZEME TÜRÜ	Elektrokromik Malzeme	8							
	Fotokromik Malzeme						1		
	Termokromik Malzeme	5		1	1		1	1	
	Gazokromik Malzeme								
	Fotokatalitik Malzeme	4	1	12	9				
	Şekil Hafızalı Alaşım				2	1			
	Faz Değiştiren Malzeme	4		1	3			2	
	Piezoelektrik Malzeme				1				
	Piroelektrik Malzeme								
	Mineral Emilimi Yapan Malzeme				1				
	Toplam	21	1	14	17	1	1	2	2

Akıllı malzemeler uygulandıkları/bünyesine katıldıkları yüzey malzemesi açısından çeşitlilik göstermektedir. Tablo 3.13'te elde edilen veriler doğrultusunda en çok kullanılan malzeme cam ve metaldir. En çok kullanıma sahip camın büyük oranda olma nedeni, uygulama örneklerinin fazla olduğu her malzeme için elverişli özellikte olmasıdır. Ayrıca kromik malzemeler genellikle cam yüzeyler üzerine uygulanmaktadır.

Gelişen teknoloji ile yapılarda kullanım alanını hızla genişleyen metal, akıllı malzeme uygulamalarında tercih edilmektedir. Özellikle fotokatalitik malzemede örtü şeklinde uygulanan malzemelerin pek çoğunda metal yapılar yer almıştır.

Geçmişten günümüze mimaride yaygın olarak kullanılan beton da yüksek oranda kullanılan malzemedir. Metal gibi beton da fotokatalitik malzeme ile birlikte çalışan bir malzemedir. Araştırmalar sonucu ekolojik özelliklere sahip fotokatalitik beton üretilmiş ve yapılarda sıkça kullanılmıştır.

Akıllı malzemeler uygulanma alanı bakımından değerlendirildiğinde; kromik malzemelerin genellikle pencere camı, şekil hafızalı alaşımın güneş kırıcı eleman, deprem damperi ve sensör, piezoelektrik ve piroelektrik malzemenin sensör olarak; faz değiştiren malzemenin ısı yalıtım amacı ile yapı malzemelerinde, fotokatalitik malzemenin kendi kendini temizleme özelliği ile yapı cephelerinde, mineral emilimi yapan malzemenin ise akustik önlem için alçı panolarda ve su yalıtımı amacı ile derzlerde tercih edildiği sonucuna ulaşılmıştır.

## 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

21. yy ile birlikte kullanım alanı genişleyen, çevresel uyaranlara cevap veren, tepkileri öngörülebilir, geleneksel malzemeler ile çalışabilen ve tasarımcılara çeşitli olanaklar sunan akıllı malzemeler hayatımızda her geçen gün daha da yer edinecektir.

Çalışma kapsamında mimaride uygulanmış akıllı malzemeler ele alınmış, 59 adet örnek yapının analiz tabloları oluşturulmuş, elde edilen bulgular ve irdelemeler ile birlikte ulaşılan sonuçlar iki başlık halinde ifade edilmiştir:

1. Akıllı malzemelerin mimaride kullanımı ile ilgili sonuçlar
2. Genel sonuçlar

### 4.1. Akıllı Malzemelerin Mimaride Kullanımı ile İlgili Sonuçlar

Yapılan çalışma ile elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir:

- Akıllı malzeme ile ilgili ilk araştırma 1900'lü yıllarda başlamış, ilk araştırma 1938 yılında yapılmıştır. Analizi yapılarak örneklerden elde edilen veriler doğrultusunda ilk uygulama 1987 yılında termokromik boya ile gerçekleştirilmiş olup uygulama sayısı 21. yüzyıldan itibaren artarak devam etmektedir.

- Akıllı malzemelerin birçok özelliği bünyesinde barındırması ile kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Uygulanmaya başladığı ilk yıllarda görsel amaçlı kullanımlarda müze ve sergi salonları için tercih edilirken günümüzde hastane, konut gibi farklı işlevlere sahip yapılarda da kullanılmaktadır. Malzemenin kamusal yapılarda uygulanma oranı daha yüksektir.

- Akıllı malzemeler, geleneksel malzeme ile çözülemeyen veya çözümü için ilave malzeme gerektiren sorunlara tek başına cevap verebilmektedir. Sağladığı avantajlar ile mimar ve tasarımcıların ilgisini çekmektedir.

- Fotokatalitik malzeme en çok kullanılan akıllı malzeme olmuştur. Kendi kendini, havayı, suyu temizleme, antibakteriyel olma, koku giderme özelliğine sahip malzemenin ana maddesi olan  $TiO_2$ 'nin yaygın bulunması, pahalı olmaması, fayda/maliyet oranının yüksek olması tercih edilme oranını arttırmaktadır. Ayrıca uygulandıkları yapılarda temizlik ve bakım maliyetini düşürme, zararlı kimyasallar kullanılmadan çözüm sağlayarak çevre temizliğine katkıda bulunma, ulaşılması zor alanları temizleyebilme avantajları ile yaygın

olarak kullanılmaktadır. Fotokatalitik malzemeden sonra ise tercih edilen akıllı malzeme faz değiştiren malzemedir. Hem iç ortam hem de dış ortamda uygulanabilmesi, güneş ışığını depolayabilmesi ve gerekli durumda depolanan enerjiyi kullanabilmesi tercih edilme nedenlerindedir.

- Akıllı malzeme uygulamalarına dünyanın çeşitli ülkelerinde rastlanılmaktadır. En yaygın kullanım ise ABD, İtalya, Almanya, Fransa ve Japonya'dadır. Teknoloji ve yapılan araştırmaların bu ülkelerde ileri seviyede olması akıllı malzeme kullanımını arttırmaktadır. Türkiye'de yeterli çalışmaların yapılmamış olması, malzeme satışını sağlayacak yeterli firmanın mevcut olmaması nedeniyle uygulama sayısı azdır ancak sağladığı avantajlar göz önünde bulundurulursa bu tür malzemelere yapılan yatırımlar ilerleyen süreçte artacak ve bu tür malzemelerin ülkemizde de kullanımını yaygınlaşacaktır.

- Akıllı malzemeler en çok dış ortamda ve yapı cephelerinde kullanılmaktadır. Elektriksel alan, mekanik enerji haricinde güneş ışını, sıcaklık gibi etkenlerle de aktive olan malzemeler; yapı cephelerinde fazla güneş ışının ve zararlı ışınların yapıya girmesini engelleyerek soğutma yükünü ve elektrik harcama oranını azaltmakta ve yapı cephelerinin temizliğine katkıda bulunmaktadır.

- Fotokatalitik malzeme, faz değiştiren malzeme ve kromik malzemeler sürdürülebilir özelliğe sahip akıllı malzemelerdendir.

- Analizi gerçekleştirilen malzemeler geleneksel malzemeler ile birlikte çalışabilmektedir. Cam, metal, seramik gibi malzemelere ince bir film tabakası olarak eklenerek veya beton, boya gibi malzemelerin doğrudan içine katılarak uygulanabilmektedir.

- Akıllı malzemeler yeni yapı uygulamalarında kullanılabildiği gibi tarihi yapıların restorasyon aşamalarında da uygulanabilmektedir. Restorasyon uygulamasında tercih edilen malzemeler; güneş kontrolü sağlayarak bina soğutma yükünü azaltmak amacı ile elektrokromik cam, depreme karşı önlem amaçlı Şekil hafızalı alaşım ve ısı depolama özelliği ile binanın daha az enerji tüketimi sağlamak amacıyla faz değiştiren malzemedir.

- Akıllı malzemeler teknoloji ile doğru orantılı olarak ilerleyen modern bir malzeme olduğundan ve birtakım ihtiyaçları karşıladığından söz konusu malzemelerin pahalı olduğu algısı doğmuştur ancak yapılan çalışmalarda bu tür malzemelerin kullanımı ile elde edilen tasarruflar doğrultusunda maliyetlerini kısa sürede amorti edebilecekleri sonucuna ulaşılmıştır.

## 4.2. Genel Sonuçlar

Akıllı malzemeler ile ilgili elde edilen genel sonuçlar aşağıda ifade edilmektedir:

- Günümüzde teknoloji ile gelişimini sürdüren akıllı malzemeler sağlık, tekstil, kimya vb. birçok alanda olduğu gibi mimari alanda da tercih edilen bir malzemedir.
- İnsan nüfusunun hızla artması ile doğal kaynakların aşırı tüketilmesi, enerji kaynakların giderek azalmış ve ekosistem dengesinin bozulmasına neden olmuştur. Sürdürülebilir özellikli malzemelerin de yer aldığı akıllı malzemelerin kullanımının yaygınlaşması ile doğal kaynakların kullanımında azalma gözlenecektir.
- Yer aldıkları ortamda meydana gelen değişimleri, fiziksel özelliklerinde veya çevresi ile etkileşimleri sonucu oluşan değişimlerden yola çıkarak algılayan ve buna uygun, kullanışlı bir tepki vererek çevrede değişim yaratabilen akıllı malzemeler, kullanıcılara konforlu bir ortam sağlarken görsel olarak da tercih edilmektedir.
- Teknolojik gelişmeler ile doğru orantılı ilerleyen akıllı malzeme, mimari gelişmeleri yakından etkilemektedir.
- Akıllı malzeme ekoloji ve nanoteknoloji ile etkileşim halindedir.
- Gelişimini devam ettirecek olan akıllı malzemenin özellikleri talebe göre uyarlanabilir olması ile ilerleyen süreçte çıkacak sorunlara çözüm sağlayabilecektir.
- Birçok özelliği tek bir malzemede bulundurma özelliğine sahip olması nedeniyle akıllı malzemelerin kullanımı ile birlikte daha hafif, estetik yapılar tasarlanabilmektedir.
- Akıllı malzemeler pazar imkanlarının kısıtlı olması, kurulumlarının zor olması, aktive olmaları için belirli bir süreye ihtiyaç duymaları gibi birtakım dezavantajlara sahiptir. Malzemeler ile ilgili yapılacak araştırmalar sonucunda bu olumsuzlukların giderileceği düşünülmektedir.
- Günümüzde geliştirilen ve üretimi devam eden akıllı malzemeler önümüzdeki süreçte mimarinin üretken ve bütünleştirici bir parçası haline gelecek ve yeni nesil akıllı malzemelerde kullanılan parçalara ilave işlevler yüklenerek bu tür malzemeler hayatımızda daha çok yer edinecektir.

### 4.3. Öneriler

Bu çalışma sonucunda aşağıdaki önerilere yer verilmiştir:

- Akıllı malzeme üretimi için araştırmalar devam ettirilerek yeni yöntemler geliştirilebilir.
- Kullanıcı ihtiyaçlarına yönelik yeni akıllı malzemeler üretilebilir.
- Teknolojik gelişmelere bağlı olarak birden fazla ince film tabakasına uygulanarak farklı işlevlere sahip malzemeler bir arada kullanılabilir.
- Geri dönüşüm özelliğine sahip akıllı malzemeler geliştirilebilir.
- Yapılan araştırmalar sonucu daha uzun kullanım ömrüne sahip akıllı malzemeler tasarlanabilir.
- Söz konusu malzemelerin aktive olması için geçen süre minimuma indirilebilir.
- Akıllı malzemelerin görevlerini yerine getirmelerini engelleyen durumlar tespit edilerek çözüm sağlanabilir.
- Akıllı malzemelerin kullanımının yaygınlaşması için daha geniş kitlelere ulaşılarak, malzemeler ile ilgili seminer ve eğitimler düzenlenmesi yoluyla malzemeler hakkında bilgiler verilebilir.
- Kamusal yapılarda yaygın olarak kullanılan malzemelerin özel yapılarda da kullanımı teşvik edilebilir.
- Üretilen ancak uygulanması gelişmeyen malzemeler ile ilgili iyileştirmeler yapılabilir.
- Türkiye’de kullanım alanı geniş olmayan malzemeler için devlet tarafından verilecek gerekli teşviklerle firma sayısı artırılarak malzemenin kullanımının ülkemizde yaygınlaşması sağlanabilir.
- Mimari alanda kullanım potansiyeli bulamayan akıllı malzemelerin mimaride kullanımı için ar-ge çalışmaları yürütülebilir.
- Farklı özelliklere sahip malzemelerin işlevini yerine getirecek tek bir akıllı malzeme geliştirilebilir.
- Tasarlanacak akıllı malzemeler ile günümüz yapılarından farklı tasarım ve özelliklere sahip yapılar ortaya çıkarılabilir.



## 5. KAYNAKLAR

- Abacı, V.M., 2018. Piezoelektrik Yamalı Akıllı Partikül Takviyeli Metal Matrisli Kompozitlerin Serbest Titreşim Analizi ve Aktif Titreşim Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Abak, O., 2016. Doğal ve İşlenmiş Killerin Bitkisel Yağların Rafinasyonunda Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çorum.
- Akalın, K. B., Özmen, P., Tiftikçi, C., Canbaz, M., Bilgiç, Ş.ve Kara, Ç., 2015. Beton Kaldırım Taşları ve Yol Kaplama Yüzeylerinde Meydana Gelen Kirliliklerin Uv Güneş Işınları İle Temizlenmesi, Ejoir,1,150-161.
- Akay, A., Her Devrin Malzemesi: Akıllı Polimerler  
<http://www.acikbilim.com/2014/03/dosyalar/her-dervrin-malzemesi-akilli-polimerler.html>. 5 Ağustos 2018.
- Akdoğan, A. ve Nurveren, K., 2003. Şekil Hafızalı Alaşımlar, Mühendis ve Makina, 44, 521 (2003) 35-44.
- Akman, S., Yapı Malzemelerinin Tarihsel Gelişimi, Türkiye Mühendislik Haberleri, 4, 426, 30-36.
- Alam, M. S., Youssef, M. A. ve Nehdi, M., 2007. Utilizing Shape-Memory-Alloys to Enhance the Performance and Safety of Civil Infrastructure: a Review, Canadian Journal of Civil Engineering, 39, 9, 1075-1086.
- Alay, S., ve Alkan, C., Tekstil Lif Teleflerinden Isı Depolama Özellikli Lif Üretim Olanaklarının Araştırılması.  
<http://www.gso.org.tr/userfiles/file/5%20Tekstil%20Lif%20Teleflerinden%20Is%C4%B1%20Depolama%20%C3%96zellikli%20Lif%20%C3%9Cretim%20Olanaklar%C4%B1n%C4%B1n%20Ara%C5%9Ft%C4%B1r%C4%B1lmas%C4%B1.pdf>. 1 Eylül 2018.
- Andaloro, A., Mazzucchelli, E.S., Lucchini, A. ve Pedferri, M.P., 2016. Photocatalytic Self-Cleaning Coatings For Building Facade Maintenance. Performance Analysis Through A Case-Study Application, Journal of Facade Design and Engineering, 4, 115-129.
- Anderson, A., Chen, S., Romero, L., Top, I. ve Binions, R., 2016. Thin Films for Advanced Glazing Applications, Buildings, 6, 3, 37.
- Arslan, N. ve Gürer, T.K., 2015. Sürdürülebilir Stadyum Tasarımları İçin Teknik Tavsiye ve Gereklikler: Yeşil Gol, 2<sup>nd</sup> International Sustainable Buildings Symposium, Mayıs, Ankara, Bildiriler Kitabı, 239-247.

- Aslan, E., Bilgin, M.Z. ve Erfidan, T., 2016. Piezoseramik Malzemelerle Elektrik Enerjisi Üretilmesi ve Depolanması, İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 5, 2, 66-76.
- Aslan, H., 2016. Piezoelektrik Malzemelerle Asfalt Yollarda Elektrik Enerjisi Üretimi, 4. Uluslararası Mühendislik ve Bilim Alanında Yenilikçi Teknolojiler Sempozyumu, Antalya, Kasım, Bildiriler Kitabı, 1809-1816.
- Aslan, O., 2014. Faz Değiştiren Malzemelerle Güneş Enerjisinin Depolanması, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Ashby, M.F., Ferreira, P.J. ve Schodek, D.L., 2009. Nanomaterials, Nanotechnologies and Design, An Introduction for Engineers and Architects, Butterworth-Heinemann, Oxford, 540 s.
- Avcı, G. G., 2009. İşlevsel Nanokaplamalar, Bilim ve Teknik, 497, 48-49.
- Avcı, S. B., 2009. Soda ve MgO ile Aktiflendirilmiş Aratip Bentonitlerin Sondaj ve Döküm Bentoniti Karakteristiklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aycan, D., Yılmaz, H. ve Uyanusta, İ., FDM-Montrmorillonite Kompozit Yapı Malzemesinin Enerji Depolama Özelliklerinin Belirlenmesi. [http://maycalistaylari.comu.edu.tr/kimya2/sunumlar/projeraporlari/c\\_grubu\\_proje\\_raporu\\_parafin.pdf](http://maycalistaylari.comu.edu.tr/kimya2/sunumlar/projeraporlari/c_grubu_proje_raporu_parafin.pdf). 1 Eylül 2018.
- Aydın, H. S., 2016. PMN-PT[Pb(Mg<sub>1/3</sub> Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>-PbTiO<sub>3</sub>] Esaslı Piezoelektrik Seramiklerin Üretimi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Aykanat, A., 2014. Yapı Hasarları Açısından Doğru Malzeme Seçimini Sağlayan Kuramsal Tasarım ve Yapım Modeli, Artium, 2, 1, 29-42.
- Balkar, İ. G., 2006. Saf Titanyum ve Tin Kaplamaların Alkali Çözeltilerde Anodizasyonu ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Banyay, L., The Ecosmart House in Bozeman, Mont., Involves Student and Professionals. <http://www.qualifiedremodeler.com/welcome-to-the-ecosmart-house/>. 15 Ocak 2019.
- Başbuğ, M., 2008. Bentonit ve Ponza İle Sulu Çözeltiden ve Tekstil Atıksuyundan Boya Adsorpsiyonunun İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Bayar, S., 2007. Malzeme Özellikleri Sıcaklığa Bağlı Olan Bir Piezoelektrik Plağın Statik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Bedeloğlu, A., 2011. Şekil Hafızalı Alaşımlar ve Tekstil Malzemelerindeki Uygulamaları, Tekstil ve Mühendis, 18, 83, 27-37.
- Bilankohi, S.M. ve Ebrahimzadeh, M., 2016. Fabrication of TiO<sub>2</sub> Nanoscale Thin Films and Its Structural Properties, Hacettepe J. Biol. & Chem.,44, 3, 339-344.
- Beyhan, B., Cellat, K., Karahan, O., Konuklu, Y., Dündar, C., Güngör, C. ve Paksoy, H., 2016. Bina Yapı Malzemeleri İçin Mikrokapsüllenmiş Faz Değiştiren Madde Geliştirilmesi, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 154, 63-69.
- Burdis, M. ve Neil, S., Recovery Act: Electrochromic Glazing Technology: Improved Performance, Lower Price. <https://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/1111422>. 27 Ocak 2017.
- Büyükçerçi, M. E., Adilak, S. ve Yeşilyurt, S., 2007. Piezoelektrik Ara Malzemeli İnce Őeridin Dalga Hareketinin Simülasyon Tabanlı Analizi, TOK'07, İstanbul, Eylül, Bildiriler Kitabı, 184-187.
- Casini, M., 2016. Smart Buildings: Advanced Materials and Nanotechnology to Improve Energy Efficiency and Environmental Performance, Elsevier Ltd., Cambridge, 384 s.
- Chang, C., Wang, C., Chen, Y. ve Cheng, L., 2014. Preparation and Characterization of Spiroanthoxazine/Polyacrylate Photochromic Hard Coatings on Plastic Substrates, Journal of Science and Engineering, 17, 2, 167-174.
- Chimeddorj, M., 2007. Farklı Bentonitlerin Nem Alıcı (Desikant) Özelliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Costanzo, V., Evola, G. ve Marlette, L., 2016. Thermal and Visual Performance of Real And Theoretical Thermochromic Glazing Solutions for Office Buildings, Solar Energy Materials & Solar Cells, 149, 110-120.
- Curlee, T. R., Das, S., Lee, R. ve Trumble, D., Advanced Information and Analysis Needs. <https://www.osti.gov/servlets/purl/6567025>. 04 Ağustos 2018.
- Çağlar, A., 2016. Elektrokromik Yüzey Malzemelerinde Hidrofobik Özellikler, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale.
- Çakıroğlu, E., 2011., Titanyum Dioksti Esaslı (TiO<sub>2</sub>) Fotokatalizör Kullanılarak Toksik Madde İçerikli Atık Suların Detoksifikasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Çakmak, Ö. ve Kaya, M., 2017. Akıllı Malzeme Şekil Hafızalı Alasimların Termodinamiği, Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi, 6, 2, 541-555.

- Çakmaklı, B., Ateş Can, S. ve Muraçal, E., 2015. Deprem ve Mimarlıkta Kullanılan Polimer Malzemeler, Uluslararası Burdur Deprem ve Çevre Sempozyumu, Mayıs, Burdur, Bildiriler Kitabı, 448-455.
- De Haan, H., Phase Change Materials in the Building Industry.  
[https://issuu.com/henkdehaan/docs/111104\\_phase\\_change\\_materials\\_in\\_th](https://issuu.com/henkdehaan/docs/111104_phase_change_materials_in_th). 12 Şubat 2017.
- Demir, F., 2017. Piezoelektrik Malzeme ile Rüzgardan Enerji Hasatı, Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Demir, N., 2011. Yüksek Yapılar ve Sürdürülebilir Enerji, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Dikici, T. ve Yurddaşkal, M., 2018. Anodik Spark Oksitleme Tekniği İle Üretilen Titanyumdioksit (TiO<sub>2</sub>) Kaplamaların Karakterizasyonu ve Fotokatalitik Özellikleri, BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi, 20, 1, 83-93.
- Döşemeciler, A., 2012. Cam ve Aydınlatma Sistemlerinde Akıllı Malzemeler, Ege Mimarlık, 82, 14-17.
- Doğrukol, S., 2002. Piezoelektrik Malzemelerin Bünye Denklemleri, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- El Fathani, F. Z., Guyomar, D., Mazroui, M. ve Belhora, F., 2016. Optimization and Improvement of Thermal Energy Harvesting by Using Pyroelectric Materials, Optical Materials, 56, 22-26.
- Ercan, E., Dağdelen, F., 2015. Şekil Hatırlamalı Ni-45.16%Ti Alaşımının Hava Atmosferinde Sıcaklığın Oksidasyon Davranışına Etkisi, BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, 4, 1, 54-64.
- Erdem, B., 2004. Na-Bentonit ve Organo-Bentonit Üzerine Boya Adsorpsiyonunun İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Erdem İşmal, Ö. ve Yüksel, E., 2016. Tekstil ve Moda Tasarımına Teknolojik Bir Yaklaşım: Akıllı ve Renk Değiştiren Tekstiller, Yedi: Sanat, Tasarım ve Bilim Dergisi, 16, 87-98.
- Erdinç, B., 2006. Perovskit Yapıdaki Bazı Kristallerde izotop Yerleştirmenin Faz Geçiş Sıcaklığı Üzerine Etkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Ergun, C., Yılmaz, Ş., Özdemir, E., Gül, Ö. ve Kalenderli, Ö., 2006. Piezoelektrik Malzemeler ve Uygulamaları, 11. Uluslararası Malzeme Sempozyumu, Denizli, Nisan, Bildiriler Kitabı, 595-606.
- Eşsiz, Ö. ve Özgen, A., 1999. 'High Tech' Mimari, Tasarım + Kuram, 1, 1, 36-51.

- Fahmy, M.H.M., 2010. Nanomaterials & Architecture Sustainable Nanoarchitecture, Yüksek Lisans Tezi, Alexandria University, Alexandria.
- Feng, W., Zou, L., Gao, G., Shen, J. ve Li., W., 2016. Gasochromic Smart Window: Optical and Thermal Properties, Energy Simulation and Feasibility Analysis, Solar Energy Materials & Solar Cells, 144, 316-323.
- Fujishima, A., Rao, T. N., ve Tryk, D. A., 2000. Titanium Dioxide Photocatalysis, Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews, 1, 1-21.
- Furuto, A., Or2 Project Wins Good Design Award/Orproject.  
<http://www.archdaily.com/321480/or2-project-wins-good-design-award-orproject>.  
19 Şubat 2017.
- Georg, A., Graf, W., Neumann, R. ve Wittwer, V., 2000. Mechanism Of The Gasochromic Coloration Of Porous WO<sub>3</sub> Films, Solid State Ionics, 127, 319-328.
- Gezer, H., 2011, Malzemenin Gizil Güçlerinin Mimariye Katkısı, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 10, 20, 97-118.
- Ghodke, S. ve Jangid, R. S., 2016. Equivalent Linear Elastic-Viscous Model of Shape Memory Alloy for Isolated Structures, Advanced in Engineering Software, 99, 1-8.
- Günay, D., 2001. Mühendislik, Teknoloji ve Tarih, Mimar ve Mühendis Dergisi, 30, 6-14.
- Günaydın, U., 2007., Sensörlerde Kullanılabilecek Polimer/Pzt Kompozitlerin Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Güngör, S. G. ve Kabul, A., 2015. Sodyum Asetat Trihidratlı Güneş Enerjili Isıtma Sisteminin Performans Analizi, Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknik Dergisi, 3, 4, 27-35.
- Gür, M., 2010. Nanomimarlık Bağlamında Nanomalzemeler, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 2, 81-90.
- Gürakın, H. K., 2012. Elektrokromik Uygulamalar İçin İletken Polimer Elektrolitlerin Hazırlanması ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Gürlük, G., 2009. Niti Hafızalı Alaşım Şekilli Film Kaplamaların Üretilmesi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hancıoğlu, Ç., 2015. Kaolin ve Bentonit Türü Killerde Bulunan Silikaların Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Harmens, J., Nanotechnology Application in Building and Facade Construction of The Future.

[https://issuu.com/jajharchitechure/docs/final\\_edition\\_of\\_nanotechnology\\_app\\_dissertation\\_pdf.27](https://issuu.com/jajharchitechure/docs/final_edition_of_nanotechnology_app_dissertation_pdf.27) Kasım 2016.

Hasol, D., Mimari ve Malzeme.

<http://www.doganhasol.net/mimari-ve-malzeme-2.html>. 03 Haziran 2018.

Ingalkar, R. S., 2014. Rehabilitation of Buildings and Bridges by Using Shape Memory Alloys (SMA), International Journal of Civil Engineering Research, 5, 2, 163-168.

Kaçar, A., 2009. Katmanlı Kompozit Bir Plâğın Piezoelektrik Yamalar Yardımıyla Titreşim Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kalyoncu, G., Nanoteknoloji ve Boya Sektörüne Yansımaları.

<https://www.slideshare.net/kalyoncu89/nanoteknoloji-ve-boya-sektrne-yansimalari-sunum>. 6 Ağustos 2018.

Kamalisarvestani, M., Saidur, R., Mekhilef, S. ve Javadi, F. S., 2013. Performance, Material and Coating Technologies of Thermochromic Thin Films on Smart Windows, Rewearable and Sustainable Energy Reviews, 26, 353-364.

Kasim, Z. D., 2016. Bentonit ve Sodyum Aljinat İçeren Yeni Akrilamid/Potasyum 3-Sülfopropil Metakrilat Hibrit Hidrojellerin Eldesi, Karakterizasyonu ve Biyopotansiyel Kullanım Kapasitelerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Aydın.

Kaya, M., Çakmak, Ö., Saygılı, T. Y. ve Atlı, K. C., 2016. Şekil Hafızalı Alaşımelerde Martensitik Faz Dönüşümü ve Şekil Hafıza Mekanizması, Selçuk Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Teknik- Online Dergi, 15, 3, 157-172.

Kaya, T., Karakurt, C. ve Bayazıt, Y., 2015. Kalsine Edilmiş Bentonitin Çimento Harçlarında Puzolanik Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliği, 2<sup>nd</sup> Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu, Ankara, Mayıs, Bildiriler Kitabı, 98-103.

Kayacan, O., 2008. Akıllı Giysi Dizaynı Üzerine Bir Araştırma, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Kazanasmaz, T. ve Diler, Y., 2011. Gelişmiş Cam Teknolojileri İle Enerji Etkinliğinin Değerlendirmesi, VI. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu ve Sergisi, Kasım, İzmir, Bildiriler Kitabı, 84-93.

Kılıçoğlu, B. D., 2009. Nanoboyutlu TiO<sub>2</sub> Esaslı Antibakteriyel Kaplama, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Koç, M., 2012. Sol-Jel Yöntemiyle Elde Edilen Alüminyum, Antimon ve Bakır Katkılı Nano Tanecikli TiO<sub>2</sub> İnce Filmlerinin Optiksel, Yapısal ve Morfolojik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

- Koçyiğit, M. Ç., 2014. Isıl Olarak İşlenmiş Bentonit Örneklerinde Metilen Mavisi Adsorpsiyonu, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Konuklu, Y., 2008. Mikrokapsüllenmiş Faz Değiştiren Maddelerde Termal Enerji Depolama İle Binalarda Enerji Tasarrufu, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Konuklu, Y., Ersoy, O., Paksoy, H. Ö., Evcimen, S., Çelik, S. ve Toraman, Ö. Y., 2017. Termal Enerji Depolama Materyali Olarak Diyatomit/Faz Değiştiren Madde Kompozitlerinin Üretilmesi, Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 6, 1, 238-243.
- Konuklu, Y. ve Paksoy, H., 2011. Faz Değiştiren Maddeler ile Bina Uygulamalarında Enerji Verimliliğinin İstatistiksel Modelleme ile Tahmin Edilmesi, III. Enerji Verimliliği Toplantısı, Nisan, Kocaeli, Bildiriler Kitabı, 173-180.
- Konuklu, Y., Paksoy, H.Ö, 2011. Faz Değiştiren Maddeler ile Binalarda Enerji Verimliliği, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Nisan, İzmir, Bildiriler Kitabı, 919-930.
- Korkmaz Erdural, B., Bakır, U. ve Karakaş, G., 2009. TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> İnce Filmlerin Fotokatalitik Özellikleri, EuropaCat IX, Salamanca-İspanya, Eylül, Bildiriler Kitabı,152.
- Korkmaz, Z., 2015. MEMS Teknikleri Kullanarak Esnek Piezoelektrik Dokunsal Algılayıcı Dizini Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kuloğlu Yüksel, F. Ş., 2010. Kendi Kendini Temizleyen Betonlarda Kalıp Tipinin Durabiliteye Etkisi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kuru, A. ve Alay Aksoy, S., 2012. Faz Değiştiren Malzemeler ve Tekstil Uygulamaları, Tekstil ve Mühendis, 19, 86, 41-48.
- Kurt, B. ve Orhan, N., 2003. Şekil Hafızalı Alaşımlarının Kaynak Edilebilirliği, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, 2, 1, 1-5.
- Kurt, İ., 2010. Akıllı Malzemeler Yardımıyla Plak Titreşimlerinin Aktif Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kurt, S., 2012. Yeni Nesil Bina Malzemeleri İçin Faz Değiştiren Madde Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- LaFrance, M. ve Weems, D., Sunlight Responsive Thermochromic Window System. <https://www.osti.gov/servlets/purl/894091>. 28 Ocak 2017.
- Lampert, C. M., 2004. Chromogenic Smart Materials, Materials Today, 7, 3, 28-35.

- Lee, E. S., Fernandes, L.L., Goudey, C.H., Jonsson, C.J., Curcija, D.C., Pang, X., DiBartolomeo, D. ve Hoffmann, S., A Pilot Demonstration of Electrochromic and Thermochromic Windows in the Denver Federal Center.  
<https://windows.lbl.gov/publications/pilot-demonstration-electrochromic-and-thermochromic-windows-denver-federal-center-0>. 15.01.2018.
- Leydecker, S., 2008. Nanomaterials in Architecture: Interior Architecture and Design, Birkhäuser Verlag AG, Berlin, 192 s.
- Licciulli, A. ve Lisi, D, Electrochromic Glass  
<http://www.antonio.licciulli.unisalento.it/tesine2003/ELECTROCHROMIC%20GLASS.pdf>. 27 Ocak 2017
- Lin, K., Zhang, Y., Xu, X., Di, H., Yang, R. ve Qin, P., 2005. Experimental Study of Under-Floor Electric Heating System with Shape-Stabilized PCM Plates, Energy and Buildings, 37, 215-220.
- Lukic, P., Tamburic, J. ve Stajic, D., 2012. Energy Efficiency of Buildings with Phase-Change Materials, Architecture and Civil Engineering, 10, 3, 343-352.
- Mandev, Y. Z., 2018. Fiziksel Buhar Kaplama (Pvd) İle Büyütülmüş TiN, CrN ve DLC Filmlerde Artık Gerilme-Adezyon İlişkisi, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Marchwinski, J., 2014. Architectural Evaluation of Switchable Glazing Technologies as Sun Protection Measure, Energy Procedia, 57, 1677- 1686.
- Mathew, J., Guerrini, G. L., ve De Marco, T., 2015. Use of Photocatalytic Cements for Architectural Purposes, Ekim, Kolkata, Bildiriler Kitabı, 105-113.
- Mclaren, W., The State of Phase Change Materials in Australian Building Design.  
<http://www.architectureanddesign.com.au/features/features-articles/the-state-of-phase-change-materials-in-australian>. 13 Şubat 2017.
- Mohammed, A. S. Y., 2017. Smart Materials Innovative Technologies in Architecture; Towards Innovative Design Paradigm, Energy Procedia, 115, 139-154.
- Mohelnikova, J., Chromogenic Glass.  
[https://www.researchgate.net/profile/Jitka\\_Mohelnikova/publication/266604713\\_CHROMOGENIC\\_GLAZINGS/links/545118660cf285a067c681db/CHROMOGENIC\\_GLAZINGS.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jitka_Mohelnikova/publication/266604713_CHROMOGENIC_GLAZINGS/links/545118660cf285a067c681db/CHROMOGENIC_GLAZINGS.pdf). 15 Ocak 2019.
- Mortice, Z., Curling Iron: How Thermobimetal Could Change Architecture.  
<https://redshift.autodesk.com/thermobimetal-architecture/>. 18 Şubat 2017.
- Nurveren, K., 2008. NiTi Alaşımında Şekil Hafıza Etkisinin İyileştirilmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ocak, M. E., Elektrokromik Malzemeler.



<http://www.bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/elektrokromik-malzemeler>. 28 Nisan 2019

Okay, O., Polimerik Malzemelerin Bugünü ve Yarını.

[http://web.itu.edu.tr/okayo/Davetli\\_okay.pdf](http://web.itu.edu.tr/okayo/Davetli_okay.pdf). 18 Şubat 2017.

Orhon, A.V., 2006. Modern Yapı Malzemeleri, Yapı Dergisi, 300, 104-109.

Orhon, A.V., 2012. Akıllı Malzemelerin Mimarlıkta Kullanımı, Ege Mimarlık, 82, 18-21.

Orhon, A.V., Akıllı Yapı Kabukları, 2013. 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi-Bina Fiziği Sempozyumu, Nisan, İzmir, 1481-1487

Orhon, A.V., 2013. 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.

Orhon, A.V. ve Altın, M., 2015. Spor Yapılarında Sürdürülebilir Çatı ve Cepheler, PCCI-Boya, Yapı Kimyasalları, İzolasyon Dergisi, 9, 8-12.

Orman, Y., 2014. Nano Yapılı Titanyum Dioksit İnce Filmlerin Büyütülmesi ve Nem Sensörlerinin Üretilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Pehlivan, E., 2007. Saf ve Katkılı Niobyum Pentoksit İnce Filmlerin Optik, Yapısal, Elektriksel ve Elektrokromik Özellikleri, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Profir, B., Iconic Modern Architecture-Jubilee Church in Rome by Richard Meier and Partners.

<https://homesthetics.net/iconic-modern-architecture-jubilee-church-in-rome-by-richard-meier-and-partners/>. 26 Ocak 2019.

Pampanin, S., 2006. Controversial Aspects in Seismic Assessment and Retrofit of Structures in Modern Times: Understanding and Implementing Lessons from Ancient Heritage, Bulletin of The New Zealand Society for Earthquake Engineering, 39, 2, 120-133.

RIngrose, S., Undergraduate Portfolio.

[https://issuu.com/stephenringrose/docs/ringrose\\_s\\_\\_compressed\\_](https://issuu.com/stephenringrose/docs/ringrose_s__compressed_). 29 Ocak 2017

Ritter, A., 2007. Smart Materials in Architecture, Interior Architecture and Design- Birkhäuser Architecture, Andreas Müller, Birkhäuser, Berlin, 191 s.

Salla, F., Rhino Projects: A Smog-Eating Façade.

<https://blog.visualarq.com/2014/03/07/rhino-projects-a-smog-eating-facade/>. 26 Ocak 2019.

Sancak, M., 2014. Elektrokromik Yüzeyler İçin Nanoyapıdaki Malzemeler, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Sarı, A., Faz Değişimi Yoluyla Isıl Enerjinin Depolanması ve Bu Alanda Yapılan Çalışmalar.  
<http://docplayer.biz.tr/126152-Faz-degisimi-yoluyla-isil-enerjinin-depolanmasi-ve-bu-alanda-yapilan-calismalar.html>. 10 Şubat 2017.

Sarıgül, T., Bu Malzemelerin Hafızası Var.  
<http://www.bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/bu-malzemelerin-hafizasi-var.20>  
Kasım 2016.

Schossig, P., Phase Change Materials for Cold Storage Applications.  
[http://www.preheat.org/fileadmin/preheat/documents/workshop1/SCHOSSIG-preheat\\_lyon.pdf](http://www.preheat.org/fileadmin/preheat/documents/workshop1/SCHOSSIG-preheat_lyon.pdf). 12 Şubat 2017.

Sevgen Perker, Z., 2010. Nanoteknoloji ve Yapı Malzemesi Alanına Etkileri, e-Journal of New World Sciences Academy, 5, 4, 639-648.

Sevgi, H. E., 2009. Piezoelektrik Yamalı Katmanlı Kompozit Bir Kirişin Titreşim Analizi ve Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Soyer, E. B., 2006. Piroelektrik Kızılberisi Algılayıcı Tabanlı Olay Tespiti, Yüksek Lisans Tezi, Bilkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Sökmen, M., Kendi Kendini Temizleyen Malzemeler.  
<https://docplayer.biz.tr/400458-Kendi-kendini-temizleyen-malzemeler-munevver-sokmen-karadeniz-teknik-universitesi-fen-fakultesi-kimya-bolumu-trabzon.html>. 16 Ocak 2019.

Spasiano, D., Marotta, R., Malato, S., Fernandez-Ibanez, P. ve Di Somma, I., 2015. Solar Photocatalysis: Materials, Reactors, Some Commercial, And Pre-Industrialized Applications. A Comprehensive Approach, Applied Catalysis B: Environmental, 170, 90-123.

Sunag, N. ve Singh, S., 2015. Types of Chromism & Its Applications in Fashion & Textile Designing, International Journal of Enhanced Research in Science, Technology & Engineering, 4, 8, 28-36.

Şam, E. D., Ürgen, M. ve Tepehan, F.Z., 2007. TiO<sub>2</sub> Fotokatalistleri, İtüdergisi, 6, 5-6, 81-92.

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.G., 2014. Enerji Etkin Cephelelerde Nanoteknoloji, Yapı Dergisi, 397, 146-150.
- Toptaş, E. ve Akkuş, N., 2007. Şekil Hafızalı Alaşım lar ve Endüstriyel Uygulamaları, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 4, 15-22.
- Toptaş, E. ve Nihat, N., 2013. Şekil Hafızalı Metallerin Mekanik Yapısındaki Faz Değişimlerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi İle İncelenmesi, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 10, 1, 25-33.
- Türker, Ö., 2009. Pzt/Polimer Esaslı Aktif Titreşim Kontrolüne Uygun Akıllı Kiriş Tasarımı ve İmalatı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Van Dinther, R.D.G., Projects and Vision of deltaSync, Floating Urban Developments. <http://www.slideshare.net/rutgerdegraaf/portfolio2013final>. 13 Şubat 2017.
- Vulov, M., Contemporary Architecture, Spatial Analysis And Poetics Of Architecture- The Centre Pompidou-Metz. <https://innoarchitecture.wordpress.com/2012/06/29/the-centre-pompidou-metz/>. 26 Ocak 2019.
- Vural N. ve Yılmaz S., 2015. Mimaride Nano Kaplamaların Kullanımı, Ege Mimarlık, 1, 12-15.
- Wahid, M. A., Hosseini, S. E., Hussen, 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, 112, 1240-1259.
- Wu, Y.L.Y, Zhao, Q., Huang, H. ve Lim, R. J., 2017. Sol-Gel Based Photochromic Coating for Solar Responsive Smart Window, Surface & Coatings Technology, 320, 601-607.
- Wang, J., Liu, F., Low-cost, Robust Microcapsules of Phase Change Materials for Thermal Active Concrete Structures. [https://www.researchgate.net/publication/303522033\\_Low-cost\\_robust\\_microcapsules\\_of\\_phase\\_change\\_materials\\_for\\_thermal\\_active\\_concrete\\_structures?enrichId=rgreq-bec83166e05a4b965e9e2f95e6cfae56-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMwMzUyMjAzMzBUzozNjU4NjA1MTk3MjcxMDdAMTQ2NDIzOTM1NDAwMA%3D%3D&el=1\\_x\\_2&\\_esc=publicationCoverPdf](https://www.researchgate.net/publication/303522033_Low-cost_robust_microcapsules_of_phase_change_materials_for_thermal_active_concrete_structures?enrichId=rgreq-bec83166e05a4b965e9e2f95e6cfae56-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMwMzUyMjAzMzBUzozNjU4NjA1MTk3MjcxMDdAMTQ2NDIzOTM1NDAwMA%3D%3D&el=1_x_2&_esc=publicationCoverPdf). 13 Şubat 2017.
- Webb, M., Rafael Moneo's Iesu Church in San Sebastian, Spain. <https://www.architectural-review.com/today/rafael-moneos-iesu-church-in-san-sebastian-spain/8629332.article>. 23 Ocak 2017.
- Williams, N., SageGlass Automation Turns MOA Skylight into Frosty. <https://www.bizjournals.com/twincities/news/2016/12/16/sageglass-automation-turns-moa-skylight-into.html>. 22 Ekim 2018.

- Willmott, D., Mog-Eating Buildings Battle Air Pollution  
<http://www.xprize.org/news/smog-eating-buildings-battle-air-pollution>. 28 Kasım 2016.
- Wilson, H. R., High-Performance Glazing  
[https://www.researchgate.net/profile/Helen\\_Wilson9/publication/228465463\\_High-Performance\\_Windows/links/547c5f770cf2a961e48a03d4.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Helen_Wilson9/publication/228465463_High-Performance_Windows/links/547c5f770cf2a961e48a03d4.pdf). 31 Ocak 2017.
- Wolfson, E., Mexico City Hospital ‘Eats’ Pollution: Torre de Especialidades Features Innovate Facade Tiling That Neutralizes Smog.  
<https://www.medicaldaily.com/mexico-city-hospital-eats-pollution-torre-de-especialidades-features-innovate-facade-tiling-265942>. 13 Ocak 2018.
- Yaman, Y., 1999. Akıllı Mühendislik Yapıları ve Havacılıktaki Uygulamaları, 2000’li Yıllarda Uzay, Havacılık ve Savunma Teknolojilerinin Öncelikleri Sempozyumu, İstanbul, Nisan, Bildiriler Kitabı, 755-762.
- Yannier, S. ve Sabanovic, A., 2007. Piezoelektrik Aktüatörler için Analog Kayan Kipli Denetleyici, TOK’07, İstanbul, Eylül, Bildiriler Kitabı, 512-516.
- Yaşar, Y., Pehlevan, A. ve Maçka Kalfa, S., 2010. Akıllı Camlar ve Mimaride Kullanımı, 5. Ulusal Yapı Kongresi ve Sergisi, Kasım, İstanbul, 102-112.
- Yavaş, U.D., Termal Sensörler.  
<https://www.muhendisbeyinler.net/termal-sensorler/>. 8 Eylül 2018.
- Yazıcı, E.Y., Alp, İ., Yılmaz, A.O. ve Celep, O., 2004. Piezoelektrik Teknoloji ve Piezo-Malzeme Olarak Turmalin, 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Mayıs, Bildiriler Kitabı, 279-285.
- Yelkenci Sert, F. ve Güzel, N., 2015. Camda Gelişmiş Teknoloji Uygulamaları, 2. Ulusal Yapı Kongresi, Haziran, Ankara, Bildiriler Kitabı, 5-14.
- Yener, A. K., 2007. Binalarda Günışığından Yararlanma Yöntemleri: Çağdaş Teknikler, VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Ekim, İzmir, Bildiriler Kitabı, 231-241.
- Yeşildal, B. B., 2002. Enerji Korunumu Açısından Dış Duvarlarda Saydam Yalıtım Kullanımının İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ye, H., Meng, X., Long, L. ve Xu, B., 2013. The Route to a Perfect Window, Renewable Energy, 55, 448-455.
- Yılmaz, S., 2014. Nanoteknolojinin Mimaride Kullanım Olanakları, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Yılmaz, S. ve Vural, N., 2015. Sürdürülebilir Yapıların Tasarlanmasında Nanoteknolojinin Rolü, 2nd International Sustainable Buildings Symposium, Mayıs, Ankara, Bildiriler Kitabı, 294-302.

- Yücel, T., Tarım, B., Ulukapı, H. ve Demirci, M., 2004. Ön Bölge Dışlarında Direkt Estetik Restorasyonlar, Türk Dişhekimleri Birliği Dergisi, 83, 10-22.
- Zhong, K., Li, S., Sun, G., Li, S. ve Zhang, X., 2015. Simulation Study on Dynamic Heat Transfer Performance of PCM-Filled Glass Window with Different Thermophysical Parameters of Phase Change Material, Energy and Buildings, 106, 87-95.
- Zhang, H., Xie, Y., Li, X., Huang, Z., Zhang, S., Su, Y., Wu, B., He, L., Yang, W. ve Lin, Y., 2016. Flexible Pyroelectric Generators For Scavenging Ambient Thermal Energy And As Self-Powered Thermosensors, Energy, 101, 202-210.
- Zhang, Q., Agbossou, A., Feng, Z. ve Cosnier, M., 2011. Solar Micro-Energy Harvesting with Pyroelectric Effect and Wind Flow, Sensors and Actuators A, 168, 335-342.
- Zhang, Y., Zhou, G., Lin, K., Zhang, Q. ve Di, H., 2007. Application of Latent Heat Thermal Energy Storage in Buildings: State-of-the-art and Outlook, Building and Environment, 42, 6, 2197-2209.
- URL-1, <https://callaghaninnovation.govt.nz/blog/blogvocabulary/36%26category%3DAdvanced%20Materials>. 04 Ağustos 2018.
- URL-2, <https://smart.materialsconferences.com/>. 4 Ağustos 2018.
- URL-3, <https://smartmaterials-structures.conferenceseries.com/events-list/smart-materials-in-industrial-application>. 4 Ağustos 2018.
- URL-4, <https://www.buildingcentre.co.uk/project/bloom-thermobimetal-sun-tracking-instrument-indexing-time-and-temperature>. 4 Ağustos 2018.
- URL-5, <https://www.elektrikport.com/universite/sekil-hafizali-aliasimlar-akilli-malzemeler/16692#ad-image-0>. 28 Nisan 2019.
- URL-6, <http://www.navigantresearch.com/wp-content/uploads/2012/06/SGLASS-12Brochure.pdf>. 27 Ocak 2017.
- URL-7, <http://www.gursanglass.com.tr/trelkitabi.pdf>. 24 Mart 2018.
- URL-8, [https://www.sageglass.com/sites/default/files/mkt-061\\_sageglass\\_controls.pdf](https://www.sageglass.com/sites/default/files/mkt-061_sageglass_controls.pdf). 27 Ocak 2017.
- URL-9, <https://www.sageglass.com/benefits/cost-savings/>. 27 Ocak 2017
- URL-10, <http://www.duluthenergydesign.com/Content/Documents/GeneralInfo/PresentationMaterials/2014/Day3/hulsan-elegla.pdf>. 18 Mart 2018.
- URL-11, [https://www.sageglass.com/sites/default/files/productguide\\_mkt\\_48.pdf#page=4](https://www.sageglass.com/sites/default/files/productguide_mkt_48.pdf#page=4). 27 Ocak 2017.

- URL-12, [https://www.sageglass.com/sites/default/files/designguide\\_mkt\\_64.pdf#page=3](https://www.sageglass.com/sites/default/files/designguide_mkt_64.pdf#page=3). 27 Ocak 2017.
- URL-13, <http://www.hok.com/design/type/education/university-of-miami-patricia-louise-frost-music-studios/>. 27 Ocak 2017.
- URL-14, <https://www.sageglass.com/portfolio/museum-science-boston-usa>. 27 Ocak 2017.
- URL-15, <https://c7a.com/work/museum-of-science-boston>. 27 Ocak 2017.
- URL-16, <https://www.sageglass.com/portfolio/butler-county-medical-center-david-city-usa>. 27 Ocak 2017.
- URL-17, <http://sageglass.dreamhosters.com/uk/portfolio/butler-county-health-care-center/>. 27 Ocak 2017.
- URL-18, <http://www.trosifol.com/business/media/laminated-glass-news/2014/unique-279-sqm-3000-sq-ft-facade-employs-electrochromic-solution-comprising-sageglassr-and-sentryglasr-in-perfect-collaboration/>. 27 Ocak 2017.
- URL-19, <http://www.panelite.us/wp-content/uploads/2013/07/Panelite-ClearShade-High-Performance-Honeycomb-Glazing-for-EXTERIORS.pdf>. 27 Ocak 2017.
- URL-20, <http://dcbeaneconstruction.com/portfolio-item/museum-of-science-boston-lobby-curtain-wall-renovation/>. 3 Şubat 2017.
- URL-21, <http://www.smartglassinternational.com/projects/the-globe-of-science-and-innovation/>. 28 Kasım 2016.
- URL-22, <http://theday.co.uk/slideshow/2015-03-27/the-greatest-experiment-on-earth>. 28 Kasım 2016.
- URL-23, <http://unitedskys.com/products/glass-systems/electrochromic/>. 22 Ekim 2018.
- URL-24, <https://www.sageglass.com/en/portfolio/mall-america-usa>. 22 Ekim 2018.
- URL-25, <http://www.linel.co/chromic/dehorityhallchromic>. 14 Ocak 2018.
- URL-26, <https://www.sageglass.com/en/portfolio/ball-state-university-usa>. 21 Ekim 2018.
- URL-27, <https://dullaartglas.nl/wp/wp-content/uploads/2011/11/QUANTUM-GLASS-ELECTROCHROME-+-DULLAART1.pdf>. 21 Ekim 2018.
- URL-28, <https://static1.squarespace.com/static/5310e887e4b059649e4d6ee5/t/56900e1ca2bab897a84f447f/1452281375761/Fading+Protection+and+SageGlass+Products.pdf>. 21 Ekim 2018.
- URL-29, <https://www.stjathenaeum.org/>. 21 Ekim 2018.

- URL-30, [https://www.rutlandherald.com/news/vermont-gallery-replacing-th-century-skylights/article\\_cb63cb60-ca7e-5767-871c-2fa2e9f3e4ba.html](https://www.rutlandherald.com/news/vermont-gallery-replacing-th-century-skylights/article_cb63cb60-ca7e-5767-871c-2fa2e9f3e4ba.html). 21 Ekim 2018.
- URL-31, <https://www.sageglass.com/en/portfolio/athenaeum-usa>. 21 Ekim 2018.
- URL-32, <http://lerablog.org/home-and-family/appliances/high-tech-windows-windows-of-the-future/>. 29 Ocak 2017.
- URL-33, [http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/66855/29492/12.\\_plastik\\_malzemeler.pdf](http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/66855/29492/12._plastik_malzemeler.pdf). 5 Ağustos 2018.
- URL-34, <https://dothem.com/tr/malzemeler/>. 5 Ağustos 2018.
- URL-35, <http://orproject.com/or2/>. 19 Şubat 2017.
- URL-36, <https://competition.adesignaward.com/design.php?ID=28675>. 19 Şubat 2017.
- URL-37, <http://www.commercialwindows.org/thermochromic.php>. 28 Ocak 2017.
- URL-38, [https://eetd.lbl.gov/sites/all/files/gpg\\_smart\\_windows-final-508-compliant.pdf](https://eetd.lbl.gov/sites/all/files/gpg_smart_windows-final-508-compliant.pdf). 28 Ocak 2017.
- URL-39, <http://www.prelco.ca/en/architectural/products/product-id/3/product-category/11/product-action/show/product-controller/architectural/>. 29 Ocak 2017.
- URL-40, [http://www.vacuum-uk.org/pdfs/vs5/Thin\\_Films/Binions.pdf](http://www.vacuum-uk.org/pdfs/vs5/Thin_Films/Binions.pdf). 15.01.2018
- URL-41, <http://www.schiavello.com/project-database/glassworks-dandenong/>. 29 Ocak 2017.
- URL-42, <http://www.suntuitive.com/projects.html>. 29 Ocak 2017.
- URL-43, [https://www.trendway.com/A5570E/tw.nsf/0/5E83DD8D5AE043D085257D7700524CC3/\\$File/BigDutchmanCaseStudy.pdf](https://www.trendway.com/A5570E/tw.nsf/0/5E83DD8D5AE043D085257D7700524CC3/$File/BigDutchmanCaseStudy.pdf). 29 Ocak 2017.
- URL-44, <http://www.i2group.net/products/suntuitive-overview/photo-galleries/>. 29 Ocak 2017.
- URL-45, <http://bigdutchmanusa.com/big-dutchman-celebrates-expansion-of-us-headquarters-with-an-openhouse/>. 29 Ocak 2017.
- URL-46, <http://hga.com/work/hope-college>. 29 Ocak 2017.
- URL-47, <http://www.energy-1.net/pdf/bigskyjournalhome2013.pdf>. 29 Ocak 2017.
- URL-48, <https://www.artfund.org/whats-on/museums-and-galleries/tate-britain>. 15 Ocak 2019.

- URL-49, <https://projects.pilkington.com/show/6949/Atrium-Felicity-Shopping-Center-Lublin-Poland.aspx>. 9 Aralık 2018.
- URL-50, <https://d3kkkvz3vcvzu4.cloudfront.net/wp-content/uploads/2016/01/Bentofix-for-building-waterproofing.pdf>. 8 Eylül 2018.
- URL-51, <https://www.kunimine.co.jp/english/bent/basic.html>. 8 Eylül 2018.
- URL-52, <http://mimsanat34.wixsite.com/6ustusu>. 12 Mart 2017.
- URL-53, <http://www.apnano.com.tr/x/foto>. 31 Mart 2017.
- URL-54, <https://www.instantstreetview.com/>. 10 Mart 2019.
- URL-55, [http://ingegnereimpertinente.altervista.org/alterpages/files/Nanotecnologie\\_per\\_edilizia.pdf](http://ingegnereimpertinente.altervista.org/alterpages/files/Nanotecnologie_per_edilizia.pdf). 21 Ocak 2017
- URL-56, <http://arge7.com/detay.asp?id=751>. 25 Mart 2018.
- URL-57, <http://www.explainthatstuff.com/how-self-cleaning-windows-work.html>. 16 Mart 2017.
- URL-58, [http://www.fym.es/ENG/Our+Products/TX+Active%C2%AE/Architectural+Samples/TX+Galleries/CitedelaMusique\\_TXGallery.htm](http://www.fym.es/ENG/Our+Products/TX+Active%C2%AE/Architectural+Samples/TX+Galleries/CitedelaMusique_TXGallery.htm). 27 Kasım 2016.
- URL-59, <http://www.italcementigroup.com/NR/rdonlyres/B74F734F-B276-4F5F-8BDE-C9BC964A67A9/0/Preservingaesthetics.pdf>. 27 Kasım 2016.
- URL-60, <http://www.archdaily.com/630901/italy-pavilion-milan-expo-2015-nemesi>. 28 Kasım 2016.
- URL-61, [https://prezi.com/4poi6\\_qzgrs/italcementi-for-architecture/](https://prezi.com/4poi6_qzgrs/italcementi-for-architecture/). 23 Ocak 2017.
- URL-62, <http://www.maoffice.it/en/portfolio/popular-bank-of-cividale/>. 23 Ocak 2017.
- URL-63, [http://www.cristalactiv.com/uploads/speaker/Case\\_Study\\_The\\_Italcementi\\_TX\\_Active\\_Story\\_Gian\\_Luca\\_Guerrini.pdf](http://www.cristalactiv.com/uploads/speaker/Case_Study_The_Italcementi_TX_Active_Story_Gian_Luca_Guerrini.pdf). 28 Kasım 2016.
- URL-64, <http://www.arcvision.org/?p=14192&lang=en>. 22 Ocak 2017.
- URL-65, <http://projects.pilkington.com/usa/show/3668/Helen-DeVos-Children-s-Hospital.aspx>. 28 Kasım 2016.
- URL-66, <https://divisare.com/projects/17604-akira-sakamoto-architect-associates-house-in-kurakuen>. 27 Kasım 2016.
- URL-67, <http://www.arcvision.org/?p=21963&lang=en>. 22 Ocak 2017.
- URL-68, <http://libeskind.com/work/tirana-2/>. 22 Ocak 2017.



- URL-69, <http://www.prosolve370e.com/>. 28 Kasım 2016.
- URL-70, [www.turkcewiki.org/wiki/Medical\\_Park\\_Stadyumu](http://www.turkcewiki.org/wiki/Medical_Park_Stadyumu). 9 Aralık 2018.
- URL-71, <https://www.trabzonspor.org.tr/tr/kulup/stad#prettyPhoto>. 18 Aralık 2018.
- URL-72, <http://www.bpress.cn/ex/tag/Saint-Gobain-Performance-Plastics/>. 23 Ocak 2017.
- URL-73, [http://www.waymarking.com/waymarks/WMKWKH\\_ATT\\_nee\\_Cowboys\\_Stadium\\_Arlington\\_TX](http://www.waymarking.com/waymarks/WMKWKH_ATT_nee_Cowboys_Stadium_Arlington_TX). 23 Ocak 2017.
- URL-74, <http://www.birdair.com/press/cowboys-stadium-features-fabric-membrane-roofing-birdair-inc>. 23 Ocak 2017.
- URL-75, <https://projects.pilkington.com/show/4485/East-Hotel-Hamburg.aspx>. 08.12.2018.
- URL-76, <https://www.pilkington.com/resources/pilkingtonactivetechnicalupdate.pdf>. 08 Aralık 2018.
- URL-77, [http://www.burdinola.com/en/desarrollo\\_referencias.aspx?guid=207311b8-ecf4-4694-9714-4d5fe7a4a257&seg=5a495206-4449-4833-b8a8-98ac82dd7aee&pais=-1](http://www.burdinola.com/en/desarrollo_referencias.aspx?guid=207311b8-ecf4-4694-9714-4d5fe7a4a257&seg=5a495206-4449-4833-b8a8-98ac82dd7aee&pais=-1). 19 Ocak 2019.
- URL-78, <http://inhabitat.com/photos-new-public-park-opens-in-downtown-chicago/>. 25 Ocak 2017.
- URL-79, <https://www.nrmca.org/sustainability/Sustainable%20Concrete%20Pavement.pdf>. 25 Ocak 2017.
- URL-80, <http://www.sasaki.com/media/files/whitepaperbuildingtowardacleanerenvironment2006-1220.pdf>. 25 Ocak 2017.
- URL-81, <http://www.intrinsicdevices.com/history.html>. 16 Şubat 2017.
- URL-82, [https://issuu.com/natalia\\_aloupi/docs/shape\\_memory\\_materials\\_designer\\_s\\_m](https://issuu.com/natalia_aloupi/docs/shape_memory_materials_designer_s_m). 17 Şubat 2017.
- URL-83, <http://www.123seminaronly.com/Seminar-Reports/2013-01/43883993-Smart-Materials.pdf>. 21 Kasım 2016.
- URL-84, <http://www.buildingcentre.co.uk/project/bloom-thermobimetal-sun-tracking-instrument-indexing-time-and-temperature>. 18 Şubat 2017.
- URL-85, <http://www.evolo.us/architecture/metal-that-breathes-bloom-installation-made-with-14000-thermonimetal-pieces/>. 18 Şubat 2017.
- URL-86, [https://en.wikipedia.org/wiki/Basilica\\_of\\_Saint\\_Francis\\_of\\_Assisi](https://en.wikipedia.org/wiki/Basilica_of_Saint_Francis_of_Assisi). 18 Şubat 2017.

- URL-87, <http://www.ing.unitn.it/~luttero/materialifunzionali/Introduzione2014.pdf>. 18 Şubat 2017.
- URL-88, <https://www.emporis.com/buildings/105203/dowa-kasai-phoenix-tower-osaka-japan?pdf=>. 18 Şubat 2017.
- URL-89, <https://yazilimagiris.com/2018/05/akilli-malzemelerin-mimarliga-uygulanisi/?print=pdf>. 30 Ağustos 2018.
- URL-90, <http://www.micronal.de/portal/streamer?fid=309980>. 18 Şubat 2017.
- URL-91, <http://www.schwarz-architekten.com/project/eulachhof-erste-null-energie-wohnu-berbauung-der-schweiz/>. 29 Kasım 2016.
- URL-92, <http://www.schwarz-architekten.com/project/solarhaus-iii/>. 29 Kasım 2016.
- URL-93, <http://www.schwarz-architekten.com/project/wohnu-berbauung-silence/>. 29 Kasım 2016.
- URL-94, <http://www.micronal.de/portal/streamer?fid=290885>. 12 Şubat 2017.
- URL-95, [http://www.plasticsportal.net/wa/plasticsEU~bg\\_BG/function/conversions:/publish/common/upload/application\\_examples/neopor/3Liter\\_Haus\\_Ludwigshafen.pdf](http://www.plasticsportal.net/wa/plasticsEU~bg_BG/function/conversions:/publish/common/upload/application_examples/neopor/3Liter_Haus_Ludwigshafen.pdf). 18 Şubat 2017.
- URL-96, [https://www.airah.org.au/Content\\_Files/EcoLibrium/2012/May%202012/2012\\_05\\_F03.pdf](https://www.airah.org.au/Content_Files/EcoLibrium/2012/May%202012/2012_05_F03.pdf). 13 Şubat 2017.
- URL-97, [http://www.sustainablesteel.eu/p/558/pcm\\_projects.html](http://www.sustainablesteel.eu/p/558/pcm_projects.html). 13 Şubat 2017.
- URL-98, <http://www.publicdomainarchitecten.nl/en/drijvend-paviljoen/>. 13 Şubat 2017.
- URL-99, [http://www.sustainablesteel.eu/p/558/pcm\\_projects.html](http://www.sustainablesteel.eu/p/558/pcm_projects.html). 13 Şubat 2017.
- URL-100, <http://www.archdaily.com/350880/wilo-benthem-crouwel-architects>. 13 Şubat 2017.
- URL-101, <http://www.micronal.de/portal/streamer?fid=290431>. 13 Şubat 2017.
- URL-102, <http://www.micronal.de/portal/streamer?fid=290886>. 13 Şubat 2017.
- URL-103, <http://www.micronal.de/portal/load/fid774774/Catalogue%20Micronal%20PCM.pdf>. 13 Şubat 2017.
- URL-104, <http://kisi.deu.edu.tr//asli.ergun/4-Basinc%20Transduserleri.pdf>. 02 Eylül 2018.
- URL-105, <https://www.archinform.net/projekte/11735.htm>. 9 Aralık 2018.
- URL-106, <https://www.gateshead.gov.uk/article/4601>. 9 Aralık .2018.

URL-107, [https://www.wikizero.com/en/Pyroelectric\\_effect](https://www.wikizero.com/en/Pyroelectric_effect). 2 Eylül 2018.

URL- 108, [http://www.bayar.edu.tr/besergil/1\\_isin\\_dedektorleri.pdf](http://www.bayar.edu.tr/besergil/1_isin_dedektorleri.pdf). 15 Aralık 2017.

URL-109, <https://www.aps.org/publications/apsnews/201403/physicshistory.cfm>. 2 Eylül 2018.

URL-110, <https://www.pirlantablogu.com/turmalin-tasi-ozellikleri-faydalari/>. 27 Ocak 2019.

URL-111, [http://tr.swewe.net/word\\_show.htm/?37028\\_1&Termoelektrik\\_etki](http://tr.swewe.net/word_show.htm/?37028_1&Termoelektrik_etki). 8 Eylül 2018.

URL-112, <https://www.coursehero.com/file/24923484/6Shape-Memory-Alloys-Actuators1pdf/>. 1 Mayıs 2019.

URL-113, [http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6709e/x6709e03.htm](http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6709e/x6709e03.htm). 9 Eylül 2018.

URL-114, <https://www.cbsnews.com/news/soccer-field-power-players-kinetic-energy-brazil-electricity/>. 22 Haziran 2019.

## ÖZGEÇMİŞ

1990 yılında Ordu'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Özel Ordu Koleji ve Ordu Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2008 yılında Karadeniz Teknik Üniversite Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'ne başlayıp 2013 yılında mezun oldu. 2014 yılında Ecem İnş. Taah. Nak. San. ve Tic. Ltd. Şti'de çalışmaya, 2016 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi yüksek lisans eğitimine, 2018 yılında Sivas Vakıflar Bölge Müdürlüğü'ne göreve başladı. Halen söz konusu kurumda çalışmaya devam etmektedir. İyi derecede İngilizce bilmektedir.

