

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MALZEME KULLANIMIYLA AKILLANAN
BİNALAR



Aykut AKINCI

Şubat, 2020
İZMİR

MALZEME KULLANIMIYLA AKILLANAN BİNALAR

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Bilgisi Programı**

Aykut AKINCI

**Şubat, 2020
İZMİR**

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

AYKUT AKINCI, tarafından **DOÇ. DR. AHMET VEFA ORHON** yönetiminde hazırlanan “**MALZEME KULLANIMIYLA AKILLANAN BİNALAR**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Ahmet Vefa ORHON

Yönetici

Doç. Dr. Müjde ALTIN

Jüri Üyesi

Doç. Dr. Koray KORKMAZ

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Özgür ÖZÇELİK

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Danışmanım, Doç. Dr. Ahmet Vefa ORHON'a; uzun ve meşakkatli bir tez sürecinde, her ihtiyaç duyduğumda, bilgi ve deneyimlerini benimle paylaştığı, her zaman anlayış gösterip, desteklediği için,

Öğrenci İşlerinden, Filiz GÜRSAN'a uzun öğrenciliğim boyunca, sabırla yol gösterdiği için,

Aile bireylerim, annem Şehriban KARTOP, rahmetli babam Necmi AKINCI'ya beni yetiştirip, daima güvendikleri için,

Adlarını buraya sığdıramayacağım arkadaşlarım ve özellikle dostlarım, Ünal Burak KANYILMAZ, Halil TÜRKMEN, Murat BÜYÜKALP ve Pelin PALANCI'ya, her zaman ve her koşulda yardımlarını esirgemedikleri için,

Ve eşim Fulya DİNÇEL AKINCI'ya her karamsarlığa düştüğümde ışıyla aydınlattığı ve kızlarım Ela ve Ece AKINCI'ya doğdukları ilk günden beri yaşattıkları tarifsiz birçok harika duygu için,

Sonsuz TEŞEKKÜR ederim.

Aykut AKINCI

MALZEME KULLANIMIYLA AKILLANAN BİNALAR

ÖZ

İnsanoğlunun evrimleşmesiyle değişen ve çeşitlenen ihtiyaçlar, bunların karşılanmasında faydalanılan malzemelerin de gelişmesine yol açmıştır. Bu dinamik süreç birçok bilim dalında olduğu gibi malzeme biliminde de sürekli gelişmenin itici gücü olmuştur.

Günümüzde, klasik ‘çevre koşullarına direnen malzeme’ yaklaşımı yerine, daha çağdaş olan ‘çevre koşullarına kendini uyarlayabilen malzeme’ yaklaşımı önem kazanmaktadır.

Akıllı malzeme; sürdürülebilirlik, nano teknoloji, biyomimetik gibi popüler kavramlardan biridir ve cephelerde alg kullanımının sürdürülebilirlikle, kabukta titanyum dioksit pigment kullanımının nano teknoloji ile ilişkili olması gibi, birçok zaman bu kavramlarla arasında sıkı bir bağ bulunur.

Akıllı malzemelerin, yeni gelişen ve hala araştırılan bir alan olması sınıflandırılmasını güçleştirmekle birlikte, bu sınıflandırmalarda en yaygın kullanılan, Etki – Tepki parametreleridir. Ayrıca malzemenin kullanım yerine (cephe, strüktür, kabuk vb.) veya algılayıcı (sensör) ya da hareket ettirici (aktüatör) olup – olmamasına göre de sınıflandırmak mümkündür.

Bu tezde; akıllı malzeme kullanılan yapılar, yapının türü, malzemenin kullanıldığı yapı elemanı, malzemenin işlevi ve matristeki yeri açısından incelenmiş, farklı sınıflandırma yöntemleri kıyaslanarak Ghandi ve Thompson’ un akıllı malzeme matrisi tercih edilmiştir. ‘Etki – Tepki’ parametrelerinin altıya altı bir matriste konumlandırıldığı bu sınıflandırmanın mevcut malzemelere yönelik kapsayıcılığı ve gelecekteki malzemelere yönelik esnekliği de tercih edilmesinde önemli bir rol oynamıştır.

Sonuç olarak, ilerleyen teknolojiyle artan akıllı malzemelerin mimari uygulamalarda daha çok yer bulması, güvenilirlik, konfor, sürdürülebilirlik ve daha yaşanabilir meknlar yaratma olanaklarımızın giderek ve hızla yükselmesine yol açmaktadır.

Anahtar kelimeler: Akıllı malzemeler, sürdürülebilir mimarlık, nano teknoloji, biyomimetik



BUILDINGS THAT ARE GETTING SMART WITH MATERIAL USAGE

ABSTRACT

Changing and diversifying needs through evolution also led to improvement of materials used to resolve those needs. Like in all other scientific areas, this dynamism also led to improvements in material science.

Nowadays, instead of “materials durable against environmental conditions”, more contemporary approach supporting “materials which can adopt to environmental conditions” became more important.

Smart material is another popular concept like sustainability, nano technology, biomimicry, and similar to the relationship of nano technology with the use of algae and titanium dioxide pigments, all these concepts show tight relationships.

Although the concept of intelligent materials being new and evolving is making the classification difficult, the use of the action-reaction parameters is a more common approach in its classification. One can also classify according to the location where it is used, based on its sensory properties, or being an activator or not.

In this thesis, buildings utilizing intelligent materials are analysed based on the type of materials used, functionality of the materials, and its place within the matrix, and by comparing different classification methods Ghani and Thompson's intelligent material matrix is chosen. Being inclusive to existing materials and being flexible to accept future materials also played an important role to choose this method, which collects “action-reaction” parameters within six-by-six matrix.

In conclusion, intelligent materials supported by ever improving technological advancements are taking more and more roles in today's architectures, and leading to more opportunities to create safe, comfortable, durable, and more livable places.

Keywords: Intelligent materials, sustainable architecture, nano technology, biomimicry



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii
TABLolar LİSTESİ.....	xvii

BÖLÜM 1 – GİRİŞ

1

1.1 Çalışma Metodu	1
1.1.1 Çalışmanın Konusu.....	1
1.1.2 Çalışmanın Kapsamı.....	2
1.1.3 Çalışmanın Yöntemi	2
1.2 Kavramlar.....	3
1.2.1 Malzeme	3
1.2.2 Akıllı Malzeme	3
1.2.3 Akıllı Yapı	5

BÖLÜM 2 – AKILLI MALZEMELERİN TARİHSEL GELİŞİMİ VE SINIFLANDIRILMASI.....

9

2.1 Elektriksel Tepki Veren Akıllı Malzemeler	13
2.1.1 Elektriksel Etki – Elektriksel Tepki.....	13
2.1.2 Manyetik Etki – Elektriksel Tepki.....	13
2.1.2.1 Manyeto – Elektronik (Magneto – Electronics).....	13
2.1.2.2 Spin – Elektronik (Spin – Electronics)	13
2.1.2.3 Spintronik (Spintronics).....	13
2.1.2.4 Hall Etkisi (Hall Effect).....	14
2.1.3 Optik Etki – Elektriksel Tepki.....	14
2.1.3.1 Foto – İletken (Photo – Conductive).....	14
2.1.4 Isısal Etki – Elektriksel Tepki	14

2.1.4.1 Termo – Elektrik (Thermo – Electric)	14
2.1.4.2 Süper – İletken (Super – Conductivity)	15
2.1.4.3 Radyometre Etkisi (Radiometer Effect).....	16
2.1.4.4 Piro – Elektrik (Pyro – Electric)	16
2.1.5 Mekanik Etki – Elektriksel Tepki.....	17
2.1.5.1 Piezo – Elektrik (Piezo – Electric).....	17
2.1.5.2 Elektro – Striktif (Electro – Strictive).....	18
2.1.6 Kimyasal Etki – Elektriksel Tepki.....	18
2.2 Manyetik Tepki Veren Akıllı Malzemeler	18
2.2.1 Elektriksel Etki – Manyetik Tepki.....	18
2.2.1.1 Manyeto – Elektronik (Magneto – Electronics).....	18
2.2.1.2 Spin – Elektronik (Spin – Electronics)	19
2.2.1.3 Spintronik (Spintronics).....	19
2.2.2 Manyetik Etki – Manyetik Tepki.....	19
2.2.3 Optik Etki – Manyetik Tepki.....	19
2.2.3.1 Opto – Manyetik (Opto – Magnetic)	19
2.2.4 Isısal Etki – Manyetik Tepki	19
2.2.4.1 Curie Noktası ‘Sıcaklığı’ (Curie Point)	19
2.2.5 Mekanik Etki – Manyetik Tepki.....	20
2.2.5.1 Manyeto – Striktif (Magneto – Strictive).....	20
2.2.6 Kimyasal Etki – Manyetik Tepki.....	20
2.2.6.1 Manyeto – Kimyasal (Magneto – Chemical).....	20
2.3 Optik Tepki Veren Akıllı Malzemeler	20
2.3.1 Elektriksel Etki – OptikTepki.....	20
2.3.1.1 Elektro – Kromik (Electro – Chromic)	20
2.3.1.2 Elektro – Lüminesan (Electro – Luminescent)	21
2.3.1.3 Elektro – Optik (Electro – Optic).....	21
2.3.1.4 Piezo – Kromik (Piezo – Chromic).....	21
2.3.1.5 Kerr Etkisi (Kerr Effect)	21
2.3.1.6 Pockel Etkisi (Pockel Effect)	22
2.3.2 Manyetik Etki – OptikTepki.....	22
2.3.2.1 Manyeto – Optik (Magneto – Optic)	22

2.3.2.2 Piezo – Kromik (Piezo – Chromic).....	22
2.3.3 Optik Etki – OptikTepki.....	22
2.3.3.1 Optik bi stabilite (Optic bi – Stability)	22
2.3.4 Isısal Etki – OptikTepki.....	23
2.3.4.1 Termo – Kromik (Thermo – Chromic)	23
2.3.4.2 Termo – Lüminesan (Thermo – Luminescent)	23
2.3.5 Mekanik Etki – OptikTepki.....	24
2.3.5.1 Mekano – Kromik (Mechano – Chromic)	24
2.3.5.2 Reo – Kromik (Rheo – Chromic).....	24
2.3.6 Kimyasal Etki – OptikTepki.....	24
2.3.6.1 Renk Değiştirme (Colour – Change)	24
2.3.6.2 Turnusol (Litmus)	24
2.3.6.3 Işıldama (Luminescence)	24
2.4 Isısal Tepki Veren Akıllı Malzemeler.....	25
2.4.1 Elektriksel Etki – Isısal Tepki	25
2.4.1.1 Termo – Elektrik ‘Peltier’ (Thermo – Electric).....	25
2.4.2 Manyetik Etki – Isısal Tepki	25
2.4.2.1 Manyeto – Termal (Magneto – Thermal)	25
2.4.3 Optik Etki – Isısal Tepki.....	26
2.4.3.1 Foto – Termik (Photo – Thermic).....	26
2.4.4 Isısal Etki – Isısal Tepki	26
2.4.5 Mekanik Etki – Isısal Tepki.....	26
2.4.6 Kimyasal Etki – Isısal Tepki	26
2.4.6.1 Ekzo – Termik (Exo – Thermic).....	26
2.4.6.2 Endo – Termik (Endo – Thermic).....	26
2.5 Mekanik Tepki Veren Akıllı Malzemeler	27
2.5.1 Elektriksel Etki – MekanikTepki.....	27
2.5.1.1 Piezo – Elektrik (Piezo – Electric).....	27
2.5.1.2 Elektro – Striktif (Electro – Strictive).....	27
2.5.1.3 Elektro – Reolojik (Electro – Rheological)	27
2.5.1.4 Elektro – Kinetik (Electro – Kinetic).....	27
2.5.2 Manyetik Etki – MekanikTepki.....	28

2.5.2.1 Manyeto – Striktif (Magneto – Strictive).....	28
2.5.2.2 Manyeto – Reolojik (Magneto – Rheological)	28
2.5.3 Optik Etki – MekanikTepki.....	28
2.5.3.1 Opto – Mekanik (Opto – Mechanical).....	28
2.5.3.2 Foto – Akustik (Photo – Acoustic)	28
2.5.4 Isısal Etki – MekanikTepki.....	29
2.5.4.1 Şekil – Bellek (Shape – Memory).....	29
2.5.5 Mekanik Etki – MekanikTepki.....	30
2.5.5.1 Reopeksik (Rheopexic).....	30
2.5.5.2 Öksetik (Auxetic).....	30
2.5.5.3 İnceltip – Kesici (Shear – Thinning).....	32
2.5.5.4 Genleştirici (Dilatants).....	32
2.5.5.5 Newton Tipi Olmayan (Non – Newtonian)	32
2.5.5.6 Yalancı Plastik (Pseudo – Plastic)	32
2.5.6 Kimyasal Etki – MekanikTepki.....	33
2.6 Kimyasal Tepki Veren Akıllı Malzemeler	33
2.6.1 Elektriksel Etki – Kimyasal Tepki.....	33
2.6.1.1 Elektroliz (Electrolysis)	33
2.6.1.2 Elektro – Kimyasal (Electro – Chemical).....	34
2.6.1.3 Biyo – Elektrik (Bio – Electric).....	34
2.6.1.4 Elektro – Migrasyon ‘Göç’ (Electro – Migration).....	34
2.6.2 Manyetik Etki – Kimyasal Tepki.....	35
2.6.2.1 Nükleer–Manyetik–Rezonans (Nuclear–Magnetic–Resonance)....	35
2.6.2.2 Manyeto – Kimyasal (Magneto – Chemical).....	35
2.6.3 Optik Etki – Kimyasal Tepki.....	36
2.6.3.1 Foto – Kimyasal (Photo – Chemical).....	36
2.6.3.2 Fotosentez (Photosynthesis).....	36
2.6.3.3 Foto – Katalitik (Photo – Catalyst)	36
2.6.4 Isısal Etki – Kimyasal Tepki	37
2.6.5 Mekanik Etki – Kimyasal Tepki.....	37
2.6.6 Kimyasal Etki – Kimyasal Tepki.....	37
2.6.6.1 Katalizör (Catalysis)	37

BÖLÜM 3 – MİMARİ ÖRNEKLER 39

3.1 BIQ Evi (BIQ House).....	42
3.2 Bloom Pavyonu	47
3.3 Jubilee Kilisesi (Jubilee Church).....	51
3.4 HygroSkin Pavyonu	55
3.5 Kaohsiung Stadyumu (Kaohsiung Stadium)	60
3.6 Manuel Gea Gonzalez Hastanesi Cephesi	64
3.7 Lousiana Pavyonu (Lousiana Pavilion).....	68
3.8 CERN Bilim ve Yenilik Küresi (CERN Globe of Science and Inovation).....	72
3.9 Xicui Eğlence Merkezi (Xicui Entertainment Center)	76
3.10 Arap Dünyası Enstitüsü (Institut du Monde Arabe).....	81
3.11 NDIS Geelong	85
3.12 Atletik Dalgalar (Athletic Ripples)	89
3.13 Hipermembran (Hypermembrane)	92
3.14 Chanel Ginza	97
3.15 OR2	100
3.16 Nihon Kagaku Miraikan Bilim ve Yenilik Müzesi	103
3.17 Die Fabrik Callplus – Çağrı Merkezi	106
3.18 Cellophane Evi (Cellophane House)	109
3.19 MATscape	112
3.20 Swiss Tech Kongre Merkezi (Swiss Tech Convention Center).....	115
3.21 Kanton Kulesi (Canton Tower)	118
3.22 Sur Falveng Yaşlı Evi (Casa Falveng Seniorenzentrum).....	123
3.23 Ara Pacis Müzesi (Museo dell'Ara Pacis)	126
3.24 Cyclebowl.....	130

BÖLÜM 4 – SONUÇ..... 133

KAYNAKLAR..... 140

EKLER..... 156

Ek 1: KISALTMALAR.....	156
------------------------	-----

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Akıllı bina bileşenleri	7
Şekil 3.1 ‘Akıllı simge’ (smart symbol) lejantı	41
Şekil 3.2 Etki – tepki lejantı.....	42
Şekil 3.3 Biyo duyarlı cephe	44
Şekil 3.4 BIQ giriş cephesi.....	44
Şekil 3.5 SCC’nin geliştirdiği biyp-kütle.....	45
Şekil 3.6 Her biri 2,5 m x 0,7 m olan kümelerden oluşan “supernature” kabuk.....	45
Şekil 3.7 Enerji dönüşüm sistem şeması	46
Şekil 3.8 Bloom genel görünüm.....	48
Şekil 3.9 Termo-bimetal karolar	48
Şekil 3.10 Termo-bimetal çalışma prensibi	49
Şekil 3.11 Bloom imalat prensibi.....	50
Şekil 3.12 Bloom genel görünüm.....	50
Şekil 3.13 Jubilee Kilisesi	52
Şekil 3.14 Üç büyük kabuğu oluşturan Bianco Teksas Milenyum	52
Şekil 3.15 Termal avantaj sağlayan cephe	53
Şekil 3.16 Jubilee Kilisesi giriş cephesi.....	54
Şekil 3.17 Hygroskin dış görünüş	56
Şekil 3.18 Hygroskin iç görünüş	56
Şekil 3.19 Hygroskin tasarım yaklaşımı	57
Şekil 3.20 Hygroskin modül	57
Şekil 3.21 Hygroskin modül nem çalışma prensibi	58
Şekil 3.22 Hygroskin modül imalatı	59
Şekil 3.23 Hygroskin modül imalatı	59
Şekil 3.24 Kaohsiung Stadyumu giriş meydanı	61
Şekil 3.25 Kaohsiung Stadyumu	61
Şekil 3.26 Fotovoltaik paneller	62
Şekil 3.27 Fotovoltaik panel tasarım etütleri	62
Şekil 3.28 Çatı oluk sistemi	63
Şekil 3.29 Kaohsiung Stadyumu genel yerleşim.....	63

Şekil 3.30 Manuel Gea Gonzalez Hastanesi	65
Şekil 3.31 Prosolve 370E	65
Şekil 3.32 X ve I modüller	66
Şekil 3.33 Manuel Gea Gonzalez Hastanesi sistem kesiti	66
Şekil 3.34 Manuel Gea Gonzalez Hastanesi montaj şeması	67
Şekil 3.35 Manuel Gea Gonzalez Hastanesi cephe detayı	67
Şekil 3.36 Lousiana Pavyonu	69
Şekil 3.37 Lousiana Pavyonu	69
Şekil 3.38 Lousiana Pavyonu	70
Şekil 3.39 Tasarım yaklaşımı	71
Şekil 3.40 Lousiana Pavyonu imalatı	71
Şekil 3.41 Lousiana Pavyonu montajı	71
Şekil 3.42 CERN Bilim ve Yenilik Küresi	73
Şekil 3.43 İç ve dış kubbelerin ana yapısını oluşturan silindirik ahşap kemerler	73
Şekil 3.44 Bilim ve Yenilik Küresi elektrokromik cam	74
Şekil 3.45 Bilim ve Yenilik Küresi kesiti	75
Şekil 3.46 GreenPix Medya Duvarı	77
Şekil 3.47 GreenPix Medya Duvarı modülasyonu	77
Şekil 3.48 GreenPix Medya Duvarı	78
Şekil 3.49 GreenPix Medya Duvarı fotovoltaiik paneller	78
Şekil 3.50 Lamine cam ve fotovoltaiik paneller	80
Şekil 3.51 Cephe montaj detayı	80
Şekil 3.52 Cephe kesiti	80
Şekil 3.53 Arap Dünyası Enstitüsü giriş cephesi	82
Şekil 3.54 ‘Mashrabiya’	82
Şekil 3.55 Işığın iç mekân etkisi	83
Şekil 3.56 Arap motiflerinden esinlenen cephe formu	83
Şekil 3.57 Pencere mekanizması	84
Şekil 3.58 Diaframlar	84
Şekil 3.59 NDIS perspektif görünümü	86
Şekil 3.60 NDIS giriş cephesi	86
Şekil 3.61 Termokromik cam cephe	87

Şekil 3.62 Termokromik cam cephe	88
Şekil 3.63 Atletik Dalgalar vaziyet planı	90
Şekil 3.64 Atletik Dalgalar genel görünüm.....	90
Şekil 3.65 Atletik Dalgalar yürüyüş yolları	91
Şekil 3.66 Hipermembran genel görünümü	93
Şekil 3.67 Hipermembran modül birleşimleri.....	93
Şekil 3.68 Hipermembran mesnet noktası	94
Şekil 3.69 2. Demo.....	95
Şekil 3.70 2. Demo.....	95
Şekil 3.71 Hipermembran stadyum önerisi	96
Şekil 3.72 Hipermembran cephe önerisi	96
Şekil 3.73 Chanel Ginza.....	98
Şekil 3.74 Chanel Ginza iç mekan	98
Şekil 3.75 Chanel Ginza.....	99
Şekil 3.76 OR2 gündüz görünümü.....	101
Şekil 3.77 OR2 gece görünümü	101
Şekil 3.78 OR2 fotokromik polipropilen yüzeyler.....	102
Şekil 3.79 OR2 fotokromik polipropilen yüzeyler.....	102
Şekil 3.80 Geo-Cosmos.....	104
Şekil 3.81 Miraikan giriş cephesi.....	104
Şekil 3.82 MR akışkan damperi	105
Şekil 3.83 MR akışkan damperi	105
Şekil 3.84 Eski Cottbus Giyim Fabrikası.....	107
Şekil 3.85 “Bel Etage” iç mekân.....	107
Şekil 3.86 Zeolit katkılı alçıpan	108
Şekil 3.87 Cellophane House iç mekân.....	110
Şekil 3.88 Cellophane House güney cephesi	110
Şekil 3.89 SmartWarp	111
Şekil 3.90 SmartWarp	111
Şekil 3.91 Cellophane House	111
Şekil 3.92 MATscape genel görünüm.....	113
Şekil 3.93 MATscape sistem şeması.....	113

Şekil 3.94 MATscape piezoelektrik rüzgâr çivileri	114
Şekil 3.95 MATscape	114
Şekil 3.96 SwissTech Kongre Merkezi genel görünüm	116
Şekil 3.97 SwissTech Kongre Merkezi genel görünüm	116
Şekil 3.98 Ana fuayedeki Grätzel hücreleri	117
Şekil 3.99 Ana fuayedeki Grätzel hücreleri	117
Şekil 3.100 Kanton Kulesi genel görünüm	119
Şekil 3.101 Kanton Kulesi açık kafes yapı	120
Şekil 3.102 Kanton Kulesi sismik sensörler	121
Şekil 3.103 ER damper çalışma prensibi	122
Şekil 3.104 Kanton Kulesi HMD sistemi.....	122
Şekil 3.105 Kanton Kulesi HMD sistemi.....	122
Şekil 3.106 Sur Falveng güney cephe.....	124
Şekil 3.107 Sur Falveng genel görünüm.....	124
Şekil 3.108 Sur Falveng iç mekân.....	125
Şekil 3.109 Glass-X çalışma prensibi	125
Şekil 3.110 Ara Pacis Müzesi genel görünüm	127
Şekil 3.111 Ara Pacis Müzesi iç mekân.....	127
Şekil 3.112 Ara Pacis Müzesi ana salon	128
Şekil 3.113 Ara Pacis müzesi Lotus etkili beyaz yüzeyler	128
Şekil 3.114 Stocolor Lotusan boya çalışma prensibi	129
Şekil 3.115 Texlon folyo çalışma prensibi.....	131
Şekil 3.116 Cyclebowl genel görünüm	131
Şekil 3.117 Cyclebowl çekme çemberi.....	132
Şekil 3.118 Cyclebowl genel görünüm	132

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1 Mimaride kullanılan akıllı malzemelerin sınıflandırılması	10
Tablo 2.2 Addington ve Schodek'in akıllı malzeme sınıflandırması.....	11
Tablo 2.3 Ghandi ve Thompson'un akıllı malzeme matrisi.....	12
Tablo 3.1 BIQ Evi künyesi.....	43
Tablo 3.2 Bloom Pavyonu künyesi	47
Tablo 3.3 Jubille Kilisesi künyesi	51
Tablo 3.4 Hygroskin Pavyonu künyesi	55
Tablo 3.5 Kaohsiung Stadyumu künyesi	60
Tablo 3.6 Manuel Gea Gonzalez Hastanesi künyesi.....	64
Tablo 3.7 Lousiana Pavyonu künyesi	68
Tablo 3.8 Cern Bilim ve Yenilik Küresi künyesi.....	72
Tablo 3.9 Xicui Eğlence Merkezi künyesi	76
Tablo 3.10 Arap Dünyası Enstitüsü künyesi.....	81
Tablo 3.11 NDIS Binası künyesi	85
Tablo 3.12 Atletik Dalgalar künyesi	89
Tablo 3.13 Hipermembran künyesi.....	92
Tablo 3.14 Chanel Ginza Mağazası künyesi.....	97
Tablo 3.15 OR2 Pavyonu künyesi	100
Tablo 3.16 Nihon Kagaku Miraikan Bilim ve Yenilik Müzesi künyesi	103
Tablo 3.17 Die Fabrik Callplus Binası künyesi	106
Tablo 3.18 Cellophane Evi künyesi	109
Tablo 3.19 MATscape künyesi	112
Tablo 3.20 SwissTech Kongre Merkezi künyesi	115
Tablo 3.21 Kanton Kulesi künyesi.....	118
Tablo 3.22 Sur Falveng Yaşlı Evi künyesi.....	123
Tablo 3.23 Ara Pacis Müzesi künyesi.....	126
Tablo 3.24 Cyclebowl Pavyonu künyesi.....	130
Tablo 4.1 Addington ve Schodek'in sınıflandırmasında örnek yerleşimi.....	134
Tablo 4.2 Ritter'in sınıflandırmasında örnek yerleşimi	135

Tablo 4.3 Ghandi ve Thompson'un matrisinde örnek yerleşimi.....	138
---	-----



BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Çalışma Metodu

1.1.1 Çalışmanın Konusu

Mimarlık, kökleri çok eski zamanlara uzanan bir disiplindir. İlk Hominid'den (İki ayak üzerinde hareket edebilen insansı maymun, İnsangil), günümüz Homo Sapiens'ine (Modern İnsan) evrilen insanın gelişimine paralel olarak, mimarlıkta dinamik bir süreç geçirmiştir. İlkel insanın sadece barınma, güvenlik gibi temel gereksinimlerine cevap veren mimarlık, çağdaş insanın ihtiyaç çeşitliliği ve karmaşıklığı karşısında gerek teknolojinin, gerekse diğer disiplinlerin yardımıyla, yeni bir anlayışa yönelmiştir. Bu bağlamda iç ve dış etkilere direnç göstererek ayakta kalmaya çalışan geleneksel yapı anlayışı, yerini bu etkilere uyum gösterebilen akıllı yapı anlayışına bırakmıştır.

Utkutuğ (2002), Akıllı yapıları, "...sistem entegrasyonu ve otomasyona dayalı olarak, değişen koşulları algılama, cevaplama, uyum sağlama ve denetim yeteneği kazandırılmış binalar ..." (s.23) olarak tanımlıyor. Bu açıdan bakıldığında, enformasyon, bilgi toplama ve işleme gibi bilgisayar ve elektronik destekli bir zekâ binada ön plana çıksa da, sadece sistem bazında değil, malzeme ölçeğinde de bir akıllılık farklı bir aks olarak kendini göstermektedir. Bu aksa önemli katkı yapan Addington ve Schodek (2005); akıllı malzemenin, birden fazla çevresel koşula gerçek zamanlı sınırlı ve öngörülebilir tepki vermesi gerekliliğini belirterek, kavramın anlamının yerleşmesinde öncü olmuştur.

Biyomimetik (Biyo taklitsel), Nano Teknoloji, Eko Mimarlık, Dijital Mimarlık gibi kavramlar, zaman zaman bir birleriyle ve akıllı malzemelerle kesişim kümelerinde bulunsalar da, bu çalışmada ana temayı genelde Malzeme Kullanımıyla Akıllanan Binalar, özelde Mimarlıkta uygulama olanakları olan Akıllı Malzemeler

oluşturacaktır. Yukarıda değinilen konulara, bu ana tema çerçevesinde, konuyu desteklemek ve pekiştirmek için yer verilecektir.

1.1.2 Çalışmanın Kapsamı

Bu çalışmada, akıllı malzemelerin uygun yapı elemanlarında özellikle de binalardaki kullanım olanakları irdelenmektedir. Öncelikli olarak kavramların anlamları açıklanmış, akıllı malzemeler sınıflandırılarak, uygulanmış örnekler incelenmiştir.

Akıllı malzemeler günümüzde araştırılan ve gelişen yeni bir alandır. Bu bakımdan gerek tanımlar, sınıflandırma gibi genel kavramların oluşması, gerekse yeni katılan malzemelerle eleman sayısının artması neticesinde dinamik bir yapıya sahiptir. Bu dinamik yapı içinde akıllı malzemeleri en yalın şekli ile iki ana grupta toplayabiliriz. Şekil (nitelik ve/veya nicelik) Değiştirebilen Akıllı Malzemeler ve Enerji Dönüştüren Akıllı Malzemeler. Konunun derinliği sebebi ile bu çalışma kapsamında bu yalın sınıflandırma yerine, Ghandi ve Thompson'un etki ve tepkiyi altıya altı bir matrisle karşılaştırdığı sınıflandırması tercih edilmiş, ayrıca akıllı malzemelerin diğer disiplinlerde kullanımından ziyade yapı ile ilişkili uygulamalarına yer verilmiştir.

1.1.3 Çalışmanın Yöntemi

Çalışma kapsamında, yazılı (kitap, süreli yayın, bilimsel makale ve tez) ve dijital (elektronik kütüphane, internet, cd, dvd vb.) literatür taraması yapılmış, konu ile ilgili kavramlar (akıllı malzeme, uyum gösteren binalar, duyarlı binalar, malzeme teknolojileri vb.) sınıflandırılarak derlenmiş, konu yapı örnekleri ile desteklenmiş ve mimarlıkta kullanılan akıllı malzemeler tanımlanarak, irdelenen örnekler literatürde yaygın olarak kullanılan üç farklı tabloya (Axel Ritter, Addington ve Schodek, Ghandi ve Thompson) uyarlanarak gelecek projeksiyonu yorumlanmaya çalışılmıştır.

1.2 Kavramlar

1.2.1 Malzeme

Arapça kaynaklı bir sözcük olan malzeme; araç, gereç anlamına gelmektedir. Bir yapının hazırlanmasında kullanılan tüm bilgi ve kaynaklarda malzeme olarak tanımlanmaktadır. Malzemeleri çeşitli şekillerde sınıflandırabiliriz. Malzemeleri, yapıda kullanıldığı yere göre; taşıyıcı (betonarme, çelik, ahşap vb), bölücü (tuğla, briket vb.) ve örtücü (dış cephe boyası), şekil değiştirebilme kabiliyetlerine göre; elastik, plastik ve elasto-plastik, fiziksel özelliklerine göre; homojen, heterojen, izotrop ve anizotrop, kimyasal özelliklerine göre; metalik, amorf, bileşik, koloidal ve seramik olarak sınıflandırmak mümkündür. Bu genel sınıflandırmanın dışında, daha farklı sınıflandırmalarda yapılabilir. Isı, ışık gibi çeşitli dış uyaranlara verdiği tepkilere göre de malzemeler sınıflandırılmış, dış uyaranlara direnç göstererek bütünlüğünü korumaya çalışanlara klasik, uyum gösterip, kendini uyarlayanlara da akıllı malzeme denmiştir.

1.2.2 Akıllı Malzeme

Teknolojinin ilerlemesi ile birlikte, insanoğlu artık doğada bulunan malzemeleri biçimlendirerek yapıya dönüştürmenin ötesinde arayışlara girmiştir. Bu anlamda malzemenin kullanım ömrü boyunca mümkün olduğunca özelliklerini değiştirmemesini öngören klasik malzeme anlayışı yerini çevreden gelen uyaranlara uyum gösterebilen akıllı malzeme anlayışına terk etmiştir.

Oxford Living Dictionaries’ te Akıllı malzeme tanımı “Isı gibi bazı dış çevresel uyaranlara maruz kaldıklarında belirli bir biçimde tepki verecek şekilde tasarlanmış çeşitli yapay malzemelerden herhangi biri” olarak yer almaktadır (Meaning of smart material in English, b.t.).

Addington ve Schodek (2005), akıllı malzemeyi; dış ortamdan gelen kuvvet, ısı, ışık, pH gibi fiziksel, kimyasal veya biyolojik etkilere karşı, niteliğini değiştirerek ve/veya enerji dönüşümü yaparak tepki veren malzemeler olarak tanımlamaktadır.

Prof. Dr. Ayşegül AKDOĞAN EKER (2018), İleri Malzemelerin Dünyadaki Gelişim Durumu konulu makalesinde, akıllı malzemeleri; kendinde ve çevresindeki değişimlere tepki veren, belirli işlevleri hemen ve daima gerçekleştirebilen malzemeler olarak tarif etmektedir.

Okay (2003), ısıtıldıklarında genleşmesi, kolay işlenmesi ve hatta iletkenliklerinin artmasını örnek göstererek, bir bakıma bütün malzemelerin belli bir dereceye kadar akıllılığının söz konusu olduğunu belirtir. Ancak malzemeyi gerçekten akıllı yapanın bu tip değişimlerin ortaya çıkmasında malzemenin tasarımı olduğu görüşündedir.

‘Akıllı Malzemelerin Mimarlıkta Kullanımı’ ile ilgili yazısında, Orhon; Akıllı malzeme yaklaşımı mimarlığa uygulandığında ‘ortam şartları ile mücadele eden’ yapı anlayışı yerini ‘çevresel uyaranlara yanıt vererek ortam şartlarına uyum gösteren’ yapı anlayışına bırakmaktadır. Bu yaklaşımda yapıya atfedilen ‘akıllılık’ kavramı, akıllı malzeme kullanarak uygun biçimde tasarlanan yapı elemanları veya bileşenlerinin bir sonucudur (Orhon,2012,s.18) diyerek, akıllılık kavramının mimarlık disiplindeki algısına ışık tutmaktadır.

Akıllı malzemelerin en önemli çalışma ilkesi, malzemeye dış uyarıcı ile şekil verilmesi ve bu uyarıcının kaldırılması ile malzemenin tekrar eski halini almasıdır.

Genel anlamda; akıllı malzemeler, kuvvet, basınç gibi dış uyarıları ya da yapısal sistemdeki hata ve hasar gibi iç değişimleri algılayan ve yapılarını, fonksiyonlarını, özelliklerini (mekaniksel, elektriksel, şekilsel) değiştirerek cevap verebilen malzemeler olarak tanımlanır.

1.2.3 Akıllı Yapı

Akıllı yapı dediğimizde daha dar anlamıyla akıllı binalar akla gelmektedir. Akıllı binalar oldukça geniş bir kavramı ifade eder. Binada kullanılan malzemenin etkisi binayı akıllı olarak betimlerken, çeşitli uyaran ve devindirenler ve elektronik bileşenler yardımıyla da bina akıllanabilir.

‘Akıllı bina’ teriminin mimarlık jargonunda yer alması ilk olarak 1980’li yılların başlarında, Washington’da bulunan Akıllı Bina Kurumu’nun yaptığı bir tanımla başlamıştır

Literatürde akıllı bina ile ilgili pek çok tanıma rastlanır. Örneğin, Avrupa Akıllı Bina Grubu (EIBG: European Intelligent Building Group) akıllı binaların, Organizasyonların çalışma amaçlarını gerçekleştirmelerini sağladığını, bunu yaparken bina kullanıcılarının verimliliğini arttıran bir ortam oluşturduğunu ve kullanılan kaynakların da ömür boyu en az maliyetle, verimli bir şekilde yönetimini sağladığını ifade eder (Nguyen ve Aiello, 2013).

Amerikan Akıllı Bina Enstitüsü (IBI: U.S Intelligent Building Institute) ise akıllı binayı; dört ana unsur üzerinden tarifler. Bu yaklaşıma göre, “...binayı oluşturan; sistemler, strüktürler, servisler ve yönetimin optimizasyonu ve bunlar arasındaki karşılıklı ilişkilerin sağlanmasıyla üretken ve maliyet verimli bir ortam sağlanır.” Enstitü bütün akıllı binaların sahip olduğu tek ortak özellikten bahseder. Bu özellik akıllı binaların; “...değişime, maliyet verimli ve uygun şekilde uyum sağlayan strüktürlü tasarımlar” olmasıdır (Nguyen ve Aiello, 2013).

Japonya’daki akıllı bina yaklaşımı da dört ana unsur üzerine odaklanmaktadır:

- Bilgi almak, bilgiyi iletmek ve yönetim verimliliğini desteklemek için merkez görevi görmek
- Kullanıcılarını tatmin etmek ve onlara kolaylıklar sağlamak.
- İdari hizmetlerin sunumunda yönetim rasyonalizasyonu sağlayarak, daha özenli ve daha düşük maliyetli çözümler üretmek,

- Değişen sosyolojik ortamlara, çeşitli ve karışık/karmaşık ofis işleri ve aktif iş faaliyetlerine uygun olarak hızlı, esnek ve ekonomik tepkiler verebilmek (IBE, 1992).

Türkiye’de ise akıllı binayı; Doğan Tekeli ‘bir karar alabilme ve duruma uyma yeteneği’ (Zağpus, 2002 s.157), Konuralp ‘verilen veya edinilmiş programa göre veya yüklenmiş veya yüklenilmiş performansı yardım almadan kendiliğinden yapmak’ (Zağpus, 2002 s.170) ve Bektaş ‘...kirlletmeyen, aynı zamanda kirlletmenin karşılığını da ödeten yapı’ olarak tanımlamıştır (Zağpus, 2002).

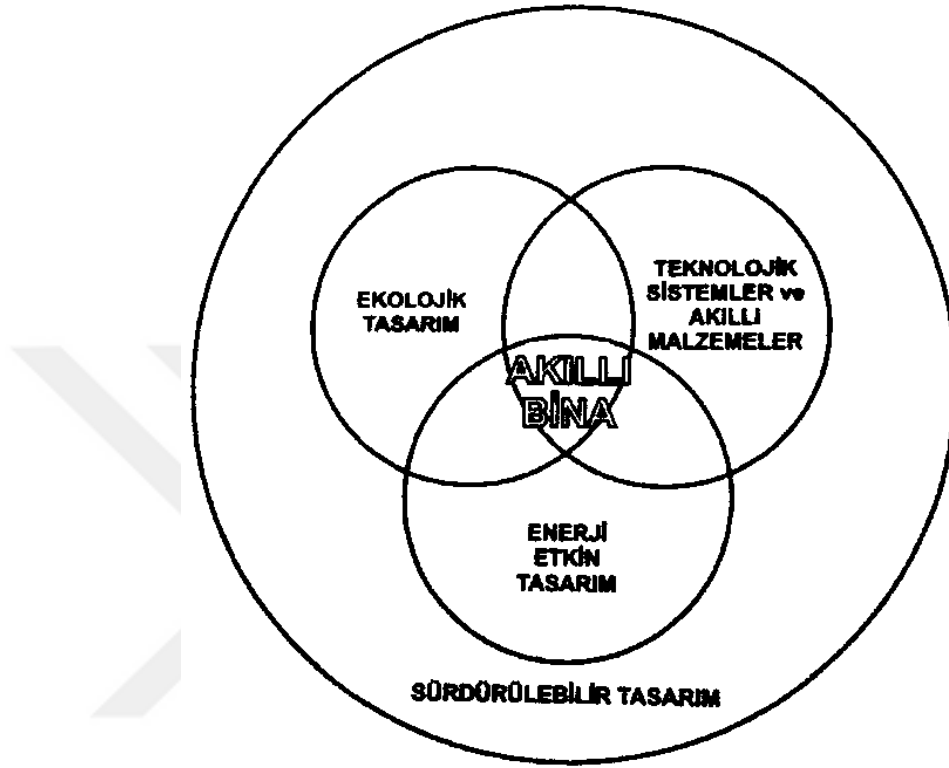
Zağpus’un (2002), tez çalışmasında görüşme yaptığı mimarlara göre, “akıllı” sıfatı daha çok, müteahhitlerin, elektronik ve otomatik kontrol cihazları satıcılarının yeni piyasanın propagandası ile yapılan abartılı ve iddialı bir adlandırmadır. Bu nedenle, bu tür binalara tasarımcılar tarafından, yeni isim alternatifleri oluşturulmaya başlanmıştır. Bunlardan bazıları; “doğru yerde doğru sistem kullanılması”, “e-place”, “çağdaş yapılar”, “robot binalar”.

Mangan (2006), akıllı binaların tanımlanmasında göz önünde bulundurulacak en önemli özelliklerden birinin enerji korunumu olduğunu belirterek; akıllı binaların enerjiyi % 100’e yakın verimde kullanmayı hedefleyen binalar olduğunu belirtmektedir.

Akıllı bir yapı yapmak için daha tasarım aşamasında hemen harekete geçilmelidir. Bu hem günümüzdeki hem de gelecekteki teknolojiyi düşünmemizi gerektirir. Bu sürecin diğer bir açısı şudur ki yapının kendisi ölçülebilir ve esnek olmalıdır. Bu bütün alanlarda büyümeyi içerir, yerleşim yerleri genişler, network ağı artar. Eğer bunların hepsi baştan itibaren düşünülürse bütünü yapmak kolaylaşır (Michas, 2006).

Genel olarak tanımlamalar; akıllı binayı, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan, içinde teknolojik alt sistemleri barındıran, yapımında akıllı malzemeler kullanılan, sahip olduğu aktif ve pasif sistemlerle; enerjiyi verimli ve etkin kullanan, konfor ve sistem işletimi en yüksek düzeyde olan, bugünün ve yarının kullanıcılarının fiziksel ve

psikolojik gereksinimlerine cevap verebilecek, esnek kullanım özelliklerine ve çözümlerine sahip, ekolojik açıdan duyarlı, sürdürülebilir yapıdır şeklinde ifade etmektedir (Zağpus, 2002) (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 Akıllı bina bileşenleri (Zağpus, 2002)

Akıllı bina özelliklerini;

1. Kullanıcı rahatlığı ve uyumunu sağlayarak, rahat ve güvenli bir çalışma veya yaşama ortamı sağlama,
2. Enerji etkin tasarım kriterlerini içermesi,
3. Ekolojik tasarım kriterlerine uyarak çevreye duyarlı olma,
4. İleri teknoloji sistemlerini kullanma (algılayan, ölçen, değerlendiren, gerektiğinde karar veren ve birbirleriyle entegre çalışan ve değişime uygun bir teknolojik altyapıya sahip),
5. Akıllı malzemeler kullanma,
6. Sürdürülebilir olma,
7. Tasarım aşamasında maliyet analizleri yapma,
8. Atıkları azaltma,

9. Tüm bu kriterlerin tasarım aşamasında dikkate alınarak, mimar ilgili mühendisler, çevrebilimciler ve kullanıcılar ile birlikte organize olarak yürütme şeklinde sıralayabiliriz.

Bütün bu yaklaşımlar ışığında, ‘akıllı bir bina’, kullanıcılarına daha konforlu kullanım koşulları sağlamak ve bu esnada tüketilecek enerjiyi daha verimli kullanmak için; öğrenme, uyum sağlama ve çevresine içgüdüsel olarak tepki verebilmesini sağlayan bazı insani özellikler ile bezenmiş olmalıdır.



BÖLÜM 2

AKILLI MALZEMELERİN TARİHSEL GELİŞİMİ VE SINIFLANDIRILMASI

Akıllı malzemeler hem ürün çeşitliliği, hem de her gün gruba yeni dâhil olan türleri ile dinamik bir yapıya sahiptir. Akıllı malzemelerin tamamını bir tarihsel süreç içinde incelemek oldukça karmaşık ve bu tezin dışında bir konudur. Bu bakımdan, genel bir bilgilendirme ile bazı malzemelerin tarihsel gelişimine yer verilmiştir.

Akıllı malzemeler ile ilgili ilk araştırma Arne OLANGER tarafından 1938 yılında yapılmıştır (Bedeloğlu, 2011). 1970 yılında çevresel koşullara yanıt veren mimarlık (responsive architecture) kavramı ilk kez NEGREPONTE tarafından ortaya atılmıştır (Orhon, 2013a). Kendini çevresel koşullara uyarlayan bir yapı kabuğu ilk kez Jean NOUVEL tarafından tasarlanan, 1981 – 1987 yılları arasında yapılan Arap Dünyası Enstitüsü (Institut du Monde Arabe) yapısında uygulanmıştır (Orhon, 2013a). 1985 yılında SVENSSON ve GRANGVIST tarafından ilk kez ‘Akıllı Cam’ terimi kullanılmıştır (Pehlivan, 2007).

Günümüzde, doğada bulunan malzemelerin, çıkarılıp, şekillendirilip geleneksel fonksiyonları karşılaması artık yeterli olmamaktadır. Malzemelerin içinde bulundukları sistemlerde aktif rol üstlenmesi, dış uyaranlara uyum sağlaması yani akıllanması tercih edilmelerinde etkin rol oynamaktadır. Her gün pek çok sektör ve birçok malzeme akıllı dünyanın paydaşları arasına katılmaktadır. Bu sebeple, bu geniş dünyanın daha verimli kullanılabilmesi için bir sınıflandırma ihtiyacı doğmuştur. Literatürde birçok farklı sınıflandırmaya rastlamak mümkündür. Axel RITTER ‘Mimarlıkta, İç Mimarlıkta ve Tasarımda Akıllı Malzemeler’ (Smart Materials in Architecture, interior architecture and design’ adlı kitabında temel olarak akıllı malzemeleri; özellik değiştiren, enerji alış-verişi yapan ve madde alış-verişi yapan olmak üzere üçe ayırmıştır. Söz konusu sınıflandırmada, tabloda; uyarıcı ve malzemenin bu uyarıcıya verdiği tepkinin yer aldığı sütunlarda bulunmaktadır (Tablo 2.1).

Tablo 2.1 Mimaride kullanılan akıllı malzemelerin sınıflandırması (Ritter, 2007)

	MALZEME TÜRÜ		UYARICI	TEPKİ
ÖZELLİK DEĞİŞTİREN AKILLI MALZEMELER	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
ENERJİ ALIŞVERİŞİ YAPAN AKILLI MALZEMELER	Şekil Değiştiren Akıllı Malzemeler	Şekil Hafızalı Alaşım (SMA)	Sıcaklık	Şekil Değişimi
	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
MADDE ALIŞVERİŞİ YAPAN AKILLI MALZEMELER	Gaz/Su Depolayan Akıllı Malzemeler	Mineral Emilimi Yapan Malzemeler (MAb, MAd)	Sıcaklık, Kimyasal Ortam	Gaz/Su Depolama

Sınıflandırmalar içinde popüler olan bir başka sınıflama da Addington ve Schodek'in 'Mimarlık ve Tasarımcılık için Akıllı Malzemeler ve Teknolojileri' (Smart Materials and Technologies for the architecture and design professions) adlı kitabında yer alan; Tip I, Tip II ve Tip II tersinir olarak yaptığı sınıflamadır (Tablo 2.2). Yapılan

sınıflandırmalar farklılıklar göstermekle birlikte, ortak noktaları etki ve tepki bölümlerinin sınıflandırmada yer almasıdır. Bu bakımdan Ghandi ve Thompson'un altına altı matrisi işlevsellik bakımından daha kullanışlıdır (Tablo 2.3).

Tablo 2.2 Addington ve Schodek'in akıllı malzeme sınıflandırması (Addington ve Schodek, 2005)

AKILLI MALZEME TİPİ	ETKİ	TEPKİ
Tip I – Özellik Değiştiren		
Termokromik	Sıcaklık Farkı	Renk Değişimi
Fotokromik	Radyasyon (Işık)	Renk Değişimi
Mekanokromik	Deformasyon	Renk Değişimi
Kemokromik	Kimyasal Konsantrasyon	Renk Değişimi
Elektrokromik	Potansiyel Elektrik Farkı	Renk Değişimi
Likit Kristal	Potansiyel Elektrik Farkı	Renk Değişimi
Asılı Parçacık	Potansiyel Elektrik Farkı	Renk Değişimi
Elektro Akışkan (elektroreolojik)	Potansiyel Elektrik Farkı	Sertlik/Vizkozite Değişimi
Manyeto Akışkan (magnetoreolojik)	Potansiyel Elektrik Farkı	Sertlik/Vizkozite Değişimi
Tip II – Enerji Değişimi		
Elektro Işıldama (elektrolüminesan)	Potansiyel Elektrik Farkı	Işık
Foto Işıltama (fotolüminesan)	Radyasyon	Işık
Kimyasal Işıldama (kemolüminesan)	Kimyasal Konsantrasyon	Işık
Isısal Işıldama (termolüminesan)	Sıcaklık Farkı	Işık
Işık Yayan Diod (LED)	Potansiyel Elektrik Farkı	Işık
Fotovoltaik	Radyasyon (Işık)	Potansiyel Elektrik Farkı
Tip II – Enerji Değişimi (Tersinir)		
Piezo elektrik	Deformasyon	Potansiyel Elektrik Farkı
Piro elektrik	Sıcaklık Farkı	Potansiyel Elektrik Farkı
Termo elektrik	Sıcaklık Farkı	Potansiyel Elektrik Farkı
Elektro Sınırlayıcı (electrostriktif)	Potansiyel Elektrik Farkı	Deformasyon
Manyeto Sınırlayıcı (magnetostriktif)	Manyetik Alan	Deformasyon

Tablo 2.3 Ghandi ve Thompson'un akıllı malzeme matrisi (Ghandi ve Thompson, 1992)

Tepki Etki	Elektiriksel	Manyetik	Optik	Isısal	Mekanik	Kimyasal
Elektiriksel		Manyeto – Elektronik, Spin – Elektronik, Spintronik,	Elektro – Kromik, Elektro – Lüminesan, Elektro – Optik, Piezo – Kromik, Kerr Etkisi, Pockel Etkisi,	Termo – Elektrik (Peltier),	Piezo – Elektrik , Elektro – Striktif, Elektro – Reolojik , Elektro – Kinetik,	Elektroliz, Elektro – Kimyasal , Biyo – Elektrik, Elektro – Migrasyon ,
Manyetik	Manyeto – Elektronik , Spin – Elektronik , Spintronik, Hall Etkisi,		Manyeto – Optik, Piezo – Kromik,	Manyeto – Termal,	Manyeto – Striktif , Manyeto – Reolojik,	Nükleer – Manyetik – Rezonans, Manyeto – Kimyasal,
Optik	Foto – İletken,	Opto – Manyetik,	Optik bi Stabilitate,	Foto – Termik,	Opto – Mekanik, Foto – Akustik,	Foto – Kimyasal, Fotosentez, Foto – Katalitik,
Isısal	Termo – Elektrik, Süper İletken, Radyometre Etkisi, Piro – Elektrik,	Curie Noktası,	Termo – Kromik, Termo – Lüminesan,		Şekil Bellek,	
Mekanik	Piezo – Elektrik, Elektro – Striktif,	Manyeto – Striktif,	Mekano – Kromik, Reo – Kromik,		Reopeksik, Öksetik, İnceltilip/Kesici, Genleştirici, Newton Tipi Olmayan, Yalancı Plastik,	
Kimyasal		Manyeto – Kimyasal,	Renk Değiştirme, Turnusol, İşildama,	Ekzo – Termik, Endo – Termik ,		Katalizör,

2.1 Elektriksel Tepki Veren Akıllı Malzemeler

2.1.1 Elektriksel Etki – Elektriksel Tepki

Bu gruba dâhil bir element matriste yer almamaktadır.

2.1.2 Manyetik Etki – Elektriksel Tepki

2.1.2.1 Manyeto – Elektronik (Magneto – Electronics)

Manyeto – elektronik kavramı, manyetik alan ve elektroniği bir araya getiren materyaller için kullanılır. Bu da bir ürünün diğerini kontrol edebileceği anlamına gelir. Örneğin manyetik bir ürün, bir elektrik sinyali kullanılarak kontrol edilebilir (Spintronik, b.t.).

2.1.2.2 Spin – Elektronik (Spin – Electronics)

Klasik fizikte bir cismin dönme açısının ölçüsü (açısal momentum), yörüngesel (dış) hareketten oluşur. Kuantum fiziğinde de elektron, proton gibi temel parçacıkların hareketleri incelendiğinde de benzer durum olmakla birlikte, iç açısal dönme yani spinden de bahsedilir. Klasik fizikte karşılığı olmayan bu içsel açısal dönme ölçüsünü, kütle ve elektrik yükü gibi elektronların sahip olduğu temel özelliklerden biri olarak kabul etmek gerekir. Dolayısı ile spin elektronik malzemeler, elektronların dönme açısı ile ilişkili malzemelerdir (Spintronik, b.t.).

2.1.2.3 Spintronik (Spintronics)

Spintronik “dönüş tabanlı elektronik” kelimelerinden türemiştir, magneto-elektronik olarak da ifade edilir. Elektronların kuantum özelliklerini kullanarak dönüş ve yük durumlarından fayda sağlamayı amaçlayan henüz gelişme evresinde olan bir teknolojidir. Dönüş yönü, yukarı ya da aşağı olmak üzere zayıf bir manyetik enerji durumu saptanabilmektedir (Spintronik, b.t.).

2.1.2.4 Hall Etkisi (Hall Effect)

Akım yüklü bir iletken, manyetik alana maruz bırakıldığında, akıma ve manyetik alana dik olacak şekilde potansiyel bir fark üretilir. Bu etki ilk olarak 1879 yılında Amerikalı fizikçi Edwin Herbert Hall tarafından gözlenmiş ve buna ithafen Hall Etkisi olarak tanımlanmıştır. Hall etkisinin, zıt yönlerde hareket eden pozitif ve negatif yükleri birbirinden ayırması önemli özelliklerinden biridir (Hall Etkisi, b.t.).

Birçok sensörde kullanım olanağı bulmaktadır. Örneğin akım ve basınç sensörleri, sıvı akış sensörleri ve dönen hız sensörleri Hall etkisinin kullanıldığı sensörlerin bazılarıdır.

2.1.3 Optik Etki – Elektriksel Tepki

2.1.3.1 Foto – İletken (Photo - Conductive)

Bir yarı iletkende elektronlar değerlik bandından iletkenlik bandına ışık fotonu ile uyarılabiliriyorsa, bu tür yarı iletkenlere foto iletken denir. Fotosel ve benzer cihazlarda kullanılır. Silisyum veya germanyum gibi dört değerlik elektronlu elementel yarı iletkenler yanında bileşik şeklinde de yan iletkenler yapılabilir (By Gurur, 2017).

2.1.4 Isısal Etki – Elektriksel Tepki

2.1.4.1 Termo – Elektrik (Thermo – Electric)

Termoelektrik terimi, ısı enerjisi ve elektrik enerjisi arasındaki ilişkiyi ve bir birine dönüşümünü tanımlar. 1821 yılında Thomas Johann Seeback tarafından keşfedilmiştir. XIX. yüzyılın ilk çeyreğinden beri bilinmesine rağmen yaygın bir kullanım alanı bulması uzun zaman almıştır. Termoelektrik ile ilgili önemli gelişmelerden biri de 1834 yılında, Fransız Bilim Akademisi'nde, Jean Charles Athanase Peltier tarafından iki farklı iletkenin birleşme noktasındaki sıcaklık anormallikleriyle ilgili bir makale yayınlaması ile yaşanmıştır. Etkiyi ilk ifade eden Peltier'e itafen olgu Peltier etkisi

olarak adlandırılmıştır. Peltier, etkinin sebebini, iletkenlerin sertlik, yumuşaklık ya da elektriksel iletkenlik gibi fiziksel özelliklerine bağlamış, deney sonuçları teorik açıklamalarını desteklemediği zamanlarda da ölçümlere inanmayı reddetmiştir. Makalenin yayını takip eden birkaç yıl boyunca vatandaşı Antoine Henri Becquerel ve diğer araştırmacılar Peltier Etkisi'nin gerçek doğasını açıklamaya çalışmışsa da konu, 1898 yılında Alman fizikçi Heinrich Lenz tarafından açıklığa kavuşturulmuştur (Pişkin, 2006).

Termoelektrik malzemeler, bir araya geldiğinde ısı pompası görevi yapan özel bir tür yarı iletkenlerden oluşur. Doğru akımla düşük bir voltaj verildiğinde + dan – ye, yani akım yönünde ısı akışı olur. Genellikle tek ya da daha yüksek soğutma kapasitesi sağlamak için birden çok çift olarak kullanılırlar. Modülün bir tarafı soğuturken, diğer tarafı ısıtır ve bu etki tersinirdir. Bu soğutma uygulamalarına Peltier Soğutucuları adı verilir. Peltier termoelektrikleri kompresörlü soğutuculardan daha güvenilir olduğundan hassaslığın önemli olduğu uygulamalarda kullanılır.

Termoelektrik soğutma aletleri, küçük ve hafif olup, hassas sıcaklık kontrolü sağlar ve sessiz çalışır. Buna karşılık, düşük enerji verimliliği sebebi ile fiyatlarının ve üretim maliyetinin yüksek oluşu dezavantajları olarak sayılabilir.

2.1.4.2 Süper – İletken (Super – Conductivity)

1908 yılında Hollandalı fizikçi Heike Kamerlingh Onnes'in Helyum'u sıvı faza dönüştürebilmesi ile maddenin 4,2 Kelvin'e kadar düşük sıcaklıklarda fiziksel özelliklerinin araştırılmasını olanaklı kılmıştır. Onnes bu keşfinden sonra, düşük sıcaklıklarda çeşitli metallerin elektriksel direnç değişimlerini incelenmiş ve yaklaşık üç yıl sonra cıva metalinde doğrusal akım elektriksel direncinin kritik sıcaklık olarak tanımladığı sıcaklık ve altında ölçülemeyecek kadar küçük olduğunu gözlemlemiştir. Daha sonra bu değerin sıfır olduğu anlaşılmıştır. Bu heyecan verici gözlem süper iletkenliğin keşfi olarak bilinir. Kamerlingh Onnes tüm bu çalışmaları ile 1913 yılı Nobel Fizik Ödülü'nün sahibi olmuştur. Yapılan çalışmalar ile 1913 yılında kurşunun 7,2 K.'da, 1930 yılında da Niyobyumun 9,2 K.'da süper iletken olduğu anlaşılmıştır.

1933 yılına kadar süper iletkenin bir ideal iletken olduğu, yani sadece sıfır dirence sahip olduğu düşünülmüştür. Kusursuz diyamanyetizma özelliği keşfinden yaklaşık 22 yıl sonra W. Meissner ve R. Ochsenfeld tarafından gözlenmiştir (Süperiletkenlik tarihi, b.t.).

Elektriksel iletkenlikleri sonsuza ulaşan maddeler süper-iletken olarak adlandırılır. Kritik sıcaklık olarak tanımlanan sıcaklıkların altına soğrulan bir takım element ve alaşımlara süper iletkenlik özelliği kazandırılabilir. Süper-iletken maddelerden elektrik akımı, herhangi bir dirençle karşılaşmadan geçebilir. Süper-iletken maddelerin bir diğer özelliği de içlerinde bulunan manyetik akıyı mükemmel bir diyamanyetiklik özelliği göstererek dışarı itmeleridir. Bu özellik Meissner etkisi olarak bilinir. Süper iletken maddeler yüksek akımları geçebilir.

2.1.4.3 Radyometre Etkisi (Radiometer Effect)

Işınölçer olarak da adlandırılan Radyometre, enerji ışınlarının ölçümünde kullanılır. Havanın etkilerinden yalıtılmış bir fanusta bulunan ve serbestçe dönebilen dört kanatlı bir çarktan oluşur. Çarkın kanatların bir yüz siyah, diğer yüz beyaz olacak şekilde oluşturulur. Kanatlara ışık geldiğinde, ışınlar koyu renkli yüzeyler tarafından açık renkli yüzeylere göre daha fazla soğrulur ve bu da koyu renli yüzeylerin daha fazla ısınmasına yol açar. Yüzeylere çarpan gaz molekülleri kanatçıklara çarparak hareket etmelerine neden olur ve böylece ışık enerjisi hareket enerjisine dönüşür (Radyometre, b.t.).

2.1.4.4 Piro – Elektrik (Pyro – Electric)

Malzemenin sıcaklık değişimleri sonucu bir elektrik alana neden olması Piro-elektrik olarak tanımlanır. Birtakım kristaller ısı farklılığıyla belli yönde, elektrik ekseninin iki ucunda pozitif ve negatif olarak zıt elektrikle yüklenir. Elektrik eksen kristalin polar eksenine uyar; kristalin bu özelliğine piro elektrik özellik denir (Minerallerin Elektriksel Özellikleri, b.t.).

2.1.5 Mekanik Etki – Elektriksel Tepki

2.1.5.1 Piezo – Elektrik (Piezo – Electric)

1817 yılında Fransız mineralog René Just Haüy Piezoelektrik etki kavramından bahsetmişse de (Piefort, 2001), bilimsel olarak kanıtlanması, 1880 yılında Fransız fizikçiler Jacques ve Pierre Curie kardeşlerin kuvars, turmalin, topaz, Rouchelle tuzu gibi bazı kristallere basınç uyguladıklarında malzeme üzerinde elektrik yükü oluştuğunu fark etmesi sonucunda olmuştur (Bottom, 1981).

1881 yılında Fransız fizikçi Jonas Ferdinand Gabriel Lippmann direkt etki gösteren malzemenin ters etki göstermesi gerektiğini öne sürmüş ve bunun sonucunda ters piezoelektrik etki de Cure kardeşler tarafından aynı yıl ispatlanmıştır (Yazıcı, Alp, Kaygusuz, Kolaylı ve Vieil, 2003).

Piezoelektrik malzemelerin şekil değiştirebilmesi için bir voltaj girdisine ihtiyaç vardır. Malzeme iki kristalin düzenine sahiptir. Bu kristallerden birinin yapısı düzenli iken, diğeri düzenli değildir. Yapının düzeni malzemeyi oluşturan moleküllerin polarizasyonu ile ilgilidir. Kutuplaşmamış malzeme düzensiz, kutuplaşmış malzeme ise düzenli bir yapıya sahiptir. Malzemeyi polarize etmek için üzerinden elektrik akımı geçirmek gerekir. Bu elektriksel kuvvetin sonucu olarak, malzeme molekülleri kendilerini yeniden yönlendirerek şekil değiştirirler. Bu olaya electrostriction denir. Electrostriction basit olarak bir elektrik alanın etkisi altında bir dielektriğin boyutlarının değişimidir. Elektriksel büzülme olarak ta adlandırılabilir.

Piezoelektrik malzemeler hem aktivatör, hem de sensör olarak hareket ederler. Aktivatör modda iken malzeme elektrik alanına maruz kalırsa, uzama meydana gelir. Sensör modda ise, mekanik gerilim uygulandığında malzeme voltaj üretir.

En çok kullanılan piezoelektrik malzeme PZT' dir (Kurşun zirkonat titanat). PZT'nin kimyası kontrol altına alınarak çeşitli uygulamalar için fiziksel özellikleri iyileştirilebilir. En sık kullanılan formu seramik levha formudur. Fiber formları da

mevcuttur. Birçok kullanım alanı bulunmakla birlikte, özellikle anten şeklinin değişimi sayesinde antenin değişik frekanslara çabuk ve kolay adapte olabilmesi sebebi ile uzay ve havacılık sektöründe, ses yalıtımında sensör görevi görebilmesi sayesinde inşaat sektöründe daha yaygındır.

2.1.5.2 Elektro – Striktif (Electro – Strictive)

Elektrostriktif polimerler Dielektrik Elastomerler olarak ta adlandırılırlar. Elektrik alana maruz kaldıklarında farklı yükteki iyonların yer değiştirmesi sonucu malzemede mekanik gerilime yol açarlar. Bu etki uygulanan elektrik alanın karesiyle doğru orantılı şekilde artar. Gerilim uygulanan elektrik alanın polaritesinden bağımsızdır. Gerilme kabiliyetleri, benzer grupta yer alan piezoelektrik seramiklere göre oldukça yüksektir. Dielektrik elastomerler, elektrik alanında elektrot düzleminde genişleyerek elektrotlardaki elektrostatik yükün oluşturduğu basıncı güçlendirir. Elektrostriktif gerinimleri sayesinde elektrotlar arasında tutunarak kas taklidi yapabilmesi elektronik ve mekanik sistemlerde kullanım olanakları bulmasını sağlamıştır (Sevgi, 2009).

2.1.6 Kimyasal Etki – Elektriksel Tepki

Bu gruba dâhil bir element matriste yer almamaktadır.

2.2 Manyetik Tepki Veren Akıllı Malzemeler

2.2.1 Elektriksel Etki – Manyetik Tepki

2.2.1.1 Manyeto – Elektronik (Magneto – Electronics)

Tabloda, manyetik etki – elektriksel tepki ana başlığı altında yer alan manyeto – elektronik malzemeler 2.1.2.1 maddesinde açıklanmıştır.

2.2.1.2 Spin – Elektronik (Spin – Electronics)

Tabloda, manyetik etki – elektriksel tepki ana başlığı altında yer alan spin – elektronik malzemeler 2.1.2.2 maddesinde açıklanmıştır.

2.2.1.3 Spintronik (Spintronics)

Tabloda, manyetik etki – elektriksel tepki ana başlığı altında yer alan spintronik malzemeler 2.1.2.3 maddesinde açıklanmıştır.

2.2.2 Manyetik Etki – Manyetik Tepki

Bu gruba dâhil bir element matriste yer almamaktadır.

2.2.3 Optik Etki – Manyetik Tepki

2.2.3.1 Opto – Manyetik (Opto – Magnetic)

Opto – Manyetik malzemeler, manyeto – optik malzemelerin tersine yoğun ışık etkisi ile manyetizma üzerinde değişiklikleri barındıran malzeme grubudur.

2.2.4 Isısal Etki – Manyetik Tepki

2.2.4.1 Curie Noktası ‘Sıcaklığı’ (Curie Point)

Curie sıcaklığı, ferromanyetik bir maddenin, kalıcı mıknatıslığını yitirip paramanyetik hale geçtiği kritik sıcaklıktır. Curie sıcaklığının üstünde, ısı enerjisi manyetik momentlerin rastgele yönelmelerine sebep olur ve madde paramanyetik hale geçer. Paramanyetizma alanında çalışan Pierre Curie’nin anısına bu sıcaklığa Curie sıcaklığı denmiştir (Curie sıcaklığı, 2013).

2.2.5 Mekanik Etki – Manyetik Tepki

2.2.5.1 Manyeto – Striktif (Magneto – Strictive)

Manyetostriktif malzemeler, manyetik ve elastik durumlardaki enerjiyi çevirebilen akıllı malzemelerdir. Malzemede, bazı piezoelektrik malzemelerde olduğu gibi zamanla bozunma, yıpranma meydana gelmez ve etkiye hızlı tepki verirler. Bununla birlikte daha yeni manyetostriktif malzemeler, daha iyi gerinim, kuvvet, enerji yoğunluğu ve birleştirme katsayısı sağlar. Enerji çevirme özelliklerinden dolayı çevirgeçler olarak ta adlandırılmaktadırlar. Bu enerji değişimi nedeniyle, hem aktivatör hem de sensör olarak kullanılabilirler (Dapino,2002).

2.2.6 Kimyasal Etki – Manyetik Tepki

2.2.6.1 Manyeto – Kimyasal (Magneto – Chemical)

Maddenin manyetik özellikleri ile atom ve molekül yapısının ilişkisini ifade eder.

2.3 Optik Tepki Veren Akıllı Malzemeler

2.3.1 Elektriksel Etki – Optik Tepki

2.3.1.1 Elektro – Kromik (Electro – Chromic)

Elektrokromizm, elektrokimyasal reaksiyonlar’ ın (yükseltgenme – indirgenme) neden olduğu iki yapı arasındaki, A ve B, absorpsiyon spektrumunun tersinir değişimidir (Bozkurt, 2007). Bu kromizm çeşidi, kromizmin en önemli ticari kullanım alanını oluşturur. Elektrokromik maddeler 1968 yılından beri bilinmektedir (Laurent ve Durr, 2001). Metal oksit film, moleküler boya ve polimer davranışta olmak üzere üç sınıfı vardır. Bazı elektrokromlar tamamen çözelti (sulu) haldeyken, bazıları ara fazda (çözelti – katı), çoğu ise katı haldedir. Bu sistemlerin potansiyel kullanımları,

akıllı yansıtıcılar ve pencereleri, aktif optik filtreleri, ışık gösterimleri ve bilgisayar veri depolarını içerir (Laurent ve Durr, 2001).

2.3.1.2 Elektro – Lüminesan (Electro – Luminescent)

Elektrolüminesans (EL) optik ve elektriksel bir olgudur ve malzemenin içinden geçen elektrik akımına veya çok güçlü elektriksel alana tepki olarak ışık yayma durumudur. İlk elektrolüminesans olayı 1907 yılında H.J. Round tarafından silikon karbür (SiC) bileşiğinde gözlenmiştir. H.J. Round bu çalışmada SiC dedektörden akım geçirildiğinde sarı renkte bir ışık elde etmiştir. Elektrolüminesans, elektronların ve pozitif yüklü boşlukların (hole) ışımsal rekombinasyonu sonucudur, genellikle yarı iletkenlerdir. Uyarılmış elektronlar enerjilerini fotonlar şeklinde yansıtır (Elektrolüminesans, b.t.)

2.3.1.3 Elektro – Optik (Electro – Optic)

Dış elektrik alana maruz kalan bazı maddelerin kırılma indisleri değişir, bu etki Elektro – Optik etki olarak adlandırılır. Örneğin gerilim uygulandığında polarizasyon etkisini değiştiren sıvı kristaller, elektro – optik prensibi ile çalışan bileşenlerdir (Elektro-optik, b.t.).

2.3.1.4 Piezo – Kromik (Piezo – Chromic)

Basınç etkisi ile renk değiştiren malzemeler bu guruba girmektedir.

2.3.1.5 Kerr Etkisi (Kerr Effect)

Optik olarak izotropik olan bir madde güçlü bir elektrik alana maruz bırakıldığında, madde çift kırılma özelliği göstermeye başlar. Bu özellik ilk olarak 1875 yılında İskoç fizikçi John Kerr tarafından gözlemlendiği için bu etkiye Kerr elektro-optik etki denir. Etki hem katılarda hem de sıvılarda gözlenir. Etkinin büyüklüğü uygulanan elektrik alanın karesi ile orantılıdır (Sarı, 2008).

2.3.1.6 Pockel Etkisi (Pockel Effect)

Alman fizikçi Friedrich Carl Alwin 1893 yılında yaptığı çalışmalar sonucunda keşfetmiştir. Elektrik alanına maruz kalan bazı maddeler içinde doğrusal kırılma indisi değişiminin artmasıyla pockel etkisi oluşmaktadır. Doğrusal kırılma indisi değişimi polarize edilmiş ışıktaki farklı bileşenlerin farklı hızlarda gitmesine neden olur (Pockels effect, b.t.).

2.3.2 Manyetik Etki – Optik Tepki

2.3.2.1 Manyeto – Optik (Magneto – Optic)

Bir izotropik dielektrik madde manyetik alana yerleştirildiğinde doğrusal olarak kutuplanmış ışık, bu alan doğrultusunda gönderildiğinde ışığın kutuplanma doğrultusunun değiştiği gözlenir. Yani manyetik alan ışığın doğrultusunu değiştirmiştir (Sarı, 2008).

2.3.2.2 Piezo – Kromik (Piezo – Chromic)

Tabloda, elektriksel etki – optik tepki ana başlığı altında yer alan piezo – kromik malzemeler 2.3.1.4 maddesinde açıklanmıştır.

2.3.3 Optik Etki – Optik Tepki

2.3.3.1 Optik bi stabilite (Optical bi – Stability)

Işığın çift sabitleyici güçle ilgili olduğu malzemelerdir. İki sabit kırılma kaynağının, ışığın yoğunluğu üzerinde kırılma indisine ters olarak değişen bir optik mekanizma oluşturmasıdır (Optical bistability, b.t.).

2.3.4 Isısal Etki – Optik Tepki

2.3.4.1 Thermo – Kromik (Thermo – Chromic)

Termokromik malzemeler sıcaklık etkisi ile renk değişimine uğrayan malzemelerdir. Termokromik malzemelerde, Fotokromik malzemelerdeki ışık etkisinin yerini sıcaklık almaktadır. Ancak renk değişimi termokromik geçiş sıcaklığı adı verilen sıcaklık değerinde gerçekleşir. Bu sıcaklık kimyasal düzenlemeler veya polimer pigmentin yapısına müdahale edilerek değiştirilebilir. Genellikle sıvı kristaller ya da metallerle yarı iletken bileşik olarak üretilirler.

Yüksek sıcaklık termokromikler ve düşük sıcaklık termokromikler olarak sınıflandırmak mümkündür. Yüksek sıcaklık termokromik pigment kaplamalı yüzeyler özellikle yangın kapılarından ki uygulamaları ile yapı sektöründe, çeşitli motor parçaları gibi tehlikeli durumları uyarması için mekanik ve otomotiv sektöründe, düşük sıcaklık termokromikler ise köprülerde buzlanma uyarıcı yol işareti olarak ulaşım sektöründe kullanılmaktadır. Termokromik malzemeler toksik madde içerdiğinden kullanımı esnasında bir takım kısıtlayıcı ve dikkat edilmesi gerekli güvenlik tedbiri içerirler (Perker ve Akkuş, b.t.).

2.3.4.2 Thermo – Lüminesan (Thermo – Luminescent)

Termolüminesans, termodinamik dengedeki bir sistemin dış enerji kaynağından enerji soğurarak uyarılmasıyla (iyonlaştırıcı radyasyon) yarı kararlı duruma geçmesi ve ısı enerjisinin etkisi ile fazla enerjiyi yayınlarak sistemin yeniden denge durumuna geri dönmesi olarak tanımlanabilir. Burada uyarılmaya neden olan dış enerji kaynağı iyonlaştırıcı radyasyondur (Uzun ve Yazar, 2011).

2.3.5 Mekanik Etki – Optik Tepki

2.3.5.1 Mekano – Kromik (Mechano – Chromic)

Deformasyon etkisi ile renk değiştiren malzemelere mekanokromik malzemeler denir. Dışarıdan gelen uyaran etkisi ile malzemenin elektron yoğunluğu ya da moleküler yapısı değişir ve renk değişimi gerçekleşir, uyaran etkisi kalktığı zaman daha kararlı oldukları ilk hallerine geri doner ve ilk rengini alır (İşmal ve Yüksel, 2016).

2.3.5.2 Reo – Kromik (Rheo – Chromic)

Reo kromik malzemeler; yük, şekil değiştirme ve zaman faktörleri altında renk değiştiren malzemelerdir.

2.3.6 Kimyasal Etki – Optik Tepki

2.3.6.1 Renk Değiştirme (Colour – Change)

Kimyasal etki ile renk değiştiren malzemeler bu gruba girmektedir.

2.3.6.2 Turnusol (Litmus)

Turnusol, kimyada kullanılan ayıralardan bir tanesidir. Çözeltilerdeki asit ve bazları ayırt etmekte kullanılır. Turnusolün aktif maddesi erythrolitmindir (Litmus, b.t.).

2.3.6.3 Işıldama (Luminescence)

Işıldama veya lüminesans, bazı maddelerin, ısısı değişmeksizin elektromanyetik ışınım yaymasıdır. Diğer elektromanyetik ışınım kaynaklarından temel farkı, kaynağın ısısında bir değişme olmamasıdır. Işıldama tetikleyici enerji kaynağına göre:

- Isıl ışıldama (Termoluminesans)
- Optik uyarmalı ışıldama (OSL)
- Sürtünmeyle ışıldama (Triboluminesans)
- Kimyasal ışıldama
- Elektriksel ışıldama
- Radyo ışıldama olarak sınıflandırılır.

ışıldama ile görünür ışık yayılması (fotoluminesans) olayının gerçekleşme süresine (elektronun temel enerji düzeyine geri dönmesi için geçen süre) sınıflandırması ise:

- Flüro ışıldama (Fluresans)
- Fosfor ışıldama (Fosforesans) şeklindedir.

ışıldama, neon ve fluoresans lambaları, televizyon, yıldırım, kutup ışması, ateşböcekleri gibi bazı canlılardaki organik bileşikler ile bazı sentetik boyalarda görülür (ışıldama, b.t.).

2.4 Isısal Tepki Veren Akıllı Malzemeler

2.4.1 Elektriksel Etki – Isısal Tepki

2.4.1.1 Termo – Elektrik ‘Peltier’ (Thermo – Electric)

Tabloda, ısısal etki – elektriksel tepki ana başlığı altında yer alan termo – elektrik malzemeler 2.1.4.1 maddesinde açıklanmıştır.

2.4.2. Manyetik Etki – Isısal Tepki

2.4.2.1 Manyeto – Termal (Magneto – Thermal)

Manyetik alanın ısı üzerinde oluşturduğu değişimleri içeren malzemelerdir.

2.4.3 Optik Etki – Isısal Tepki

2.4.3.1 Foto – Termik (Photo – Thermic)

Işık etkisi ile ısı değişimi gösteren malzemeler bu gruba girmektedir.

2.4.4 Isısal Etki – Isısal Tepki

Bu gruba dâhil bir element matriste yer almamaktadır.

2.4.5 Mekanik Etki – Isısal Tepki

Bu gruba dâhil bir element matriste yer almamaktadır.

2.4.6 Kimyasal Etki – Isısal Tepki

2.4.6.1 Ekzo – Termik (Exo – Thermic)

Termodinamikte, ısıveren olarak ta kullanılan ekzotermik kelimesi, ısı formunda enerji açığa çıkaran reaksiyon olarak tanımlanır. Terim ilk kez Marcellin Berthelot tarafından kullanılmıştır. Kimyasal bağ enerjisinin ısı enerjisine dönüştüğü kimyasal reaksiyonlarda sıklıkla kullanılır (Ekzotermik reaksiyon, b.t.).

3.4.6.2 Endo – Termik (Endo – Thermic)

Termodinamikte, ısıalan olarak ta kullanılan endotermik kelimesi, ısı formunda enerji soğuran reaksiyon olarak tanımlanır. Terim ilk kez Marcellin Berthelot tarafından kullanılmıştır. Kimyasal bağ enerjisinin ısı enerjisine dönüştüğü kimyasal reaksiyonlarda sıklıkla kullanılır (Endotermik reaksiyon, b.t.).

Isıalan malzemeler (alçıtaşı gibi doğal ya da sentetikler), ısı kalkanlarında, uzay fiziğinde, ısıya dayanıklı kıyafetler ve bina korumalarında kullanılırlar.

2.5 Mekanik Tep ki Veren Akıllı Malzemeler

2.5.1 Elektriksel Etki – Mekanik Tepki

2.5.1.1 Piezo – Elektrik (Piezo – Electric)

Tabloda, mekanik etki – elektriksel tepki ana başlığı altında yer alan piezo – elektrik malzemeler 2.1.5.1 maddesinde açıklanmıştır.

2.5.1.2 Elektro – Striktif (Electro – Strictive)

Tabloda, mekanik etki – elektriksel tepki ana başlığı altında yer alan elektro – striktif malzemeler 2.1.5.2 maddesinde açıklanmıştır.

2.5.1.3 Elektro – Reolojik (Electro – Rheological)

Elektroreolojik malzemelerde tıpkı, manyetoreolojik malzemeler gibi akışkan özelliğe sahip taşıyıcı bir yağda polarize olabilecek partiküllerden oluşur. Aradaki fark manyetoreolojik malzemelerde reolojik değişimlere yol açan etki manyetik alanken, elektroreolojik malzemelerde elektromanyetik alandır. Elektroreolojik malzemelerin, geri dönüşümlü, hızlı ve davranışının kontrol edilebilir olması, özellikle titreşim sönümlemedeki uygulamalarıyla inşaat sektöründe kullanımını yaygınlaştırmıştır (Güler,2010).

2.5.1.4 Elektro – Kinetik (Electro – Kinetic)

Elektrokinetik, hareket halindeki elektriği inceleyen bilim dalıdır.. Elektrik akımı, elektrik devreleri, alternatif akım, doğru akım, Kirchhoff yasaları, Ohm yasası, RLC devresi, empedans, gerilim, Wheatstone köprüsü bu bilim dalının çalışma alanına giren konulardır (Elektrokinetik, b.t.).

2.5.2 Manyetik Etki – Mekanik Tepki

2.5.2.1 Manyeto – Striktif (Magneto – Strictive)

Tabloda, mekanik etki – manyetik tepki ana başlığı altında yer alan manyeto – striktif malzemeler 2.2.5.1 maddesinde açıklanmıştır.

2.5.2.2 Manyeto – Reolojik (Magneto – Rheological)

Manyetoreolojik malzemeler akışkan özelliğinde olup, taşıyıcı bir yağda bulunan polarize olabilir partiküllerin dağılımından oluşur. Malzeme manyetik alana girdiğinde manyetoreolojik akışkanların viskozite, plastiklik, elastiklik vb. reolojik özelliklerinde geri dönüşümü olabilen değişimler olur (Ergin ve Altıparmak, 2013).

Sismik ve rüzgâr yüklerini azaltacak cihazlardaki kullanımları ile inşaat sektöründe kullanılmaktadır.

2.5.3 Optik Etki – Mekanik Tepki

2.5.3.1 Opto – Mekanik (Opto – Mechanical)

Işık etkisi ile hareketli mekanik işlevlerin bir arada bulunduğu malzeme ve sistemler opto – mekanik olarak adlandırılır.

2.5.3.2 Foto – Akustik (Photo – Acoustic)

Fotoakustik, ışık emilimi sonucu oluşan akustik dalgaların algılanması ve işlenmesini ifade eder.

2.5.4 Isısal Etki – Mekanik Tepki

2.5.4.1 Şekil – Bellek (Shape – Memory)

Bir kuvvet etkisiyle formu değişmiş malzemenin, ısı etkisi ile ilk formuna dönmesine şekil hafıza etkisi denilmektedir. İlk kez İsveçli kimyager Gustav Arne Olander tarafından ifade edilmiştir. 1932 yılında Altın – Kadmiyum (AuCd) alaşımlarında Chang ve Read tarafından anlaşılmış, 1938 yılında Alden B. Greninger ve V. G. Mooradian tarafından bakır – çinko alaşımlarında da gözlemlenmiştir. 1951 yılında ise AuCd alaşımlı bir çubukta şekil bellek etkisi saptanmasından sonra 1962 yılında William J. Buehler ve ekibi tarafından eş-atomlu nikel titanyum alaşımlarda şekil hafıza etkisi belirlenmiştir. Bu gelişmeler sonucu, şekil bellekli alaşımların hem ticari kullanımlarına, hem de metalurjik araştırmalarına hız verilmiştir (Akdoğan ve Nurveren, 2003a).

Şekil bellekli alaşımlar sıcaklığa bağlı olarak gerçek şekil ya da boyutlarına dönebilen metalik malzemelerdir. Düşük sıcaklıkta malzeme martenzit haldedir. Sıcaklık yükseltildiğinde ise orijinal formuna yani hafızasındaki östenit haline döner. Birçok zaman hafıza tek yönlü bir etkidir. Yani ŞBA soğutulmasıyla, martenzit fazlı yapıya dönüşmesine rağmen herhangi bir şekil değişimi göstermez. Martenzit yapıdaki gerilim malzeme yeniden ısıtılınca kadar bünyede tutulur ve ısı ile yeniden şekil değişimi gerçekleşir. Soğutma durumunda şekil değişimi kendiliğinden gerçekleşmeyeceğinden, istenen şekil değişimi için, alaşım dışarıdan uygulanacak, bir gerilmeye maruz bırakılır. Bazı ŞBA’larda çift yönlü şekil değişimi görmek mümkündür. Isı uygulaması ile malzeme orijinal şekline geri döner. Bu tip alaşımlarda hem ısıtma hem soğutma durumunda şekil değişimi söz konusudur. Bu tip ŞBA’larda şekil değişiminin büyüklüğü her zaman tek yönlü hafızalı alaşımlarda gözlenene oranla oldukça azdır. Bu alaşımlar çok küçük gerilmeler ile düşük sıcaklıktaki şekline dönmeye çalışır. Isıtma durumunda şekil değişimi için tek yönlü alaşımlara göre çok yüksek gerilmeler gerekebilir. Atomların yer değiştirme miktarı çok büyük olmamasına rağmen, hepsinin birden hacimsel yönde aynı doğrultuda taşınmasından dolayı, makroskopik bir şekil değişimi gerçekleşir. Sonuç olarak normal metal ve

alaşımlardan farklı niteliklere sahip olan şekil bellek etkisi ve süperelastisite gibi eşsiz ve üstün özellikler açığa çıkar. Şekil bellekli alaşımlar gerilmeye piezoelektrik malzemelerden 3 ila 25 kat kadar daha fazla dayanabilir. Fakat tepki hızları sıcaklık değişimine bağlı olduğundan bazı uygulamalar için yavaş kalmaktadır (Akdoğan ve Nurveren, 2003b).

Nikel – Titanyum (Nitinol), Altın – Kadmiyum, Pirinç ferromanyetik en yaygın şekil bellekli alaşımlardır.

Şekil bellekli alaşımların sahip oldukları elastik ya da süperelastik özelliklerden faydalanılarak tasarlanmış ve piyasaya sürülmüş birçok ürün vardır. Korozyona dayanımı ve mükemmel bir biyo uyumluluk göstermesinden ötürü özellikle gözlük çerçeveleri ve ortodontik uygulamalarla tıp alanında, mevcut menteşeli sistem yerine kanat kontrol yüzeylerinin geliştirilmesindeki uygulamalarla havacılık sektöründe ve güneş kırıcı olarak bina cephelerindeki uygulamaları ile inşaat sektöründe kullanımı yaygındır.

2.5.5 Mekanik Etki – Mekanik Tepki

2.5.5.1 Reopeksik (Rheopexic)

Kayma kuvveti uygulandığında viskozitesi artan ve kuvvet kalktığında da orijinal viskozitesine dönen malzemelere reopeksik denir.

2.5.5.2 Öksetik (Auxetic)

Çekme kuvveti altında genişleyen, basınç kuvveti altında daralan malzemeler Öksetik (Auxetic) malzemeler olarak ifade edilir. Göstermiş oldukları bu olağanüstü özellik pozitif Poisson oranına sahip malzemelerin tersinedir. XIX. yüzyıldan beri bilinmesine rağmen, çalışma prensiplerinin anlaşılıp, uygulanması 1980’li yılları bulmuştur. İlk olarak 1987 yılında Rod Lakes tarafından Science dergisinde negatif Poisson oranına sahip “foam” yapılar yayınlanmıştır (Lakes, 1987).

Demir sülfid, moleküler seviyedeki ilk “auxetic” doğal malzeme olarak bilinir ve 1900’lü yılların başında keşfedilmiştir (Love, 1944). Daha sonra Ledbetter tarafından $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ ’nin (İtriyum – baryum – bakır oksid) “auxetic” özelliğe sahip olduğu tespit edilmiştir (Ledbetter ve Lei, 1991).

1979 yılında Milstein ve Huang, 1998 yılında da Baughman ve arkadaşları kübik metallerin % 69 oranında “auxetic” özelliğe sahip olduğunu vurgulamışlardır (Milstein ve Huang, 1979; Baughman, Shacklette, Zakhidov ve Stafstrom, 1998). Ayrıca bazı derilerde (kedi, semender), inek memesi yüzeyinde ve ağırlığı taşıyan süngerimsi (cancellous bone) insan kemiği gibi bazı bio malzemelerde “auxetic” özellik bulunmuştur (Veronda ve Westmann, 1970; Williams ve Lewis, 1982).

İlk hücresel “auxetic yapı 1982 de 2D silikon kauçuk petek (honeycomb) yapılarda tasarlanmıştır (Gibson, Ashby, Schajer ve Robertson, 1982). Caddock ve Evans ilk “auxetic” polimer olan mikro gözenekli PTFE’yi geliştirmişlerdir (Caddock ve Evans, 1989).

Negatif Poisson oranına sahip malzemeler Öksetik (Auxetic) malzemeler olarak adlandırılır. Fransız bilim adamı Simeon Denis Poisson tarafından ortaya atılan ve kendi adını taşıyan Poisson oranı kısaca, bir malzemede kuvvet uygulanan yöndeki kısalma miktarı ile diğer yöndeki uzama miktarı arasındaki bağıntı olarak tanımlanmaktadır (Uzun, 2009).

Auxetic terimi Yunanca auxetikos’tan yani “genişlemeye eğilimli” anlamından gelmektedir. İlk olarak Profesör Ken Evans tarafından 1991 yılında kullanılmıştır (Evans, Nkansah, Hutchison ve Rogers, 1991).

Negatif Poisson oranına sahip malzemeler, pozitif Poisson oranına sahip malzemelerle karşılaştırıldıklarında önemli avantajlara sahiptirler. Bu özellikler;

- Ekstra sürtünme dayanımı
- Akustik davranış
- Üstün enerji emme (darbe, ultrasonik ve sonik)

- Islak (Yaş) verimlilik
- Tutunma (ara yüz / matris) dayanımı
- Kopma dayanımı
- Daha iyi kayma modülü (Uzun, 2009).

Mimaride dolaylı kullanımları olmakla birlikte, özellikle toprak destekleyici malzeme olarak kullanımına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Bu anlamda araç-tren yolu, duvar ve köprü destekleyici olarak kullanımlarında geliştirme faaliyetleri devam etmektedir. Sürtünme dayanımının yüksek olması da yapısal yeni sistemler açısından umut vaat etmektedir.

2.5.5.3 İnceltip – Kesici (Shear – Thinning)

Viskozitesi uygulanan basınç ile düşen ve basınç ortadan kalktığında viskozitesi eski seviyesine ulaşan malzemeler bu gruba girer.

2.5.5.4 Genleştirici (Dilatants)

Kayma hızı ile viskozitesi artan yani Newton'un Viskozite Kanununa uymayan akışkanlara “dilatant” denir.

2.5.5.5 Newton Tipi Olmayan (Non – Newtonian)

Newton tipi olmayan akışkanlar, kayma geriliminin kayma hızına oranı yani viskozitesi sabit olmayan sıvılardır. Kayma hızı değiştiği zaman kayma gerilimi aynı oranda değişmez. Zaman bakımından, zamana bağlı ve zamandan bağımsız olmak üzere iki ana gruba ayrılır (Geçim, b.t.).

2.5.5.6 Yalancı Plastik (Pseudo - Plastik)

Zamana bağlı olmayan, Newtonyen olmayan sıvılardan olan yalancı plastikler, hız gradiyenti artarken daha iyi akarlar ve hız artışından ötürü viskoziteleri azalarak sabit

bir değere ulaşır. Genellikle asimetrik parçacıklar içerirler. Hareket etmedikleri zaman parçacıklar rastgele yönelir. Hareket sırasında, asimetrik parçacıklar kendiliğinden sıraya dizilirken, viskozite azalır ve sabit bir değere ulaşır (Daşdağ, b.t.).

2.5.6 Kimyasal Etki – Mekanik Tepki

Bu gruba dâhil bir element matriste yer almamaktadır.

2.6 Kimyasal Tepki Veren Akıllı Malzemeler

2.6.1 Elektriksel Etki – Kimyasal Tepki

2.6.1.1 Elektroliz (Electrolysis)

Sıvı içinde çözülmüş kimyasalların, elektrik akımı yardımıyla ayrıştırılma işlemine elektroliz denir. 1800 yılında İngiliz bilim adamları Anthony Carlisle ve William Nichoson, suyu oluşturan elementleri ayrıştırmak için voltaik bir yığın kullanarak elektrolizi keşfetti. 1807 yılında İngiliz fizikçi Humphry Davy, erimiş külden elektrik akımı geçirerek potasyum elementini, sodadan elektrik akımı geçirerek de sodyumu keşfetti. 1833 yılında İngiliz fizikçi Michael Faraday'ın elektrolizin temel ilkelerini belirlemesi ve 1887 yılında İsveçli Kimyacı Svante Arrhenius tarafından geliştirilen iyon teorisi elektrolizin gelişimindeki diğer önemli keşiflerdir.

Elektrik akımı yardımıyla, bir sıvı içinde çözülmüş kimyasal bileşiklerin ayrıştırılması işlemine elektroliz denir. Bu işlem, maddenin elektron vermesi (yükseltgenme), ya da almasından (indirgenme) kaynaklanır. Elektroliz sözcüğünün konuyu inceleyen Michael Faraday tarafından kullanıldığı sanılmaktadır (Elektroliz, b.t.).

2.6.1.2 Elektro – Kimyasal (Electro – Chemical)

Elektro – Kimyasal malzemeler; elektronik bir iletken (metal, grafit veya yarı iletken) ile iyonik bir iletken (elektrolit) ara yüzeyinde gerçekleşen reaksiyona yol açan malzemelerdir.

Elektrokimyasallar galvanik ve elektrolitik olarak ikiye ayrılır. Bir kimyasal olay yardımı ile elektrik akımı elde edilebiliyorsa galvanik, elektrik enerjisi yardımıyla kimyasal olay gerçekleşiyorsa elektrolitik olarak adlandırılırlar (Elektrokimya, b.t.).

2.6.1.3 Biyo – Elektrik (Bio – Electric)

Canlı hücrelerde, elektrik ile ilgili olgular bütününe Biyoelektrik denir. Biyoelektriğin varlığı Nil Yayınbalığı ya da Elektrikli Yılanbalığı gibi çarpan balıklar nedeniyle eski çağlardan beri biliniyordu. 1786 yılında İtalyan fizikçi Luigi Galvani'nin kas ve sinir hücrelerinin elektrik ürettiğini keşfetmesi ve İtalyan fizikçi Alessandro Volta'nın, kurbağalarda kas kasılması ile elektrik arasındaki ilişkiyi açıklaması biyoelektriğin gelişmesinde önemli rol oynamıştır.

Biyoelektrik, gerilimleri çeşitli biyolojik süreçler sonucunda ve genellikle birkaç yüz milivolt aşamasında gerçekleşir; ancak yüksek gerilim üreten canlılarda vardır. Örneğin yılanbalığı 600 – 800 voltluk gerilim ve 1 amperlik akım üretebilir (Redbull, 2012).

Biyoelektrik gerilimler ile pillerin ya da üreteçlerin ürettiği gerilimler nitelikçe aynıdır. Burada temel fark, elektrik akımının elektronların hareketinden doğmasına karşılık, biyoelektrik akımı genellikle iyonların akışının oluşturmasıdır.

2.6.1.4 Elektro – Migrasyon 'Göç' (Electro – Migration)

Yüklü kimyasalların bir elektrik gradienti altında taşınımına elektro – migrasyon denir.

2.6.2 Manyetik Etki – Kimyasal Tepki

2.6.2.1 Nükleer – Manyetik – Rezonans (Nuclear – Magnetic – Resonance)

1938 yılında, Polonya asıllı Amerikalı fizikçi Isidor Isaac Rabi, manyetik alan içinde bulunan bir atom çekirdeğinin bazı frekanslarda elektromanyetik dalgaları soğurduğunu keşfetmiştir. Bu keşfi ile 1944 yılında Nobel Fizik Ödülü'nü kazanmıştır. Bu keşiften sekiz yıl sonra, 1946 yılında İsviçreli fizikçi Felix Bloch ve Amerikalı fizikçi Edward Mills Purcell birbirlerinden bağımsız olarak Nükleer Manyetik Rezonans'ı keşfetmiş ve bu keşif ikisinin 1952 Nobel Fizik Ödülü'nü paylaşmasını sağlamıştır. NMR olgusunu 1973 yılında görüntüleme alanında uygulayan Amerikalı Paul Lauterbur ve İngiliz Peter Mansfield de bu başarılarından dolayı 2003 yılında Nobel Fizyoloji ve Tıp Ödülü'nü kazanmıştır (Nükleer manyetik rezonans, b.t.).

Nükleer manyetik rezonans (NMR) atom çekirdeklerinin manyetik özelliklerine bağlı fiziksel bir olgudur. Bir manyetik çekirdeğin manyetik momenti uygulanan kuvvetli bir manyetik alan ile aynı doğrultuya girerse, momentlerin yönlenmesi bir elektromanyetik dalganın etkisi ile bozulur.

Çekirdeğin momenti, manyetik alanla aynı yönde olan düşük enerjili ve ters yönde olan yüksek enerjili olmak üzere iki enerji seviyesine sahiptir. Bu iki seviye arasındaki enerji farkına karşılık gelen frekansta bir foton soğrulursa moment bir an için yön değiştirir, dolayısıyla o frekansta rezonans gözlemlenir.

2.6.2.2 Manyeto – Kimyasal (Magneto – Chemical)

Tabloda, kimyasal etki – manyetik tepki ana başlığı altında yer alan manyeto – kimyasal malzemeler 2.2.1.6 maddesinde açıklanmıştır.

2.6.3 Optik Etki – Kimyasal Tepki

2.6.3.1 Foto – Kimyasal (Photo – Chemical)

Işığın meydana getirdiği kimyasal değişimlere Fotokimya denir. Fotokimyasal bir olay, elektron hareketi ile ilgili olduğundan çok kısa sürer. Süresi 10-15 saniye olan ışığın soğurma süresi boyunca elektronların yapısında yeni bir düzenleme gerçekleşir ve molekülleri oluşturan atom çekirdekleri sabit kalır (Tarlacı, 2013).

2.6.3.2 Fotosentez (Photosynthesis)

Klorofil taşıyan canlıların, ışık enerjisi yardımıyla organik bileşikler üretmesine fotosentez ya da ışıl bileşim adı verilir. Bu şekilde besin üreten canlılar fotosentretik organizmalar olarak ifade edilir ve bunların büyük bir çoğunluğunu bitkiler oluşturur. Fotosentez özümleme ya da asimilasyon olarak da anılır (Fotosentez konu anlatımı, 2018).

2.6.3.3 Foto – Katalitik (Photo – Catalyst)

Fotokatalizör, UV ışığının etkisi ile yüzeyde kuvvetli yükseltgen (oksitleyici) bir ortam oluşturan bir yarı iletkenidir. Fotokatalizörler yüzeyde bulunan bakteri ve organik bileşiklerini, bu yükseltgen yardımı ile kolaylıkla bertaraf edilebilmektedir.

Fotokatalizör, ışık yolu ile aktifleşen bir katalizördür. Işığı absorbe ederek yüksek enerjili bir hale gelir ve bu enerjiyi reaktif maddelere transfer ederek kimyasal tepkimeyi başlatır. GaP, GaAs, CdS, SrTi₃, ZnO, Fe₂O₃, WO₃ yarı iletken fotokatalizör olarak kullanılan maddeler olmakla beraber TiO₂ en çok kullanılanıdır (Yavaş, 2016).

Fotokatalitik tepkimenin koku giderme, antibakteriyal, gaz karışımlarının işlenmesi, kendi kendini temizleme, leke barındırmama ve su arıtımı gibi farklı kullanım alanları vardır.

2.6.4 Isısal Etki – Kimyasal Tepki

Bu gruba dâhil bir element matriste yer almamaktadır.

2.6.5 Mekanik Etki – Kimyasal Tepki

Bu gruba dâhil bir element matriste yer almamaktadır.

2.6.6 Kimyasal Etki – Kimyasal Tepki

2.6.6.1 Katalizör (Catalysis)

Yunanca çözüme anlamına gelen katalizör; bir kimyasal tepkimenin aktivasyon enerjisini düşürerek tepkime hızını arttıran ve tepkime sonrasında kimyasal yapısında bir değişiklik meydana gelmeyen maddeye denir. Katalizörün tepkime üzerinde yaptığı bu değişikliğe kataliz denir. Kataliz olayı, katalizör ve reaktantlar (kimyasal reaksiyona dâhil olan molekül) aynı fazda ise homojen kataliz (gaz-gaz, sıvı-sıvı, katı-katı), katalizör ve reaktantlar farklı fazda olduğunda ise heterojen kataliz (gaz-sıvı, sıvı-katı, katı-gaz) olarak adlandırılır (Kataliz, b.t.).

Her ne kadar MÖ 2000’li yıllarda çeşitli enzimler (biyokatalizör) kullanarak alkol üretilse de, kimyasal katalizörler için 1831 yılını beklemek gerekmiştir. Bu yıl SO_2 ’nin (kükürt dioksit) SO_3 ’e (kükürt trioksit) yükseltgenmesinde Pt (Platin) katalizörü kullanılmıştır. 1899 yılında P.Sabatier ve J. B. Sendérens Ni (Nikel) katalizörlüğünde olefinlerin hidrojenlenmesini sağlamıştır. 1909 yılında W. Oswald kataliz, denge ve tepkime hızı kavramlarına değinmiştir. 1918 yılında F. Haber ve C. Bosch Fe^{3+} (demir) katalizörlüğünde amonyak sentezini gerçekleştirmiştir. Ziegler ve Natta 1953 yılında düşük sıcaklık ve basınçta etilenin polimerizasyonunu gerçekleştirmiş ve 1963 yılında da Nobel ödülünü almışlardır.

Katalizörlerle ilgili çalışmalar 2001 yılında Knowles, Noyori ve Sharpless'e (kiral katalizörler), 2005 yılında Chauvin, Grubbs ve Schrock'a (olefin metazi) ve 2010 yılında da Heck, Negishi ve Suzuki'ye (C-C bağ oluşumu) Nobel kazandırmıştır.

Katalizörler mimarlık disiplinde, birçok maddenin bünyesinde yer alarak, özellikle sürdürülebilir çevre ve yeşil binalarda yaygın kullanım olanakları bulunmaktadır.



BÖLÜM 3

MİMARİ ÖRNEKLER

Akıllı Malzemeler mimarlık disiplininde kısa bir geçmişe sahip olmakla birlikte, ürün çeşitliliği ve uygulamalarıyla her geçen gün önemli bir yer edinmektedir. Cephe, strüktür, kabuk veya donatı olarak çok farklı uygulamalar bulmaktadır. Ürün çeşitliliği bakımından da oldukça zengin kullanım olanaklarına sahip bir alan olan mimari uygulamalara, BIQ House gibi konut kullanımlarından, Kaoshiung Stadyumu gibi komplekslere kadar birçok farklı ölçekte örneğe rastlanmaktadır.

Mimari örnekler incelenirken, yapı hakkında genel bilgiler veren bir künyeden yararlanılmış, ayrıca künye görsel bir bilgi akışı sağlayan ve “akıllı simge” (smart symbol) adı verilen bir simgeler bütünü ile desteklenmiştir. ‘Akıllı simge’ beş bölümden oluşmaktadır. İlk daire, yapının bulunduğu ülke bayrağı ve bulunduğu şehir adını, ikinci daire yapının türünü, üçüncü daire akıllı malzemenin yapıda kullanıldığı yeri, dördüncü daire yapıda kullanılan akıllı malzemenin sağladığı faydaları, beşinci daire ise akıllı malzemeye gelen etki ve malzemenin bu etkiye verdiği tepkiyi göstermektedir (Şekil 3.1).

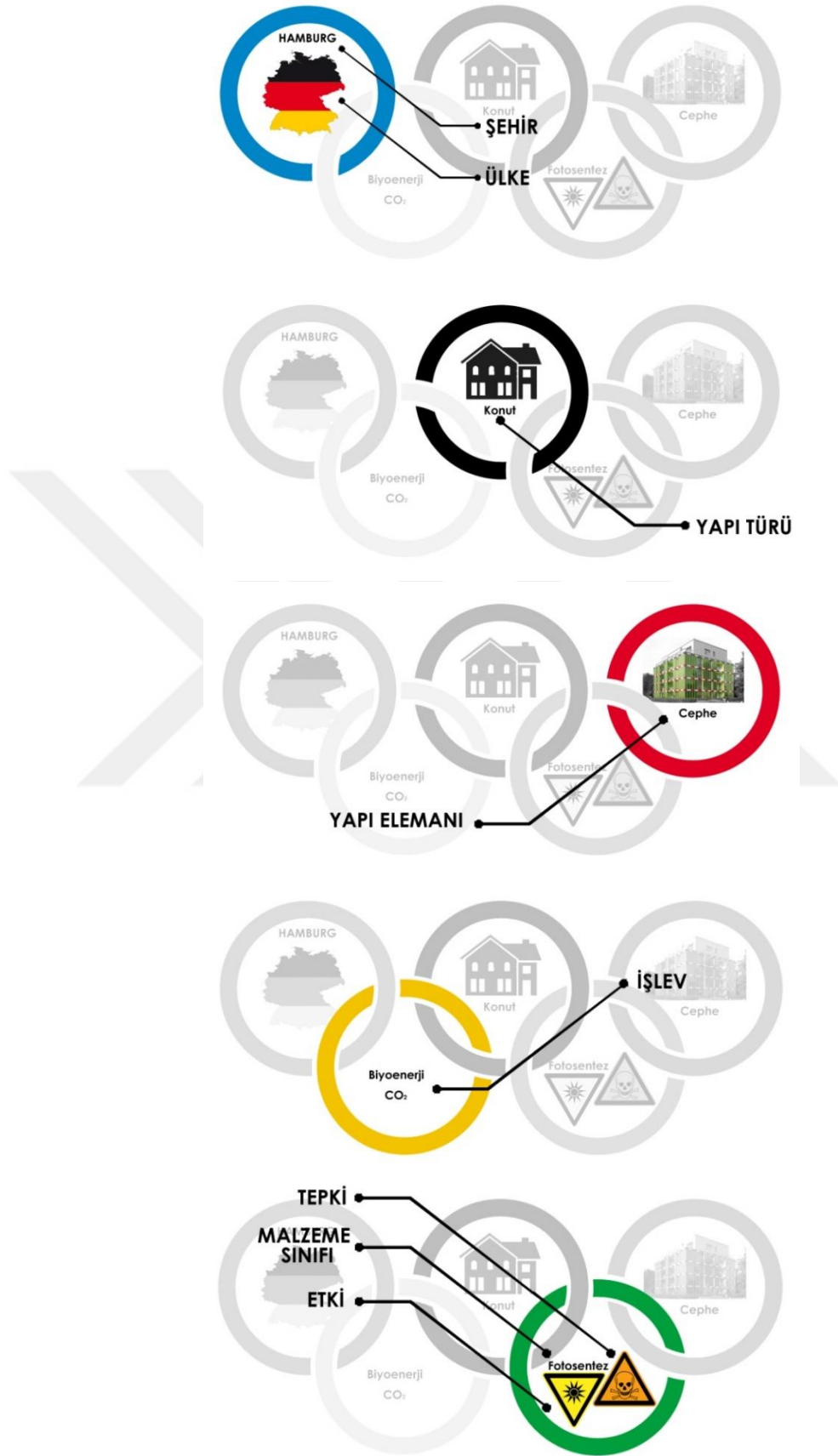
İkinci dairede yer alan yapı türleri, Konut, Ticari, Turizm, Eğitim, Sağlık, Kültür, İdari, Dini, Ulaşım, Endüstri, Askeri, Spor ve Diğer olmak üzere 13 bölüme ayrılmıştır.

Üçüncü daire, Çatı, Cephe, Strüktür ve Diğer olmak üzere dört bölüme ayrılmıştır.

Beşinci dairede, sınıflandırmada seçilen Ghandi ve Thompson’un altıya altı matrisi kullanılmış, matristeki etki sütunu, sarı renkli ve tepe noktası aşağı bakan üçgenle, tepki satırı ise turuncu renkli ve tepe noktası yukarı bakan üçgenle gösterilmiştir. Etki ve tepki tablodaki altı farklı kategoriyi temsil edilecek şekilde sınıflanmıştır. Elektriksel etki – tepki yüksek gerilim tehlike işareti olan yıldırım simgesiyle, manyetik etki – tepki mıknatıs simgesiyle, optik etki – tepki güneş simgesiyle, termal

etki – tepki termometre simgesiyle, mekanik etki – tepki çekiç simgesiyle, kimyasal etki – tepki ise kuru kafa ve kemik singeleri ile gösterilmiştir (Şekil 3.2).





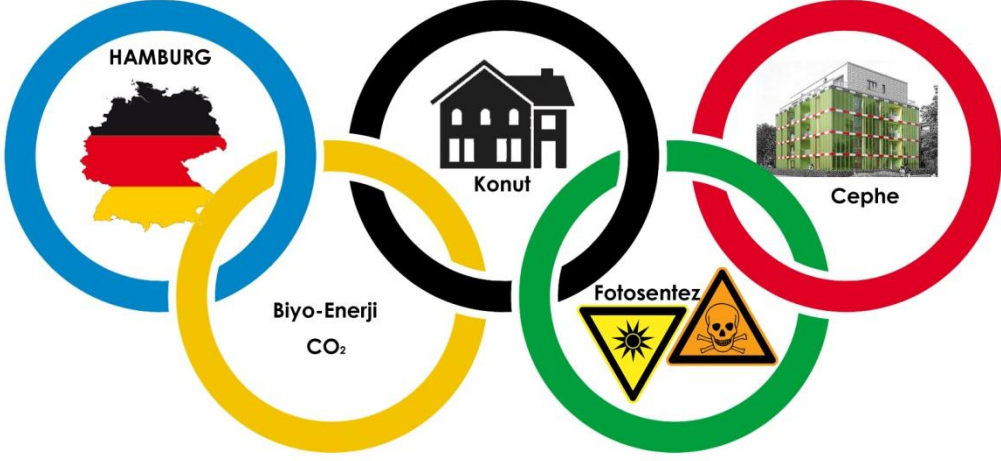
Şekil 3.1 'Akıllı simge' (smart symbol) lejantı

	
ELEKTRİKSEL ETKİ	ELEKTRİKSEL TEPKİ
	
MANYETİK ETKİ	MANYETİK TEPKİ
	
OPTİK ETKİ	OPTİK TEPKİ
	
İSİSAL ETKİ	İSİSAL TEPKİ
	
MEKANİK ETKİ	MEKANİK TEPKİ
	
KİMYASAL ETKİ	KİMYASAL TEPKİ

Şekil 3.2 Etki – tepki lejantı

3.1 BIQ Evi (BIQ House)

Tablo 3.1 BIQ Evi künyesi

	
Mimari	Arup
Yapım Yılı	Aralık 2011 – Nisan 2013
İnşaat Alanı	~1.350 m ²
Tür	Konut
Akıllı Malzeme Kullanım Yeri	Cephe
Akıllı Malzeme Türü	Biyolojik cephe
Akıllı Malzeme	SolarLeaf – SSC ve Colt

Arup, dünyanın ilk bio-duyarlı yüzeyini tasarlamak için bir çalışma hazırladı. Pilot proje olarak geliştirilen, BIQ Evi adı verilen yapı 23 Mart 2013'te başarıyla açıldı. Resmi BIQ açılışının yanı sıra, Arup'un partneri Colt, SolarLeaf markası adı altında, ortaklaşa geliştirilmiş bu cephe sistemini ilk kez görücüye çıkardı (Moschopoulou, 2015) (Şekil 3.3 – 3.4).



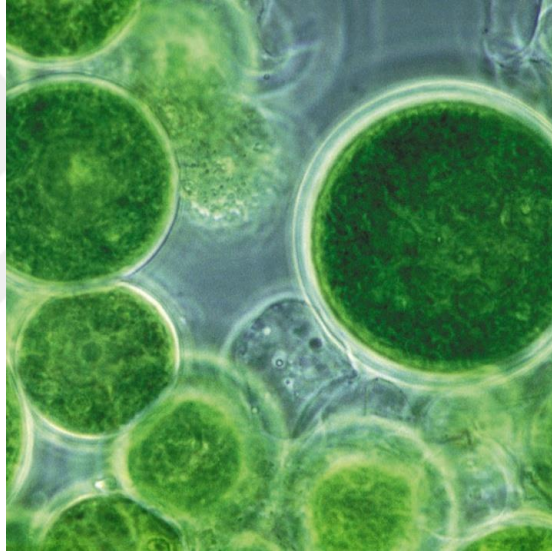
Şekil 3.3 Biyo duyarlı cephe (Chalcraft, 2013)



Şekil 3.4 BIQ giriş cephesi (Chalcraft, 2013)

Mimarların “supernature” olarak adlandırdığı bina cephesinin iç ve dış kısımları arasında bir “orta ortam” yaratan ikinci bir kabuk bulunuyor (Şekil 3.5). Bu kabukta, mikro-algler, bitkilerden 10 kat daha hızlı fotosentez yaparak kısa karbon döngüsünün gerçekleşmesini sağlıyor. Bu kabuk, sıcak yaz ayları boyunca güneş ışınlarına karşı en iyi korumayı sağlarken, aynı zamanda ışığı geçiriyor ve havayı temizleyip nemlendiriyor. Kabuk, güneybatı ve güneydoğu cepheleri üzerine ikinci bir yapı gibi oturtulmuş. Her biri 2,5 m uzunluğunda ve 0,7 m genişliğinde 3 ila 5 panelden oluşan kümeler, makine dairesine bir kapalı çevrim sistemi ile bağlanmış (Şekil 3.6). Çevrim

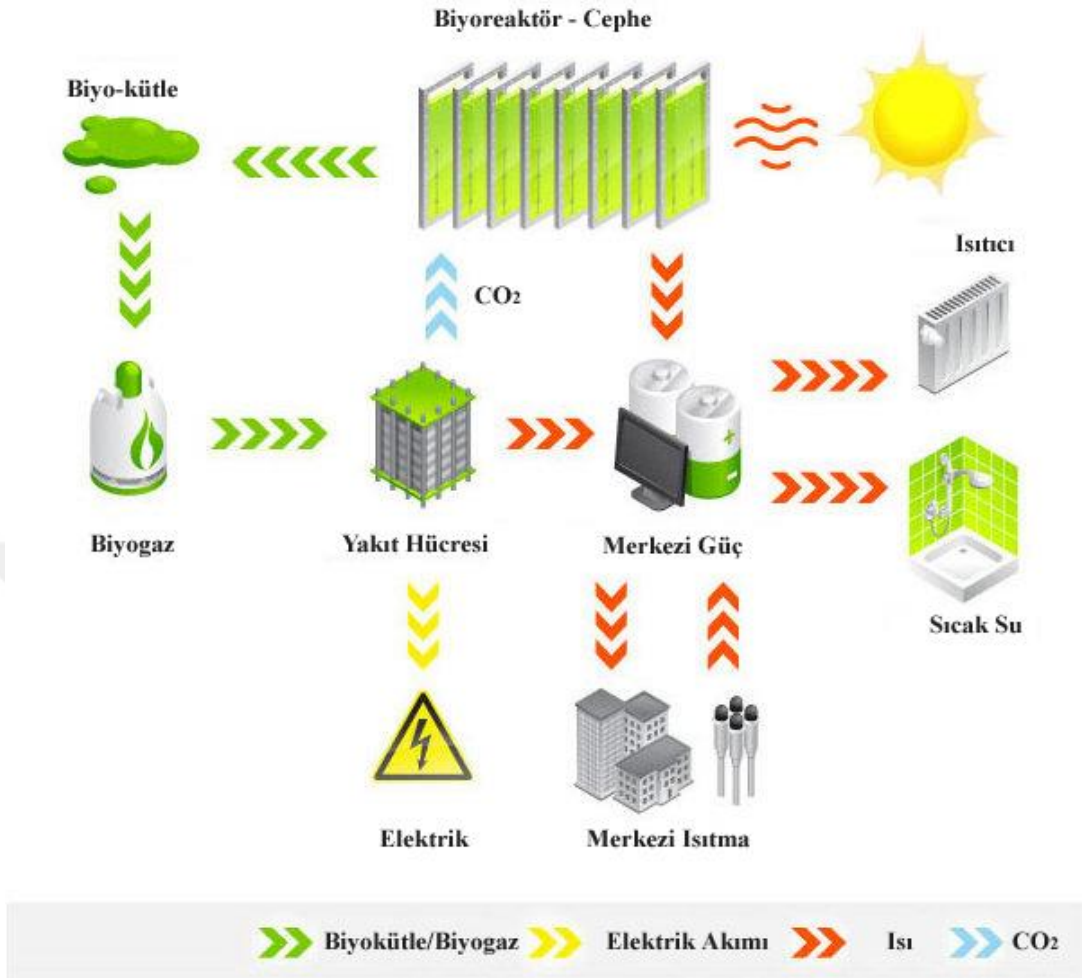
sisteminin giriş ve çıkışları, binanın servis sistemleri ile birlikte, besin teminini ve ara yüzdeki alg üretimini de kontrol eden yapının enerji yönetim sistemi tarafından izleniyor. Bu ara yüzde alg içeriği ve ortamın sıcaklık seviyesi izleniyor. Solar termal etkiyle üretilen ısı, sabit üretim için 40 °C'nin altında tutuluyor. Sistemin ürettiği fazla ısı, bir ısı eşanjörü tarafından toplanıyor ve ya sıcak su ihtiyacında kullanılıyor veya jeotermal sondaj kuyularında muhafaza ediliyor. Alg biokütlesi devamlı olarak toplanıp depolanıyor ve metana dönüştürülmek üzere düzenli aralıklarla yakındaki bir biyogaz tesisine gönderiliyor. Bu pilot projede, uygulamayla fosil yakıt kullanımına kıyasla yılda yaklaşık 6 ton CO₂ salınımı engellenirken, 2,5 ton CO₂ de biokütle tarafından absorbe ediliyor (BIQ, b.t.) (Şekil 3.7).



Şekil 3.5 SCC'nin geliştirdiği biyo-kütle (Splitterwerk, 2014)



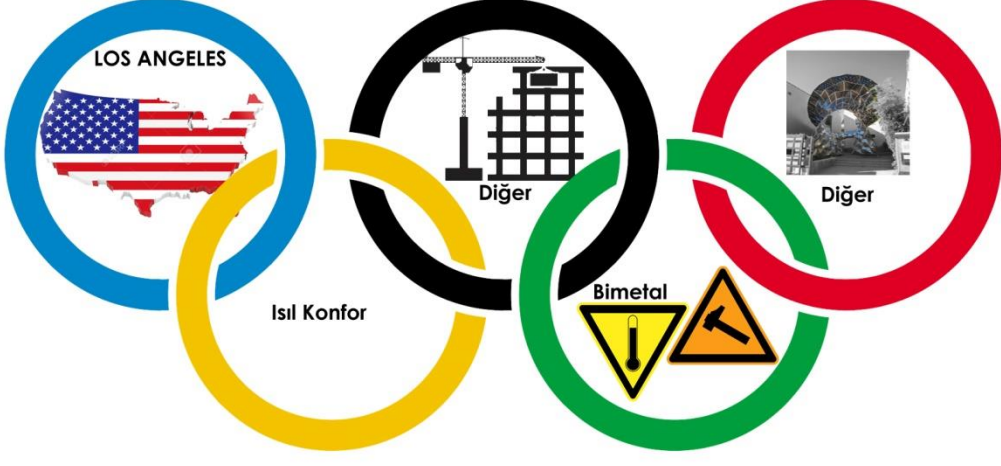
Şekil 3.6 Her biri 2,5 m x 0,7 m olan kümelerden oluşan “supernature” kabuk (Lofgren, 2013)



Şekil 3.7 Enerji dönüşüm sistem şeması (Splitterwerk, 2014)

4.2 Bloom Pavyonu

Tablo 4.2 Bloom Pavyonu künyesi

	
Mimari	DO/SU Studio Architecture
Yapım Yılı	2011
İnşaat Alanı	~ 90 m ²
Tür	Prototip
Akıllı Malzeme Kullanım Yeri	Kabuk
Akıllı Malzeme Türü	Termo Bimetal
Akıllı Malzeme	Bimetal- Doris Kim SUNG

19 Kasım 2011 yılında tamamlanarak, Malzeme ve Uygulama Galerisi (M&A Gallery – Materials & Application Gallery) Silver Lake Los Angeles’da sergilenen BLOOM, Do-Su Mimarlıktan Doris Sung ve ekibi tarafından tasarlanmıştır.

Zaman ve sıcaklığı endeksleyen bir güneş takip cihazı olan "Bloom", malzeme deneylerini, yapısal yenilikleri ve parametrik desen oluşturmayı, çevreye duyarlı bir biçimde birleştirmiştir. Projede amaç, herhangi bir enerji ve kontrol mekanizması olmadan, "akıllı malzeme" olan termobimetallerin, ısıya duyarlı yüzeylerinin, sıcaklık yükseldikçe kıvrılarak kabuğun altındaki alanların havalanmasını sağlamasıdır. Bu şekilde, bir binanın yüzeyinde kullanıldığında, pahalı iklimlendirmeye bağımlılığı azaltacak ve “ısı adası etkisini” geciktirecektir (Şekil 3.8).



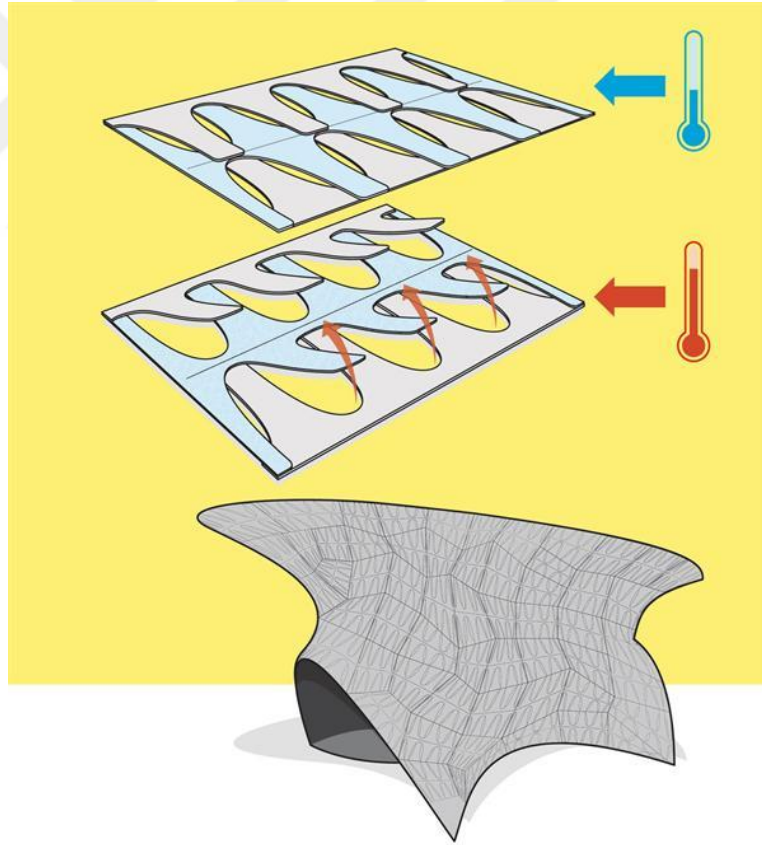
Şekil 3.8 Bloom genel görünüm (Bojovic, 2013)

Formun duyarlı yüzeyi, hiçbir parçanın birbirine benzemediği 14.000 akıllı termo bi-metal karodan yapılmıştır. 414 adet hiperbolik paraboloid formu yığma panelden oluşan, kendinden destekli yapı, malzemelerin bir kabuk olarak çalışmasını sağlamaktadır. Katlanmış alüminyum çerçeve sistemde paneller, bimetall karoların çift çizgili yüzeylerinin birbirine kenetlenmesi ile birleştirilmiştir. Kabuk (monokok) yapı, hafiflik ve esneklik sağlarken, kapsamlı geometriye ve malzeme kombinasyonuna bağlı olarak güçlü bir sağlamlıkta oluşturmuştur. "Bloom" un bazı alanlarında, perçinli bağlantıların sayısının artırılmasıyla hiper paneller daha sert hale getirilirken, diğer bölgelerde yapısal kapasiteyi arttırmak için daha derin yapılmıştır (Furuto, 2012) (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Termo-bimetal karolar (Bojovic, 2013)

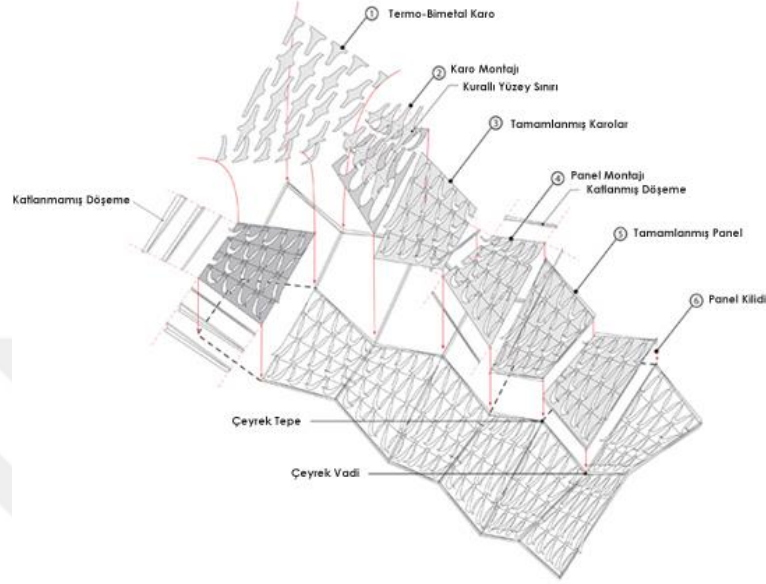
Çerçeve, kıvrımlarının doğası gereği, yüzeyin dalgalanması gibi, tepe ve vadilerin iç veya dış yüzeyde aynı ritimde görünecek şekilde tasarlanmıştır. Bloom pavyonunun kabuk formu, sadece dijital olarak hesaplanmış bir tasarımın, son teknoloji ürünü bir yapı olduğunu değil, ancak gerçek ve yavaş inovasyonun, güneşin ürettiği ısı seviyelerine göre bükülen metal paneller katmanında gerçekleştiğini düşündürmektedir. Dış ortam sıcaklığı 70 °F'ın (~21,11 °C) üzerine çıktığında veya güneş yüzeye girdiğinde her bir parça otomatik olarak belirli bir miktarda kıvrılır. Sung'a göre Bloom, biraz demir, nikel ve manganez içeren lamine metal malzemenin, ilk mimari uygulamasıdır. Karoların dış tarafı daha hızlı bir şekilde pas rengine dönüşen daha yüksek bir manganez ve demir yüzdesine sahipken, iç taraf daha fazla miktarda nikel ile sahiptir, bu da gümüşü bir görüntü oluşturur (Bojovic, 2013) (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 Thermo-bimetal çalışma prensibi (Lau ve Gerfen, 2012)

Termobimetal ısıtıldığında, doğal olarak bir insan kirpiğine benzeyen C şeklinde kıvrılır; Malzeme, birbiri üzerine katmanlı iki alaşımdan oluşur. Farklı genleşme

katsayılarıyla, bir taraf ısıtıldığında diğerinden daha fazla genişler. İlk başta, malzeme yaklaşık 70 °F'te (~21,11 °C) dönmeye başlar, ancak sürekli ısı uygulamasıyla yaklaşık 400 °F'e (~204,44 °C) kadar daralmaya devam edebilir. Sonuç, kırpık benzeri dinamik bir kıvrılmadır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11 Bloom imalat prensibi (Martin, 2015)

Sung Bloom'la Thermobimetal güneş kırıcı bir tasarımın, bir havalandırma sistemi olarak çalışabileceğini ve böylece yapay iklime benzer bazı özelliklere sahip olabileceğini kanıtlamıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 Bloom genel görünüm (Martin, 2015)

3.3 Jubilee Kilisesi (Jubilee Church)

Tablo 3.3 Jubilee Kilisesi künyesi

	
Mimari	Richard Meier
Yapım Yılı	1998 – 2003
İnşaat Alanı	2.501 m ²
Tür	Dini yapı
Akıllı Malzeme Kullanım Yeri	Kabuk
Akıllı Malzeme Türü	Fotokatalitik kabuk
Akıllı Malzeme	TX Millennium – Italcementi

Roma' nın doğu banliyölerinden Tor Tre Teste bölgesinde bulunan kilise yapısal olarak dört parçadan oluşur. Toplum merkezi ve kiliseyi oluşturan birinci bölümü, kuzeydoğu terasının oluşturduğu ikinci bölüm, kuzeybatıda yer alan rekreatif avluyu oluşturan üçüncü bölüm ve batıdaki parkı oluşturan dördüncü bölüm tamamlar (Şekil 3.13). Proje 1996 yılında, Frank Gehry, Santiago Calatrava ve Tadao Ando gibi ünlü mimarların katıldığı bir yarışma sonucunda seçilmiştir.



Şekil 3.13 Jubilee Kilisesi (Church of 2000/Richard Meier & partners, 2009)

Kilise küp ve küre gibi saf geometrik formların temel bileşenleri ve bu bileşenleri birbirine bağlayan dolu ve boşluklardan oluşan bir kompozisyon olarak tasarlanmıştır. Italcementi tarafından geliştirilen ve Bianco Teksas Milenyum adı verilen 400 x 400 x 80 cm çift eğimli prekast beton, alanda monte edilebilmesi için panellerden oluşturulmuştur (Church of 2000/Richard Meier & partners, 2009) (Şekil 3.14 – 3.15).



Şekil 3.14 Üç büyük kabuğu oluşturan Bianco Teksas Milenyum (Church of 2000/Richard Meier & partners, 2009)



Şekil 3.15 Termal avantaj sağlayan cephe (Church of 2000/Richard Meier & partners, 2009)

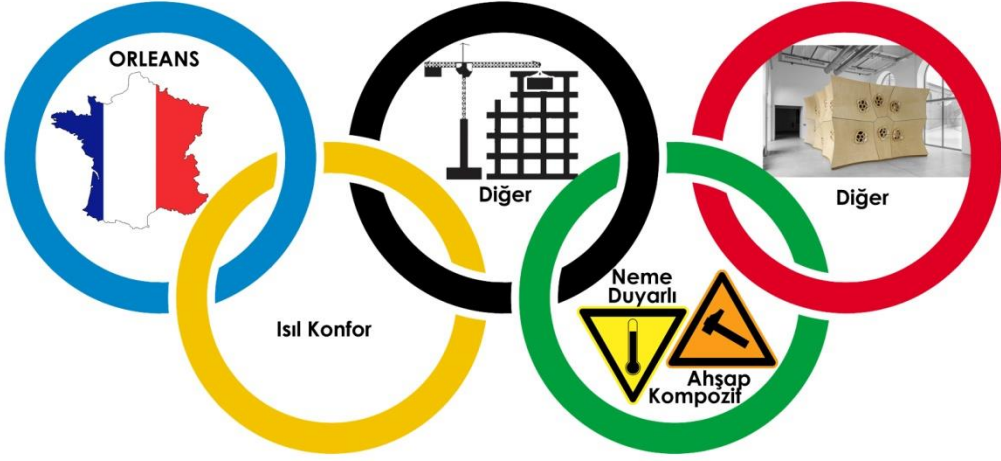
Yapının ebediyet hissini vermesi için bembeyaz olması istenen beton yüzeylerine bu rengi vermek üzere en yaygın beyaz pigment malzemesi olan titanyum dioksitle üretilen Bianco Teksas Milenyum ilk kez Jübilee Kilisesinde kullanılmıştır. Bu çimentoyla birlikte kırılmış Carrera mermerinin agrega olarak kullanıldığı yapıda, küresel beton yüzeyler 346 adet küre biçimli prefabrike beton blokla yapılmıştır. Yapının kullanıma açılmasını takip eden yıllarda, bu çimentoyla yapılan beyaz beton duvarların kir tutmadığı fark edilince yapılan laboratuvar deneylerinde malzemenin foto katalitik özelliği fark edilmiştir. Günümüzde bu tip çimentolarla yapılan betonlar ‘kirlilik yiyici beton’ olarak da anılmaktadır; bu betonla temas eden havadaki kirletici maddeler (parçacık maddeler, uçucu organik bileşikler, azot oksitler gibi) güneş ışığı altında parçalanmaktadır. Normal betonlarda da bu tip bir etki kısmen görülmekle birlikte titanyum dioksit, süreci oldukça hızlandırmaktadır (Orhon, 2013c) (Şekil 3.16).



Şekil 3.16 Jubilee Kilisesi giriş cephesi (Church of 2000/Richard Meier & partners, 2009)

3.4 HygroSkin Pavyonu

Tablo 3.4 HygroSkin Pavyonu künyesi

	
Mimari	Achim MENGES
Yapım Yılı	2013
İnşaat Alanı	~24,45 m ²
Tür	Prototip
Akıllı Malzeme Kullanım Yeri	Kabuk
Akıllı Malzeme Türü	Neme duyarlı ahşap kompozit
Akıllı Malzeme	Kompozit Ahşap – HolzhandlungWider

Stuttgart Üniversitesi Hesaplamalı Tasarım Enstitüsü'nden (ICD – Institute for Computational Design) Achim Menges, Oliver David Krieg ve Steffen Reichert'ın, HygroSkin - Meteorosensitif Pavilion (Nem cilt -Hava koşullarına duyarlı Pavyon) projesi, FRAC (Fonds Régional d'Art Contemporain – Bölgesel Çağdaş Sanat Fonu) için iklime duyarlı yeni bir mimari tarzı araştırmak için tasarlanmıştır. Çevresel duyarlılığa yönelik girişimlerin eylemsiz malzeme yapılarının üzerine yerleştirilmiş ayrıntılı teknik donanımlara dayanan çözümlerinin çoğunun aksine, bu proje malzemenin kendisinin duyarlı kapasitesini kullanmaktadır. Ahşabın nem içeriğiyle ilgili boyutsal dengesizliği, hava değişikliklerine tepki olarak özerk bir şekilde açılan ve kapanan, ancak operasyonel enerji tedariki veya herhangi bir mekanik veya elektronik kontrol gerektirmeyen, meteo-hassas bir mimari kaplama oluşturmak için

kullanılmıştır. Burada, malzemenin kendisi makinedir (Krieg, Christian, Correa, Menges, Reichert, Rinderspacher ve diğer, 2013) (Şekil 3.17 – 3.18).



Şekil 3.17 HygroSkin dış görünüş (Kleinefenn, b.t.)



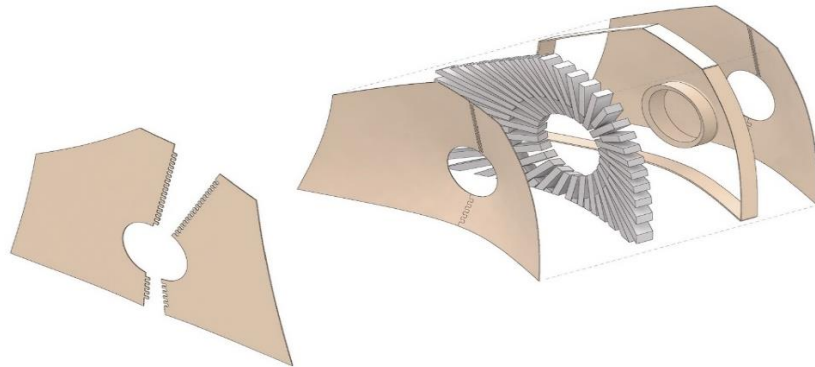
Şekil 3.18 HygroSkin iç görünüş (Kleinefenn, b.t.)

290 x 575 x 425 cm ebatlarındaki hareketli pavyonun modüler ahşap cildi, konik yüzeyler oluşturmak için düzlemsel kontrplak levhaların elastik davranış oluşturma kapasitesi düşünülerek tasarlanmış ve üretilmiştir. Her bir robotik olarak üretilmiş modülün derin, içbükey yüzeyinin içine, hava koşullarına duyarlı bir diyafram yerleştirilmiştir. Bu açıklıkların neme duyarlı davranışını fiziki olarak programlamak, sürekli geri bildirim ve çevresi ile etkileşimde çarpıcı derecede basit ama gerçekten ekolojik olarak gömülü bir mimariye olanak tanımıştır. Duyarlı ahşap kompozit cilt, ortamın bağıl nemindeki değişikliklere doğrudan tepki olarak pavyonun gözenekliliğini ayarlar. Pavyonun dış ve iç mekanı arasındaki ilişkinin bu ince ama sürekli modülasyonu, çevresel ve mekânsal deneyimlerin benzersiz bir şekilde birleşmesini sağlamıştır (Hofbauer, 2012) (Şekil 3.19).



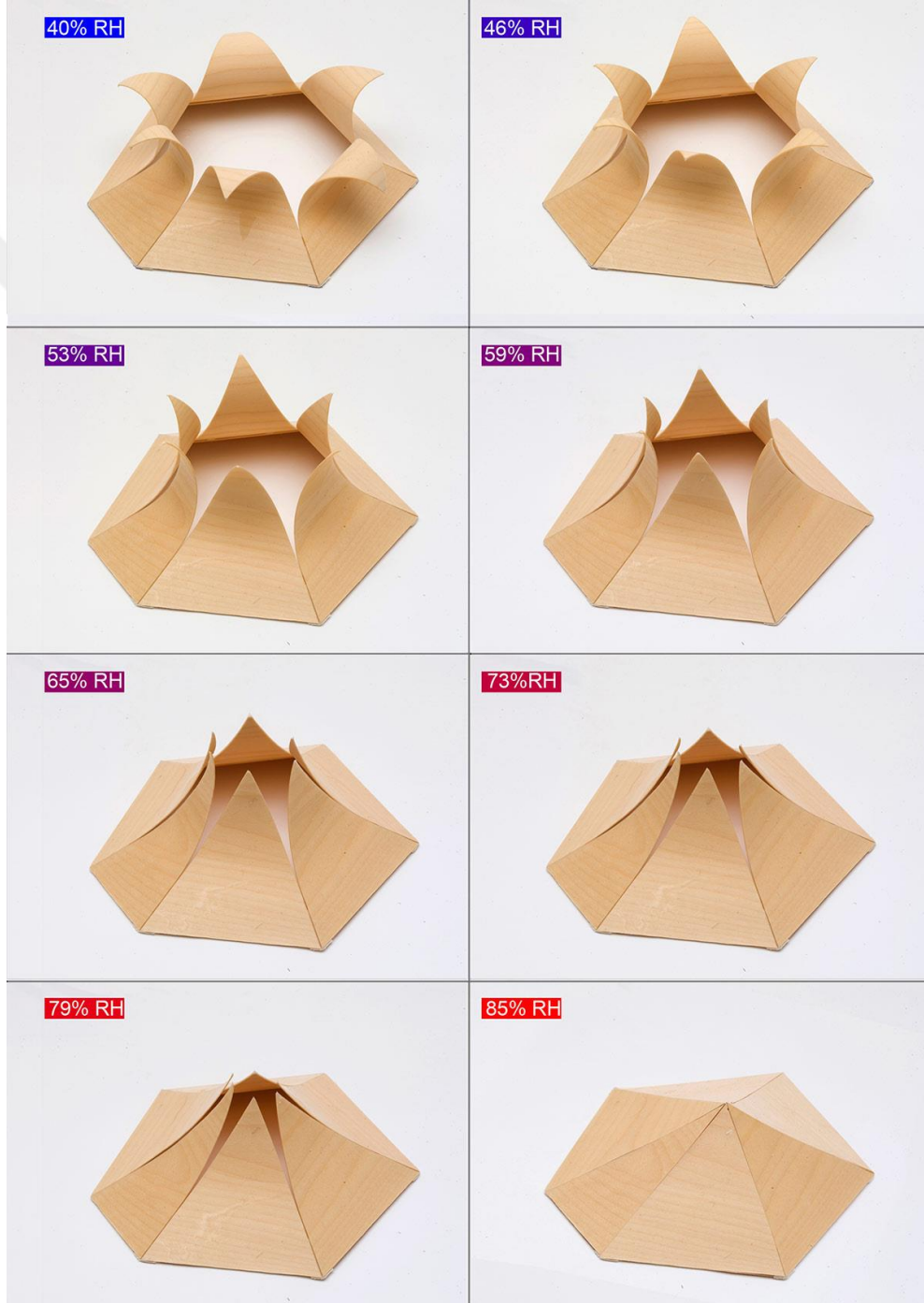
Şekil 3.19 Hygroskin tasarım yaklaşımı (Raskin, 2017)

Hem taşıyıcı yapı hem de neme duyarlı kabuk, ince kontrplak levhaların elastik bükülme davranışlarının hesaplanması ile türetilmiştir. Malzemenin konik yüzeyler oluşturma kapasitesi, 28 farklı geometrik bileşenden oluşan, 1.100 adet neme duyarlı diyafram açıklığı barındıran parçadan oluşmuştur (Hygroskin: meteorosensitive pavilion, b.t.) (Şekil 3.20).



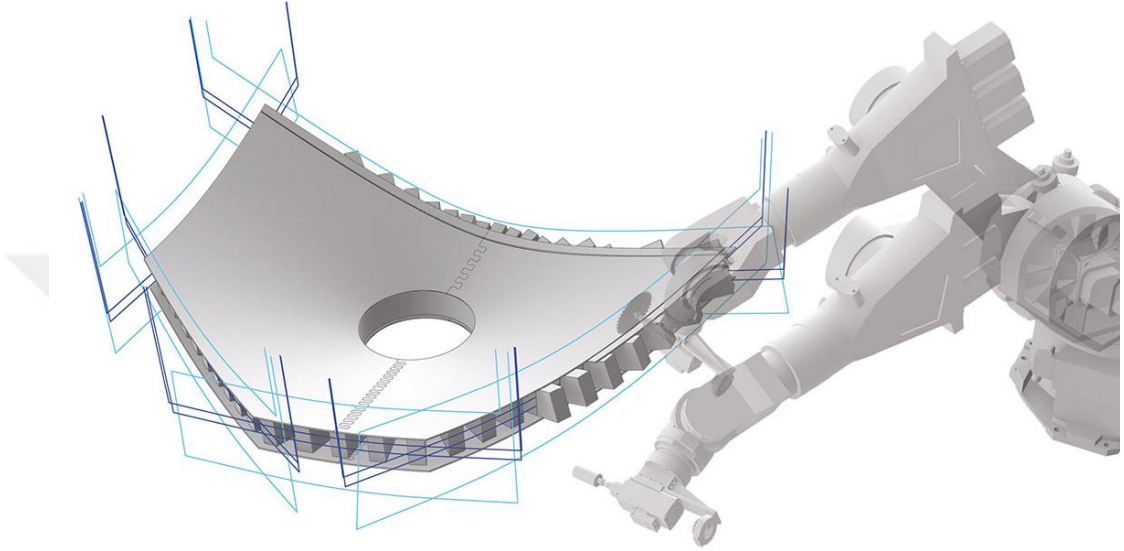
Şekil 3.20 Hygroskin modül (Hudson, 2014)

Açıklıklar, % 30 ila % 90 aralığındaki bağıl nem değişikliklerine yanıt verebilecek şekilde tasarlanmıştır (ılıman iklim bölgesinde parlak güneşli ila yağmurlu havadaki nem aralığı). Pavyon, yerel mikro iklim geri bildirim ile açıklık ve gözeneklilik derecesini sürekli olarak ayarlayarak, zarfın ışık iletimini ve görsel geçirgenliğini modüle eder (Hygroskin: meteorosensitive pavilion, b.t.) (Şekil 3.21).



Şekil 3.21 Hygroskin modül nem çalışma prensibi (Hudson, 2014)

Ortam nemi tarafından tetiklenen nemin adsorpsiyon ve desorpsiyonu sürecinde, ahşap hücre dokusundaki mikrofibriller arasındaki mesafeyi değiştirir, bu da boyutta önemli bir anizotropik değişikliğe yol açar. Kesin bir morfolojik eklem yoluyla, geliştirilen malzeme, bağıl nemdeki değişikliklere tepki olarak farklı şekilleri hesaplamak için fiziksel olarak programlanabilir (Şekil 3.22 – 3.23).



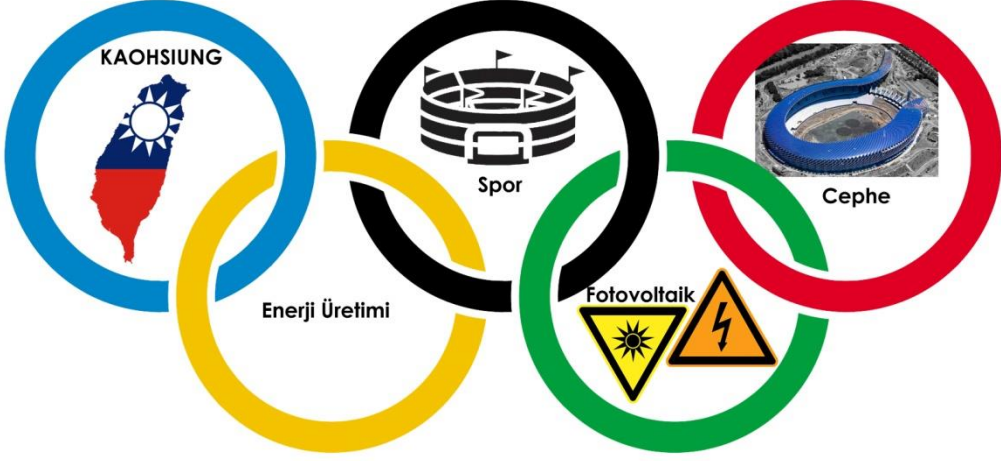
Şekil 3.22 HygroSkin modül imalatı (Hudson, 2014)



Şekil 3.23 HygroSkin modül imalatı (Krieg, b.t.)

3.5 Kaohsiung Stadyumu (Kaohsiung Stadium)

Tablo 3.5 Kaohsiung Stadyumu künyesi

	
Mimari	Toyo Ito
Yapım Yılı	Temmuz 2009
İnşaat Alanı	~99.000 m ²
Tür	Stadyum
Akıllı Malzeme Kullanım Yeri	Çatı – Cephe
Akıllı Malzeme Türü	Fotovoltaik
Akıllı Malzeme	PV- Lucky Power Technology

Japon mimar Toyo Ito tarafından Tayvan'ın Kaohsiung kentinde, Dünya Futbol Kupası'nın ana stadyumu olarak tasarlanan yapı 55.000 seyirci kapasitesine sahiptir (Şekil 3.24).

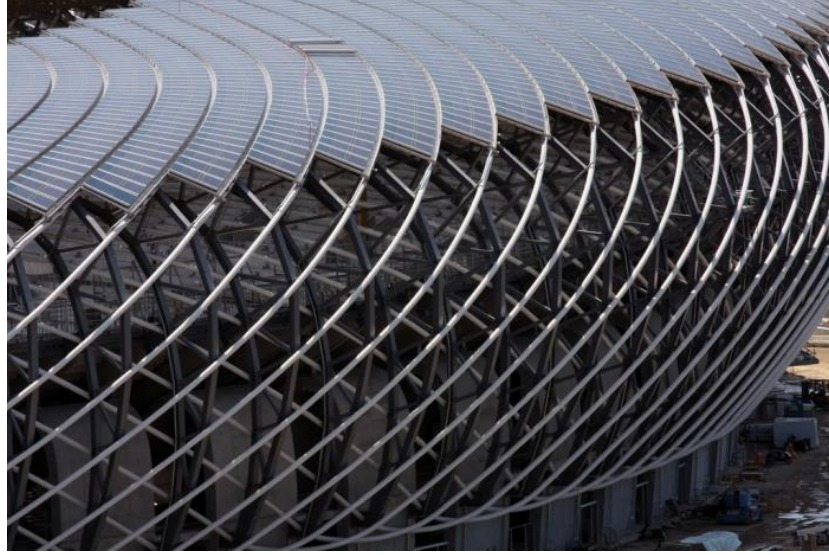


Şekil 3.24 Kaohsiung Stadyumu giriş meydanı (Ourousoff, 2009)

Dünyanın en çevreci stadyumu olarak nitelendirilen yapı, elektrik ihtiyacını 14.155 metrekarelik bir alana yayılmış fotovoltaiik panellerden karşılıyor. Güneş panelleri çatıya, metalik yılanı benzer pullu bir görünüm veriyor. Bu bakımdan yerel halk yapıya “cam yılan” ve “ejderhanın kuyruğu” adını takmıştır (Şekil 3.25 – 3.26).

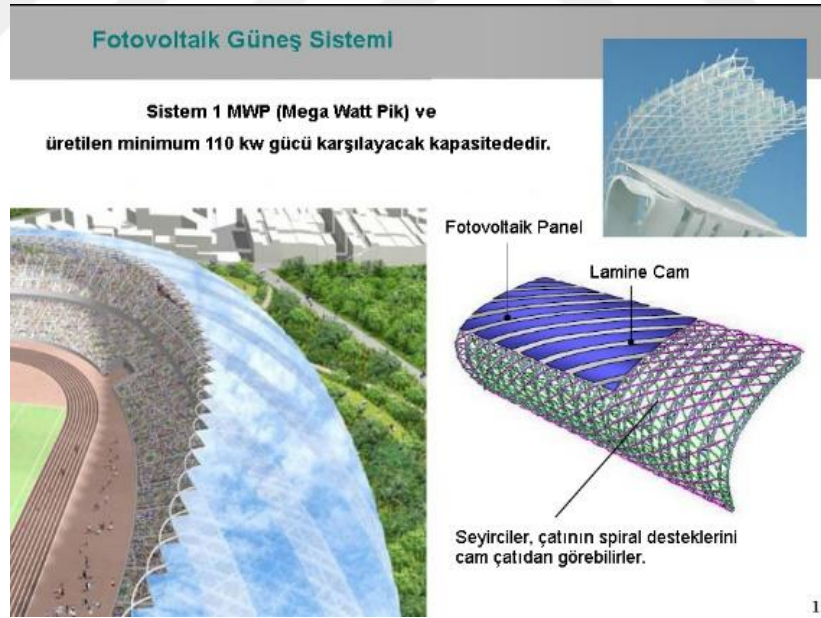


Şekil 3.25 Kaohsiung Stadyumu (Ourousoff, 2009)



Şekil 3.26 Fotovoltaik paneller (Ourousoff, 2009)

Tayvan firması Lucky Power Technology tarafından üretilen, 8.844 adet solar panele sahip arena, atletizm parkuru için 3.300 lux aydınlatma sağlayabilmektedir (World's largest solar powered stadium, 2009) (Şekil 3.27).



15

Şekil 3.27 Fotovoltaik panel tasarım etütleri (Ourousoff, 2009)

Kaohsiung Stadyumu, maç olmadığı zamanlarda ürettiği elektrik enerjisini kent bünyesinde yer alan şebekeye aktarıyor. Bu şekilde çevresinde yer alan yerleşim birimlerine de elektrik sağlıyor. Paneller yılda 1,14 milyon kWh elektrik üretiyor.

Üretilen bu elektrik enerjisi sayesinde 660 ton karbondioksit doğaya karışmamış oluyor (Laylin, 2014) (Şekil 3.28 – 3.29).



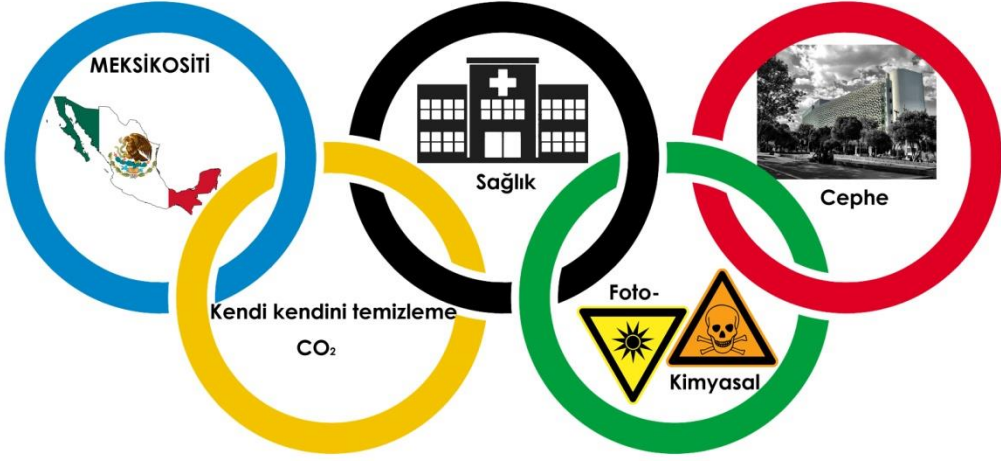
Şekil 3.28.Çatı oluk sistemi (Ourousoff, 2009)



Şekil 3.29 Kaohsiung Stadyumu genel yerleşim (Ourousoff, 2009)

3.6 Manuel Gea Gonzalez Hastanesi Cephesi

Tablo 3.6 Manuel Gea Gonzalez Hastanesi künyesi

	
Mimari	Buro Happold
Yapım Yılı	Nisan 2013
İnşaat Alanı	~35.000 m ²
Tür	Hastane
Akıllı Malzeme Kullanım Yeri	Cephe
Akıllı Malzeme Türü	Fotokatalitik cephe
Akıllı Malzeme	Prosolve 370 - Elegant Embellishments

1992 yılında Birleşmiş Milletler, Mexico City’i gezegenin en kirli şehri seçti. Bunun üzerine Meksika Sağlık Bakanlığı ülke çapında, üç yıllık 20 milyar dolarlık bütçeli bir proje başlattı. Bu proje kapsamında Manuel Gea González Hastanesi’nin mevcut cephesi, Allison DRING ve Daniel Schwaag tarafından yeniden tasarlandı.

Berlin merkezli tasarım stüdyosu, kirliliği önlemek için sünger ya da mercana benzer 100 metre uzunluğunda, 2.500 metrekarelik bir cephe oluşturdu (Şekil 3.30). Titanyum dioksit kaplı beyaz cephenin, ultraviyole ışınlarının kaplamaya ulaşması ile kimyasal reaksiyona girerek havayı temizlemesi sayesinde günde 1.000 araçlık karbon dioksit bertaraf edilebilmektedir (Zimmer, 2013).

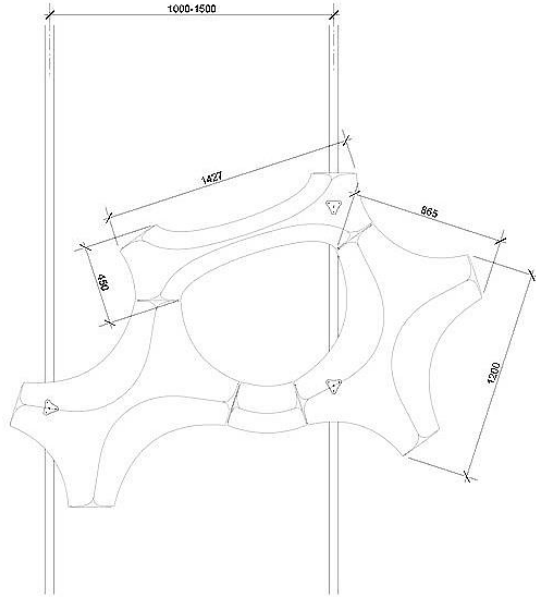


Şekil 3.30 Manuel Gea Gonz lez Hastanesi (Zimmer, 2013.)

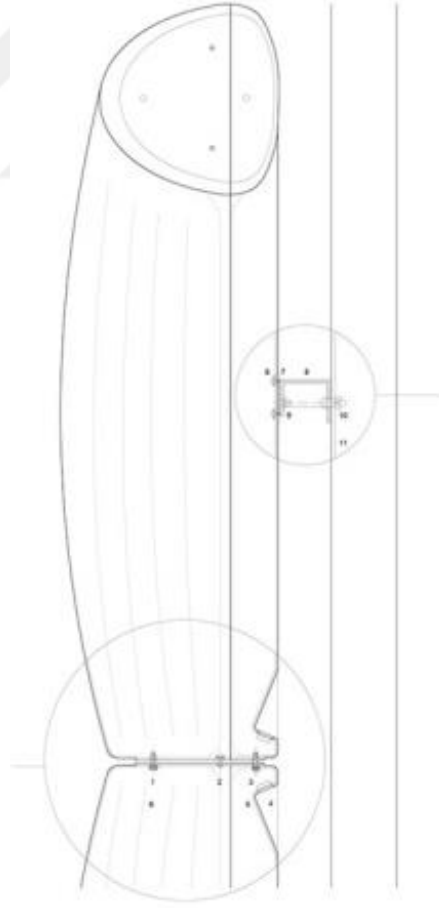
Ticari adı Prosolve 370E olan, TiO_2 içerikli termoplastikler, X ve I formlarında kalıplanarak modüler olarak üretilip, bina cephesindeki bir  elik ızgaraya monte edilmiştir ( ekil 3.31 – 3.32 – 3.33). Bu heykelimsi akıllı bezeme, hem içerdiği fotokatalik malzeme sayesinde hava kirliliğini temizlerken, hem de güneş kırıcı işlevi görerek cephenin radyasyon almasını engelleyerek, binanın iklimlendirme maliyetlerini azaltmıştır. Ayrıca yaratmış olduğu dolu – boş harmonisiyle binanın doğal ışıktan yararlanmasına da katkı sağlamıştır (Facade on the torre de especialidades, 2013).



Şekil 3.31 Prosolve 370E (Zimmer, 2013.)

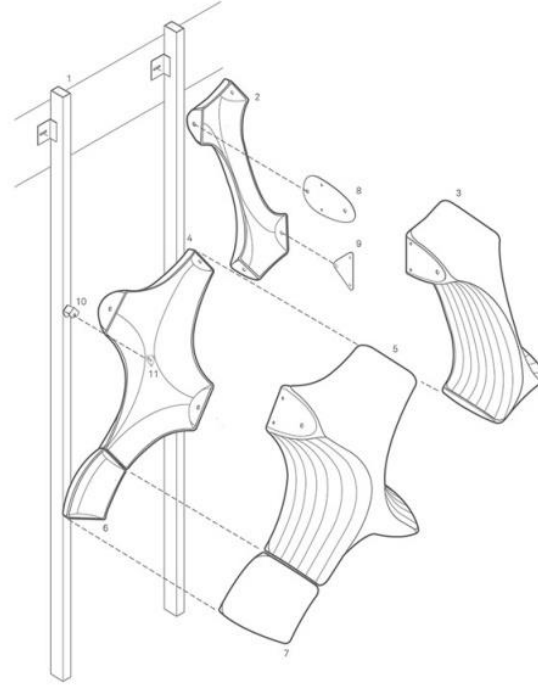


Şekil 3.32 X ve I modüller (Planetatlalpan, b.t.)



Şekil 3.33 Manuel Gea Gonzàlez Hastanesi sistem kesiti (Planetatlalpan, b.t.)

Buro Happold 509 Mega Panelin, uygun kombinasyonunu yapmak için, 500 farklı çizim oluşturmuştur. Bu bakımdan her bir bağlantı noktası, ön ve arka yükseklikleri ile bütünde eşsiz bir konfigürasyonu temsil eder (Şekil 3.34 – 3.35).



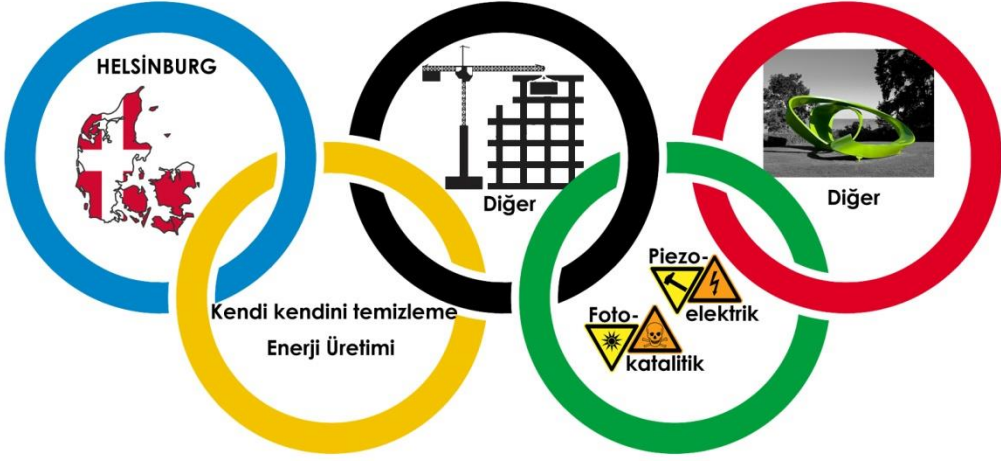
Şekil 3.34 Manuel Gea Gonzàlez Hastanesi montaj şeması (Decorative facades that eat pollution, b.t.)



Şekil 3.35 Manuel Gea Gonzàlez Hastanesi cephe detayı (Decorative facades that eat pollution, b.t.)

3.7 Lousiana Pavyonu (Lousiana Pavilion)

Tablo 3.7 Lousiana Pavyonu künyesi

	
Mimari	3XN
Yapım Yılı	2010
İnşaat Alanı	~40 m ²
Tür	Pavyon
Akıllı Malzeme Kullanım Yeri	Karma
Akıllı Malzeme Türü	Hidrofilik, fotokatalitik, piezoelektrik
Akıllı Malzeme	Multi – 3XN, StageOne, COWI

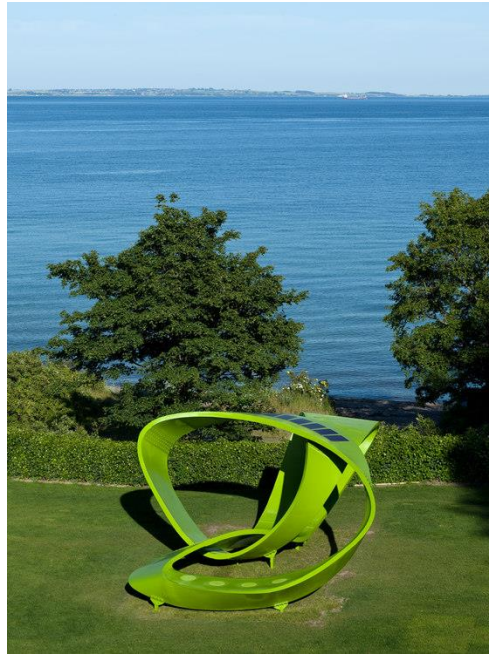
Louisiana Modern Sanat Müzesi heykel parkındaki yeşil pavyon sürdürülebilirlik ve akıllı malzemeleri birleştiren tasarımı ile 2010 JEC İnnovasyon Ödülü'ne layık görüldü.

GXN, AR-GE departmanı için projeyi geliştiren 3XN'den Kim Nielsen "..... Proje biyolojik malzemelerden inşa edilebilecek şeylerin sınırlarını test etme deneyi olarak başladı. Çünkü biz inanıyoruz ki gelecekte geliştirilmesi alüminyum veya betondan daha az enerji gerektiren malzemeler olacak. Şimdi umudumuz, bu proje sayesinde geliştirilen bilginin diğer uygulamalarda ve belki başka endüstrilerde kullanılabilmesi" diye açıklıyor.

Pavyon toprakta çözünebilen şişe mantarı, keten elyafı, mısır ve soya fasulyesi gibi biyolojik malzemelerden inşa edilmiş. Tüm bu malzemeler, proje için geliştirilen bir biyo-bileşik meydana getirmiş. Dış kabuk cam ve keten elyaflarında döküm kompozit olarak, iç kısım ise mantardan bir polistiren köpük ile imal edilmiştir. 3 metre yükseklik, 8 metre uzunluk ve 5 metre genişlikteki pavyon 84 milimetre kalınlığında iç mantar ve onu kaplayan 14 kat elyaftan oluşuyor (3XN-Louisiana pavilion, 2009) (Şekil 3.36 – 3.37).



Şekil 3.36 Lousiana Pavyonu (Naidoo, 2009)



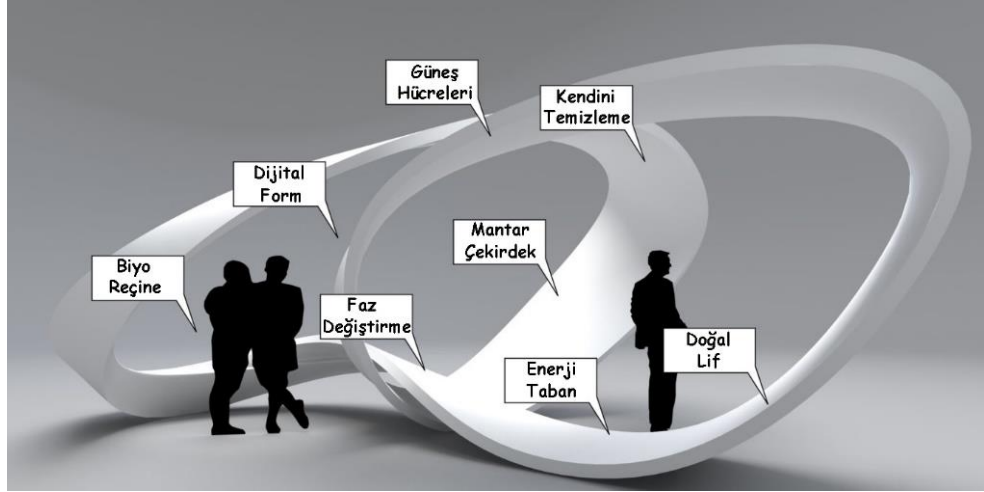
Şekil 3.37 Lousiana Pavyonu (3XN-Louisiana pavilion, 2009)

Pavyona bir dizi yüksek teknoloji ögesi de entegre edilerek, çevresi ile etkileşime girmesi sağlanmıştır. Faz değiştiren malzemeler sıcaklığı düzenliyor, böylece soğuk havalarda pavyon üzerine oturulabilecek sıcaklıkta oluyor, sıcak havalarda ise serinlik sağlıyor. Dış yüzey kendi kendini ve fotokatalitik etkisi ile çevresindeki havayı temizliyor. Bu pavyonun en önemli etkileşimi, Louisiana Modern Sanat Müzesi bahçesindeki diğer pek çok heykelin aksine, dokunulabilmesi ve üzerinde yürünebilmesidir (Lomholt, 2010) (Şekil 3.38).



Şekil 3.38 Lousiana Pavyonu (3XN-Louisiana pavilion, 2009)

Pavyonun üst kısmına 1 milimetre kalınlığında esnek güneş hücreleri yerleştirilmiş. Hücrelerin çift eğrilikli yüzeylere kolay uyarlanabilmesi için film şeklinde olması tercih edilmiş. Hidrofilik yüzey, suyun yüzeyde tutunmasını önlerken, fotokatalitik kaplama da 8 metrelik yarıçapta kirleticilerin % 70'nin temizlenmesini sağlıyor. Faz değiştiren malzeme ile ısıнын 23 °C olması sağlanmış. Sıcaklık yükseldiğinde malzeme ısıyı emerek katılaşıırken, düştüğünde ise ortama ısı vererek sıvılaşıyor (Naidoo, 2009) (Şekil 3.39 – 3.40 – 3.41).



Şekil 3.39 Tasarım yaklaşımı (3XN-Louisiana pavilion, 2009)



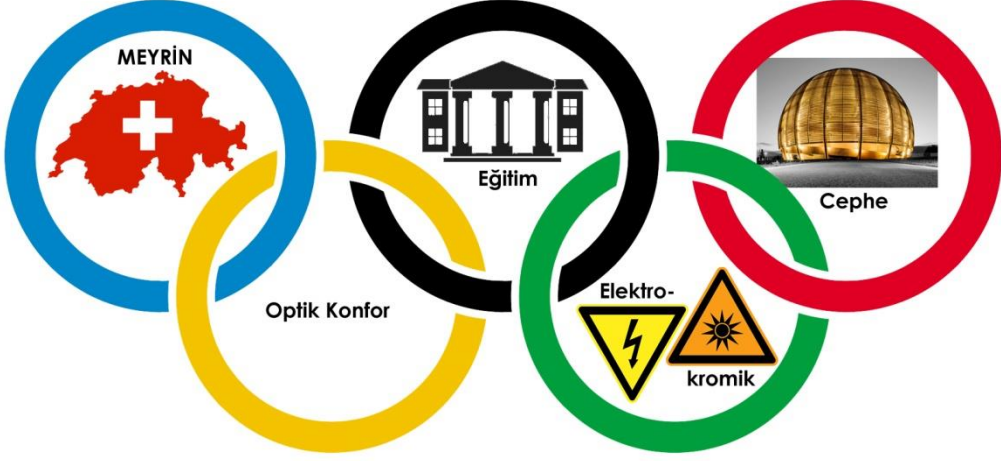
Şekil 3.40 Louisiana Pavyonu imalatı (3XN-Louisiana pavilion, 2009)



Şekil 3.41 Louisiana Pavyonu montajı (3XN-Louisiana pavilion, 2009)

3.8 CERN Bilim ve Yenilik Küresi (CERN Globe of Science and Innovation)

Tablo 3.8 Cern Bilim ve Yenilik Küresi künyesi

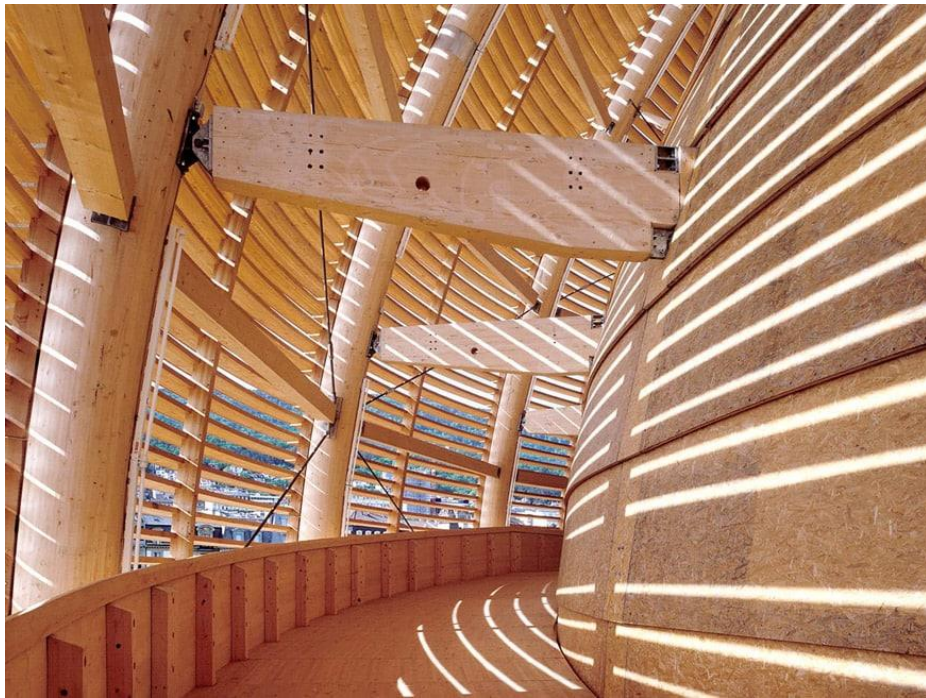
	
Mimari	Thomas Büchi ve Hervé Dessimoz
Yapım Yılı	Şubat 2012
İnşaat Alanı	~1.256 m ²
Tür	Müze
Akıllı Malzeme Kullanım Yeri	Çatı
Akıllı Malzeme Türü	Elektrokromik Cam
Akıllı Malzeme	SPD Smart Glass – Research Frontiers

Bilim ve İnovasyon Küresi, CERN'de yürütülen önemli araştırmalar hakkında ziyaretçileri bilgilendirmek için tasarlanmış bir ziyaretçi merkezidir. Dünyanın en uzun ahşap yapısı olan bu sürdürülebilir dünya, bir aydınlanma işaretidir ve CERN'in eğitim ve sosyal yardım programının merkezidir. 27 metre (89 ft) yüksekliğinde ve 40 metre (130 ft) çapında olan ahşap yapı, dünya gezegeninin bir sembolüdür ve orijinal olarak İsviçre'nin Neuchâtel kentinde Expo.02 için inşa edilmiştir (Şekil 3.42). 2004 yılında İsviçre'nin Cenevre Kantonu'ndaki Meyrin'deki şu anki yerine taşındı. 2010 yılında dünya yenilendi ve yeni, kalıcı sergisi olan Parçacıklar Evreni açıldı.



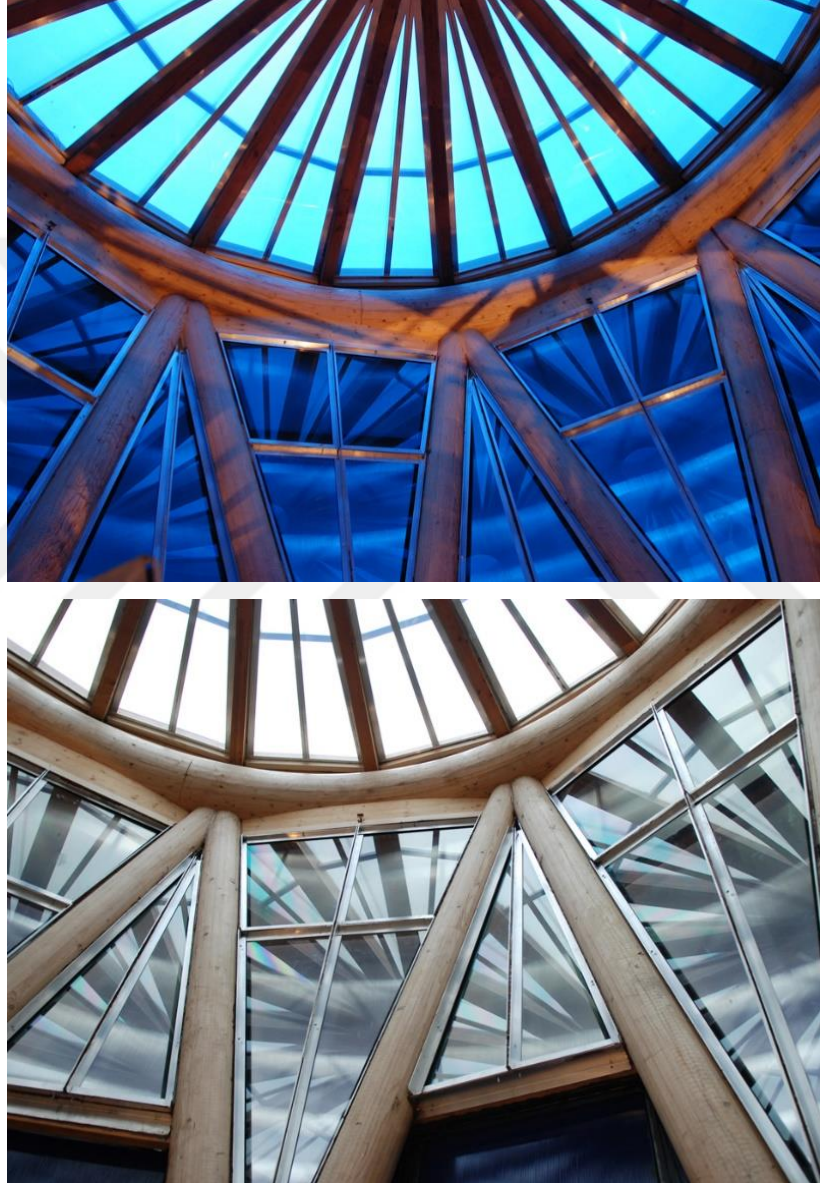
Şekil 3.42 CERN Bilim ve Yenilik Küresi (The globe of science and innovation, CERN, b.t.)

Dünya, birbirine iç içe yerleştirilmiş, beş farklı ahşap türünden oluşan (İskoç çamı, Douglas çamı, ladin, karaçam ve Kanada akçaağaç), iki eş merkezli küreden oluşur (Bianchini, 2019a) (Şekil 3.43).

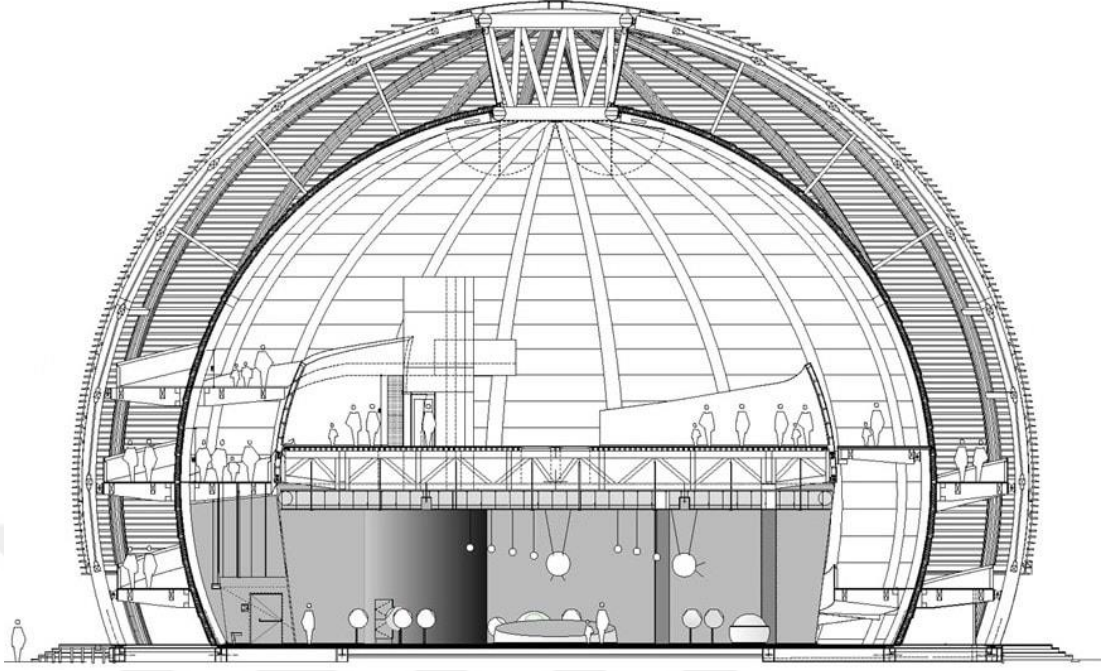


Şekil 3.43 İç ve dış kubbelerin ana yapısını oluşturan silindirik ahşap kemerler (Bianchini, 2019a)

Küre, talep üzerine aydınlık ve karanlığa erişim gerektirir. Bu amaçla, binaya giren ışığı hassas bir şekilde kontrol etmek için Smartglass'ın kullanıcı kontrollü elektrokromik camı kullanılmıştır (Şekil 3.44 – 3.45). Kavisli tavan penceresi ve kürenin dikey hatları boyunca elektrokromik cam kullanılırken, orijinal camda korunmuştur.



Şekil 3.44 Bilim ve Yenilik Küresi elektrokromik cam (The globe of science and innovation, CERN, b.t.)

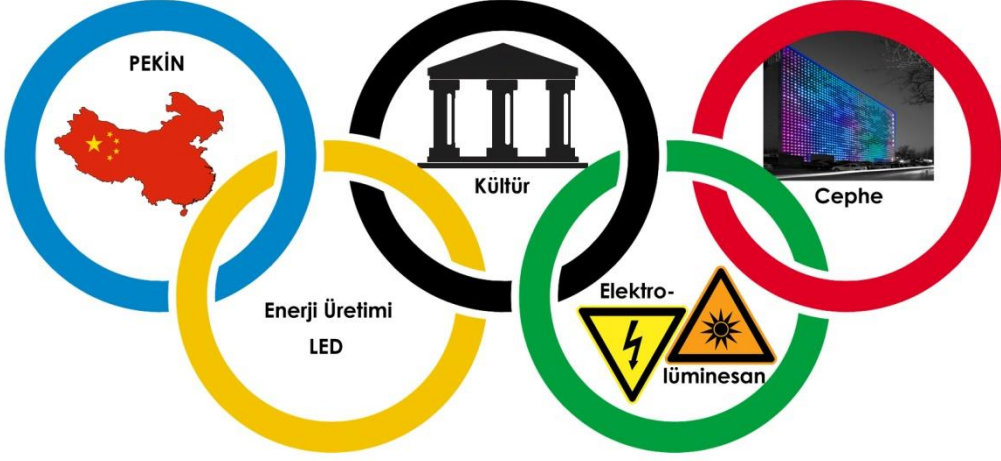


Şekil 3.45 Bilim ve Yenilik Küresi kesiti (Bianchini, 2019a)

Elektrokromik cam, oditoryumdaki ışık yoğunluğunu ayarlanabilir hale getirir, bu da gün boyunca büyük ekrana yansıyan güneş ışığı sorununu çözer. İki veya daha fazla cam panel arasında asılı partikül filmlerinin laminasyonundan oluşan SPD SmartGlass 5-6 mm kalınlığındadır. Akıllı camın küçük bir akımla etkinleştirilmesiyle çubuk şekilli asılı parçacıklar hizalanarak ışığın geçmesi sağlanır. Güç kapatıldığında, asılı parçacıklar rasgele dönerek ışığın% 99,4'ünü engelleyen hizalama sağlanır. Bu şekilde parlamayı kontrol etmek mümkündür (The globe of science and innovation, CERN, b.t.).

3.9 Xicui Eğlence Merkezi (Xicui Entertainment Center)

Tablo 3.9 Xicui Eğlence Merkezi künyesi

	
Mimari	Simone Giostra & Partners Architects
Yapım Yılı	Haziran, 2008
İnşaat Alanı	2.200 m ²
Tür	Eğlence Merkezi
Akıllı Malzeme Kullanım Yeri	Cephe
Akıllı Malzeme Türü	LED
Akıllı Malzeme	LED – Thorn China

Simone Giostra & Partners Architects firması tarafından tasarlanan Eğlence Merkezi'nin cephesinde oluşturulan 'GreenPix – Zero Energy Media Wall' (Sıfır Enerjili Medya Duvarı), 2008 yılı haziran ayında açılmıştır. Aynı yıl Pekin'de organize edilen Olimpiyat Oyunlarının yapıldığı bölgede bulunan yapı, bir cam cephede ülkede ilk kez kullanılan Fotovoltaik paneller sayesinde kendi enerji ihtiyacını karşılayabilen dünyanın en büyük renkli LED ekranına sahiptir. Güneş panelleri yerli üretici Sun Tech firması tarafından tedarik edilmiştir. Polikristal hücreler giydirme cephenin lamine camlarının içine yerleştirilmiş ve tüm cephe alanında değişen yoğunlukta kullanılmıştır. Bu yaklaşım sayesinde bina içine giren güneş ışınımı engellenerek, ısı artışı dengelenmiş, fazla ışıınımdan enerji üretilip, depolanmıştır (Şekil 3.46).



Şekil 3.46 GreenPix Medya Duvarı (Mcmanus, 2008.)

2.292 rengi kapsayan 60 m x 33 m.'lik geniş LED ekran sayesinde; sürdürülebilirliğin sosyal boyutunu içeren bir Medya Ekranı oluşturulan binanın 'akıllı derisi', bina içinin dış ortamlarla etkileşimini sağlayabilecek şekilde tasarlanan bir yazılımla cephenin eğlence ve kamusal kullanım için duyarlı bir çevreye dönüşmesini sağlamıştır (Kwok, b.t.) (Şekil 3.47).



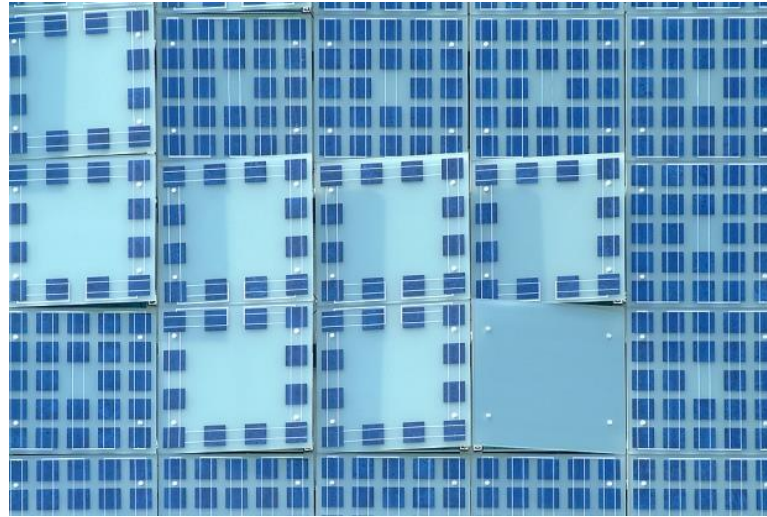
Şekil 3.47 GreenPix Medya Duvarı modülasyonu (Kwok, b.t.)

GreenPix gün içinde güneş enerjisini toplayan ve daha sonra akşam aynı güçten ışık üreten organik bir sistem gibi davranmaktadır. Bina bir kilometre mesafeden görülebilmektedir (Mcmanus, 2008) (Şekil 3.48).



Şekil 3.48 GreenPix Medya Duvarı (Currey, 2008)

2.200 m² taban alanına sahip, 10 katlı binanın, 534 m²'lik cephesinde, maksimum gücü 79 kW ve yıllık üretimi 38.929 kW/y olan fotovoltaik paneller, 2.292 adet LED ile birlikte kullanılmıştır (Kwok, b.t.) (Şekil 3.49).



Şekil 3.49 GreenPix Medya Duvarı fotovoltaik paneller (Kwok, b.t.)

Cephenin ana unsurlarını polikristalin fotovoltaik hücre ve kaplama taşıyıcısına cıvata ile sabitlenmiş, 890 x 890 mm ebatlarında açık derzli lamine cam oluşturmaktadır. Gündüz cephedeki güneş ışığı yansıma çeşitliliğini arttırmak için,

cam modüllerin yarısında sola veya sağa doğru uygulanabilecek 5 farklı eğim oluşturulmuştur (Roberts ve Guariento, 2009).

Fotovoltaik hücreler, yarı saydam bir difüzif görünüm sağlamak için işleminden geçirilmiş bir yapışkan ara katman kullanılarak iki cam panel arasında lamine edilmiştir. Gün boyunca arka duvardaki açıklıklardan yeterli gün ışığının geçmesi ile binanın içinde ışığın kalitesi açısından yüksek düzeyde konfor sağlanmıştır. Ara tabakanın difüzyon etkisi, kaplama yapısının cam çizgisinin ötesinde, dışarıdan görünürlüğünü en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Bu etki ayrıca, Fotovoltaik hücreleriyle kontrast oluşturmaktadır.

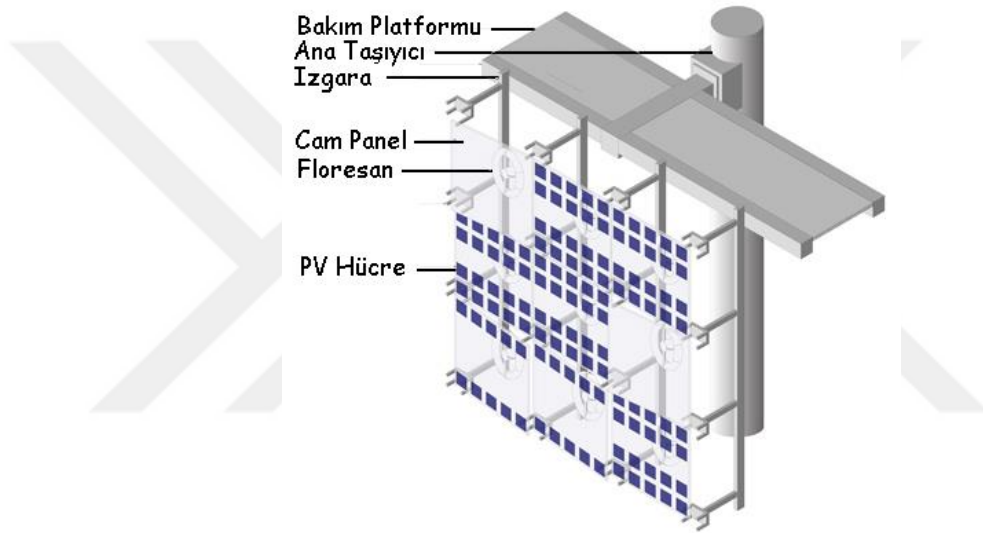
Modüller Fotovoltaik hücrelerin yoğunluğuna ve sayısına göre ‘düşük’, ‘orta’ ve ‘yüksek’ şeffaflık olmak üzere üç farklı düzen sunmaktadır. Üç modül tipi cepheye bir ‘deniz manzarası’ nı çağrıştıracak şekilde önceden belirlenmiş bir düzende konumlandırılmıştır. Gece boyunca LED’ler arka taraftan panellere yansır ve difüze ara katman ışığın yayılmasına yardımcı olur.

Kaplama için kullanılan yağmur perdesi, arkadan havalandırılmalı tiptedir. Ana duvarda yalıtım ve buhar bariyerleri bulunmaktadır. Her bir modül, paslanmaz çelik bağlantı parçalarına bağlanan dört noktalı örümcek kelepçe destek sistemi ile cıvatalanmıştır. Camdaki sabitleme cıvatalarının etrafındaki contalar, sabitlemeden dolayı oluşabilecek bükülme momentlerini engelleyerek, rüzgar ve havaya tepki olarak genişleyebilmeleri, büzülebilmeleri ve esneyebilmeleri için hareketli yükleri, kaymaları ve modüllerin düzlemlerinde dönmelerine olanak sağlar (Roberts ve Guariento, 2009)..

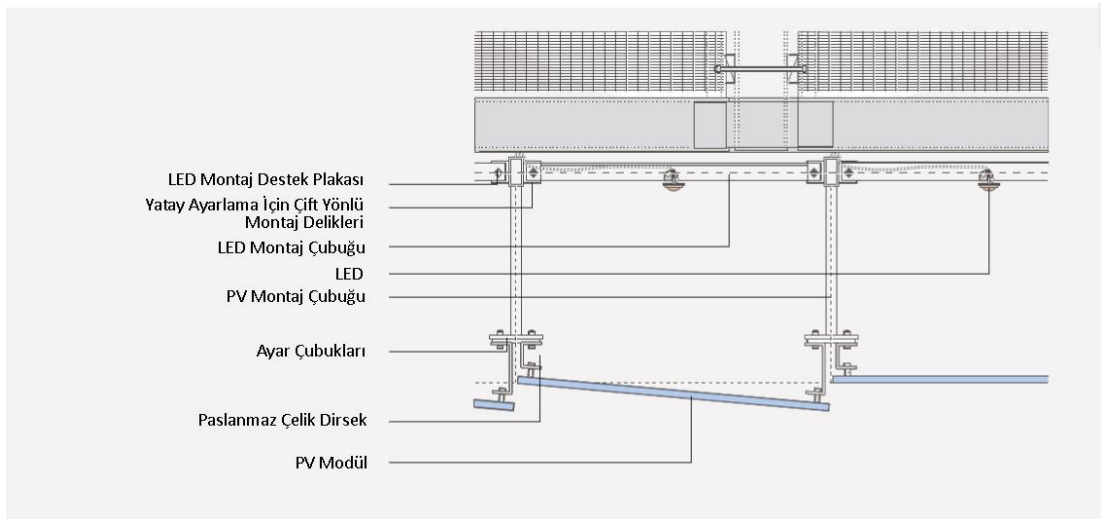
Fotovoltaik panelleri destekleyen çelik taşıyıcı, cam yüzeyin 600 mm arkasına yerleştirilmiş LED armatürlerin ızgarasını da desteklemektedir. Sistem kurulumundan sonra, her bir LED armatürü fotovoltaik modülünü ortalayacak şekilde hizalanmıştır. (Şekil 3.50 – 3.51 – 3.52).



Şekil 3.50 Lamine cam ve fotovoltaik paneller (Roberts ve Guariento, 2009)



Şekil 3.51 Cephe montaj detayı (Etherington, 2008)



Şekil 3.52 Cephe kesiti (Roberts ve Guariento, 2009)

3.10 Arap Dünyası Enstitüsü (Institut du Monde Arabe)

Tablo 3.10 Arap Dünyası Enstitüsü künyesi

	
Mimari	Jean Nouvel
Yapım Yılı	1987
İnşaat Alanı	16.894 m ²
Tür	Eğitim
Akıllı Malzeme Kullanım Yeri	Cephe
Akıllı Malzeme Türü	Şekil Bellekli Alaşım
Akıllı Malzeme	SMA – Baudinchateaneuf

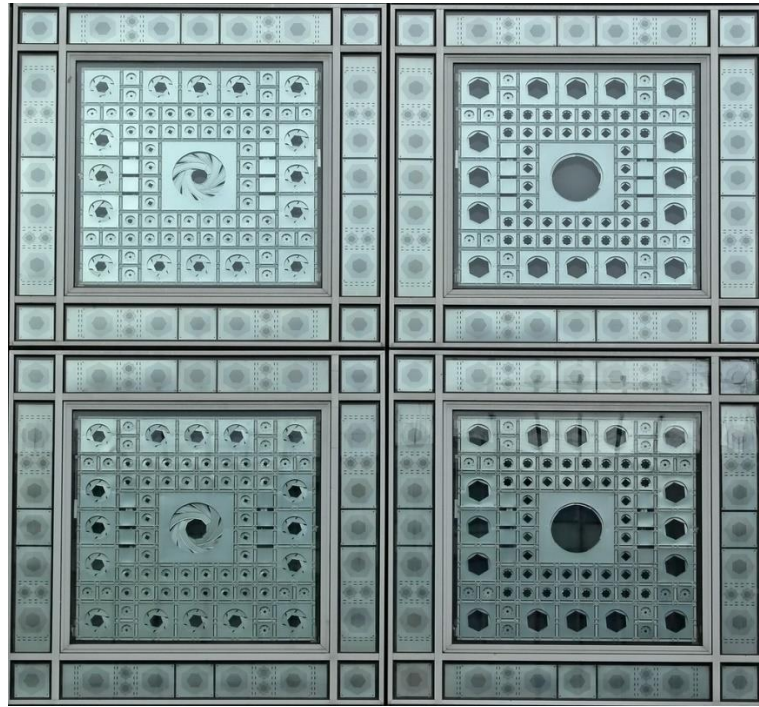
Paslanmaz çelik ve cam kullanımının dikkat çektiği yapı, Fransa'nın İslami kültürle olan ilişkisinin ve Arap mimarisinin geleneksel tarzının bir araya gelerek, farklı bir ortamda yeniden yorumlanması olarak tanımlanabilir (Şekil 3.53).

Yapının kullanım alanı içinde, 2.600 m² sürekli ve 700 m² geçici sergi alanları bulunmaktadır. Bu sergi alanlarında Arap – İslam eserleri sergilenmektedir. Bunlardan başka, en son teknolojinin kullanıldığı yapıda, kütüphane, arşiv, film/video dokümantasyon bölümleri, ofisler, restoran ve kafeterya bulunmaktadır (Imarabe, b.t.).



Şekil 3.53 Arap Dünyası Enstitüsü giriş cephesi (Michler, 2010)

Bu proje ile Ağa Han Mimarlık Ödülü kazanan Mimar Jean Nouvel, yapılan bir söyleşide binanın tasarım ve yorumuyla ilgili olarak, “Arap mimarisinin en önemli özelliği ışığın bir malzeme (obje) gibi kullanılmasıdır. Bu nedenle ışığın projemizdeki en önemli eleman olması gerektiğini hissettim” demiştir (Şekil 3.54 – 3.55).

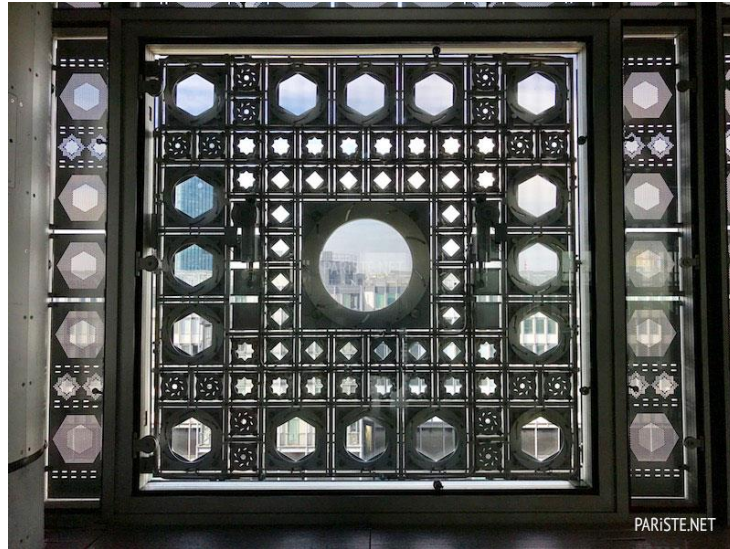


Şekil 3.54 ‘Mashrabiya’ (Imarabe, b.t.)



Şekil 3.55 Işığın iç mekan etkisi (Michler, 2010)

Yapının kabuğu, yapıda iç ve dış ortamları birbirinden ayırır. Burada yapı kabuğu olarak ifade edilen çatı ve cephedir. Kabuğun işlevi, iç ortamı, dış ortamdaki olumsuz etmenlerden korumaktır. Ancak, bilindiği gibi dış ortamdaki çevresel etkiler sabit değildir, dolayısıyla ideal kabuk da değişim gösterebilmelidir. Değişen çevresel koşullar karşısında sabit özellikli bir kabuk, yeterli korumayı ve iç/dış ortam dengesini sağlayamaz. Günümüzde teknolojinin de ileri seviyede kullanılmasıyla, yapı kabuğu iç ortamı dışarıdan neredeyse tamamen ayırmaktadır. Kabuk, yapıya dair algılanan ilk öge olduğundan, hem estetik ve hem de prestij açısından önem kazanmaktadır (Şekil 3.56).



Şekil 3.56 Arap motiflerinden esinlenilen cephe formu (Ore, 2014)

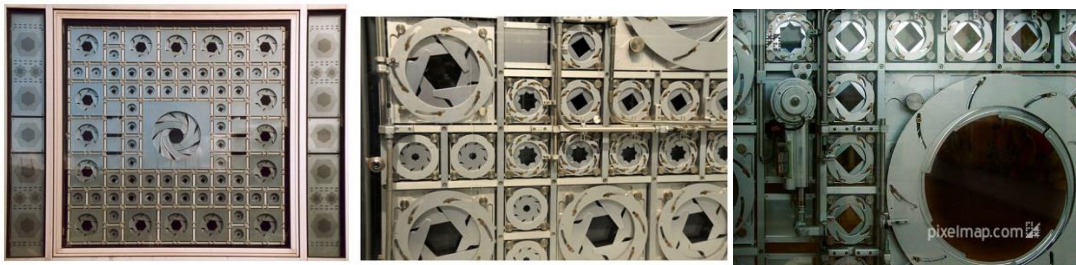
Arap Dünyası Enstitü Binası, değişebilir yapı kabuğuna çok iyi bir örnek olarak verilebilir. Düşey kabukta (cephede) hareketli sistem kullanılması açısından çok önemli bir örnek olan yapının, güney cephesinde 27.000 adet alüminyum diyafram bulunmaktadır (Imarabe, b.t.) (Şekil 3.57).

Bir fotoğraf makinası lensi gibi açılıp kapanan diyaframlar aslında ışığın binaya girişindeki kontrolün sağlanması için kullanılmıştır. Aynı zamanda geleneksel Arap mimarisindeki "mashrabiya" tarzının tasarıma yansıtılması açısından da çok iyi bir örnek oluşturmuştur.



Şekil 3.57 Pencere mekanizması (Ore, 2014)

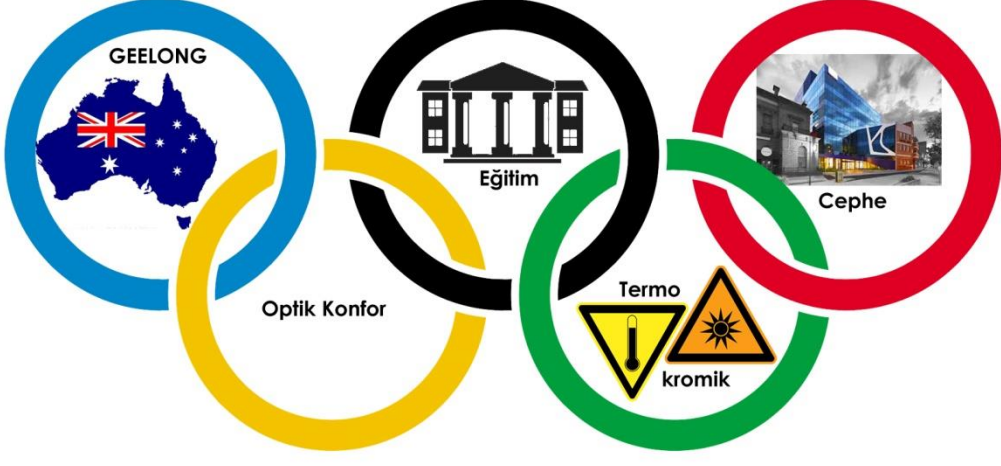
Bu alüminyum diyaframlar, bilgisayar tarafından kontrol edilen elektropnömatik mekanizma ile kendi ekseninde dönerek açılıp kapanmaktadır ve güneş ışığı girişini 0,10 ile 0,30 oranları aralığında tutmaktadır. Bu açılıp kapanan alüminyum diyaframlar, dışta ısı yalıtım camı ile içte tek cam yüzey arasında bulunmaktadır (Gür, 2004) (Şekil 3.58).



Şekil 3.58 Diaframlar (Garrett, 2012)

3.11 NDIS Geelong

Tablo 3.11 NDIS Binası künyesi

	
Mimari	Woods Bagot
Yapım Yılı	2017 - 2019
İnşaat Alanı	15.000 m ²
Tür	Eğitim
Akıllı Malzeme Kullanım Yeri	Cephe
Akıllı Malzeme Türü	Solar Duyarlı Termokromik Cam
Akıllı Malzeme	Suntuitive® – Glassworks

Avustralya’da engelli hizmetlerini iyileştirmek için tasarlanmış bir program olan NDIS (Ulusal Engelli Sigorta Programı) binası, dört mevsim enerji tasarrufu sağlayan termokromik cam sistemi ve orijinal tasarımı ile Geelong’un simgeleri arasında yer almaktadır. Glasswork tarafından üretilmiş ve Minesco tarafından uygulanmış olan 3.000 m² yüzey alanına sahip Güneşe Duyarlı Termokromik cam cephesiyle Avustralya’nın en büyüğüdür. Proje ayrıca çevreye duyarlı oluşu sayesinde 6 yıldızlı Green Star ve 5 yıldızlı NABERS almaya hak kazanmıştır (NDIS headquarters, Geelong, b.t.) (Şekil 3.59).



Şekil 3.59 NDIS perspektif görünümü (NDIS headquarters, Geelong, b.t.)

Güneş Duyarlı Termokromik camın güneş kırıcı özelliği, farklı güneş kırıcı sistemler gibi binanın görünürlüğünü bozmadan ve binayı saklamadan, iç mekânlara görüş konforu ve açıklık sağlamaktadır (Şekil 3.60).



Şekil 3.60 NDIS giriş cephesi (NDIS headquarters, Geelong, b.t.)

NDIS binasında 12 Argon boşluğu olan, 6 mm Kristal Gri / dinamik PVB / 6 mm net özellikli Güneşe Duyarlı Termokromik cam kullanılmıştır. Güneşe Duyarlı Termokromik cam, Güneş Isısı Kazanım Katsayısını (SHGC) ve Görünür Işık Geçirgenliğini (VLT) gün boyunca veya mevsimsel değişimlere bağlı olarak binanın değişen ihtiyaçlarına göre ayarlar. NDIS binası için belirtilen Kristal Gri versiyonu 0,11 – 0,24 değişken SHGC'ye ve % 5 – 36 VLT'ye sahiptir (Suntuitive dynamic IGU Project: NDIS headquarters, Geelong, 2019).

Güneşin en etkili olduğu zamanda, ısıyı ve parlamayı dengelemek için camların rengi koyulaşır; güneş ışığının etkisi azaldığında, ısıdan ve doğal ışıktan en üst seviyede yararlanabilmek için en az renkli duruma geçer (Cheng ve Harris, 2019) (Şekil 3.61).



Şekil 3.61 Termokromik cam cephe (Mills, 2020)

Kullanılan, Güneşe Duyarlı Termokromik cam, iç konfor koşullarından ödün vermeden, iklimlendirmeye yapılan yatırım maliyetini önemli ölçüde azaltmaktadır. Bunun yanında, enerji tasarrufu sağlamak için yapılan sabit güneş kırıcılar veya

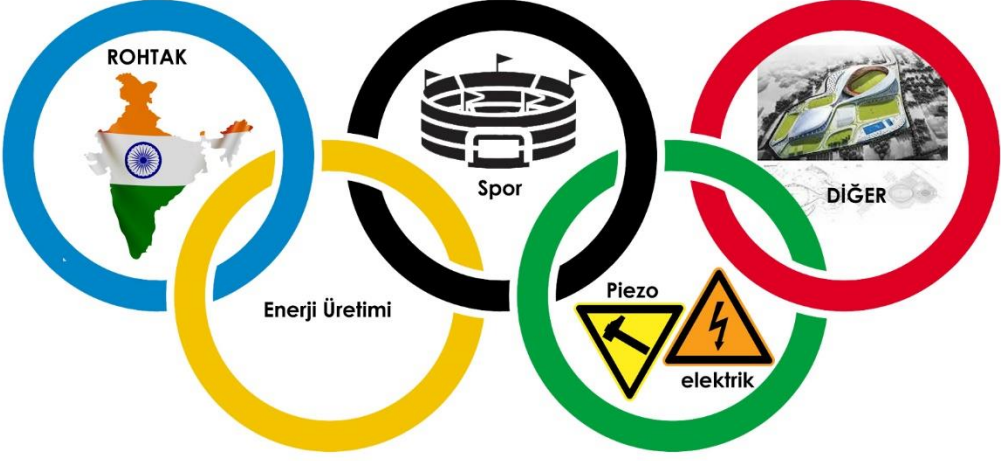
mekanik panjurlar gibi estetikten yana tasarımı zorlayan sistemlere duyulan ihtiyacı ortadan kaldırarak tasarımda özgürleşmeyi sağlamaktadır (Şekil 3.62).



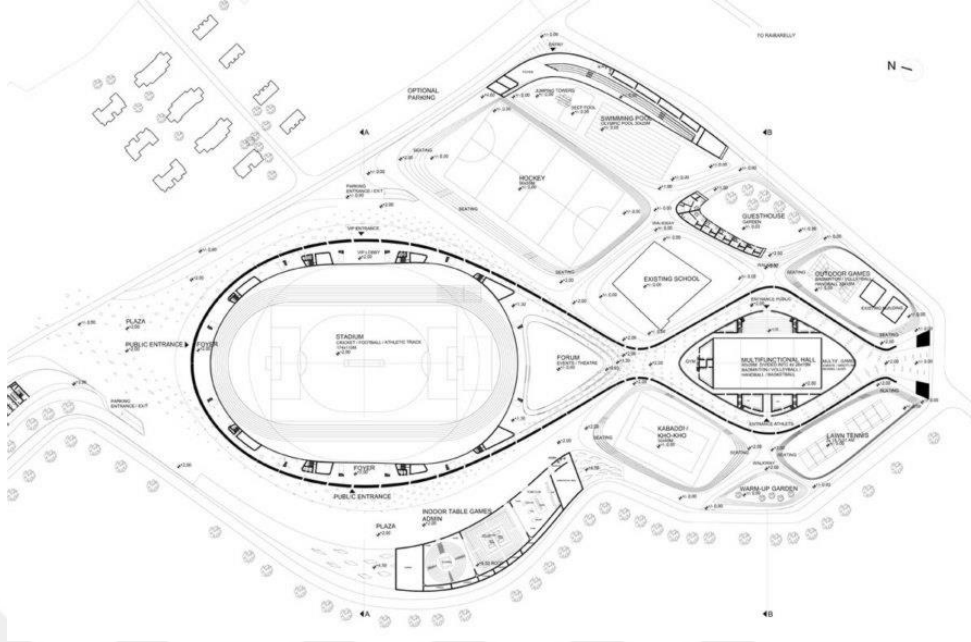
Şekil 3.62 Termokromik cam cephe (Kane, b.t.)

3.12 Atletik Dalgalar (Athletic Ripples)

Tablo 3.12 Atletik Dalgalar künyesi

	
Mimari	Studio Symbiosis
Yapım Yılı	Tasarım
İnşaat Alanı	31.000 m ²
Tür	Spor
Akıllı Malzeme Kullanım Yeri	Çatı
Akıllı Malzeme Türü	Piezoelektrik
Akıllı Malzeme	Piezoelektrik – Studio Symbiosis

Hindistan'da yapılması planlanan Atletik Dalgalar (*Athletic Ripples*) projesi, çeşitli spor tesislerinin bir araya gelmesiyle oluşan bir kompleks biçiminde tasarlanmıştır. Yapı, suya atılan çakıl taşlarından hareket ederek, her bir bölümü ayrı bir spor aktivitesi içeren, farklı şekillerde ve stillerde tasarlanmıştır (Şekil 3.63 – 3.64).



Şekil 3.63 Atletik Dalgalar vaziyet planı (Jarz, 2011)



Şekil 3.64 Atletik Dalgalar genel görünüm (Jarz, 2011)

Çevre dostu olması projenin en önemli anahtar özelliklerinden biridir. Kompleksin çatılarında, enerji toplayan ve üreten güneş panelleri ile pnömatis paneller bir arada yer almaktadır ve bu da güneşin gücünün en verimli şekilde kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bunun yanında, yaya trafiğinin yoğun olduğu alanlarda uygulanan

piezoelektrik sayesinde, toplanan kinetik enerjiden de faydalanmak mümkün olacaktır (Zimmer, 2011).

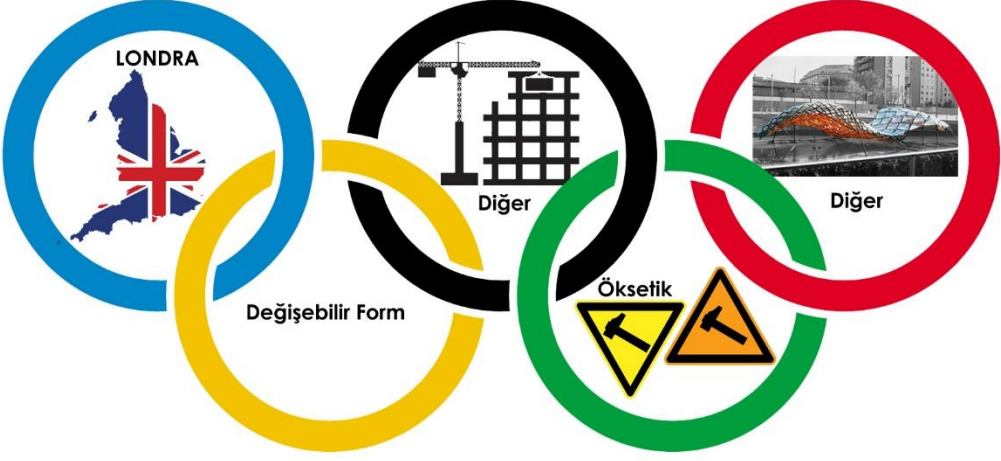
Piezoelektrik uygulaması için peyzaj alanlarındaki sert zemin döşemeleri üzerinde çalışılmaktadır (Şekil 3.65) Yoğun yaya trafiği olan alanların üreteceği düşünülen kinetik enerjiyi toplaması öngörülmektedir (Jarz, 2011).



Şekil 3.65 Atletik Dalgalar yürüyüş yolları (Jarz, 2011)

3.13 Hipermembran (Hypermembrane)

Tablo 3.13 Hipermembran künyesi

	
Mimari	Jordi Truco ve Sylvia Felipe
Yapım Yılı	2013
İnşaat Alanı	-
Tür	Prototip - Stand
Akıllı Malzeme Kullanım Yeri	Strüktür
Akıllı Malzeme Türü	Hipermembran
Akıllı Malzeme	Hipermembran – J. Truco & S. Felipe

Hipermembran, temel olarak biyolojik organizmaların, basit bileşenlerden yeni karmaşık yapılara nasıl ulaştığını gözlemlene yönteminden hareketle, mimaride serbest biçimli ve uyarlanabilir yapılar için standart bir inşa sistemini ifade eder.

Mimarlar Jordi Truco ve Sylvia Felipe’ nin CIMNE ve ASCAMM araştırma merkezleri işbirliğiyle, Londra Mimarlık Derneği Okulundaki (Architectural Association School of Architecture of London) 'Gelişen Teknolojiler ve Tasarım' doktora tezi sürecinde geliştirilen ‘Hipermembran’ bir Ar-Ge projesi olarak başlamış ve sonrasında uluslararası ölçekte iş yapan 6 ortaklı bir yapıya dönüşmüştür. Aslında bu araştırmanın temel amacı, malzemeleri deneyerek ve üzerinde çalışarak çeşitli form

bulma tekniklerini mimaride ve mekanların tasarım süreçlerinde uygulamaktır (Şekil 3.66 – 3.67).



Şekil 3.66 Hipermembran genel görünümü (Hypermembrane, b.t.)



Şekil 3.67 Hipermembran modül birleşimleri (Hypermembrane, b.t.)

Sistem, farklı zemin, ışık ya da enerji ihtiyaçlarına göre uyarlanabilen, çoklu ve önceden belirlenmemiş şekillerde üretilebilen **Fiziksel** ve **Dijital** öğelerden meydana gelmektedir (Formakers, 2014).

Fiziksel Sistem programlanan gereksinimlere göre, şekle uyarlanabilip kendi desteğini sağlayan, farklı denge konumunda durabilen bir yapıdır. Biçimsel yapısı kompozit malzemelerin elastik özelliklerini, kirişlerinin şekil ve deformasyon kapasitesini ve delik yapısında global deformasyonlar oluşturan sıkıştırma elemanlarının diferansiyel lokal uzamasını temel alır (Formakers, 2014).

Dijital Sistem ise malzeme sınırları dahilinde geometri varyasyonlarının sanal rekreasyonu ve önerilen sanal morfolojiler için yapısal sonlu eleman onayı yapan bir dijital araçtır. Bu dijital tasarım aracı için tetikleme noktası, Hipermembran Sistemi tarafından elde edilen eğrilik ile sıkıştırma elemanlarının diferansiyel uzaması arasında var olan algoritmik ilişkiye dayanarak Hipermembran sisteminin sınırsız sayıda denge pozisyonunu morfolojik olarak kontrol etme olanağı sağlar (Formakers, 2014) (Şekil 3.68 – 3.69 – 3.70).



Şekil 3.68 Hipermembran mesnet noktası (Hypermembrane, b.t.)

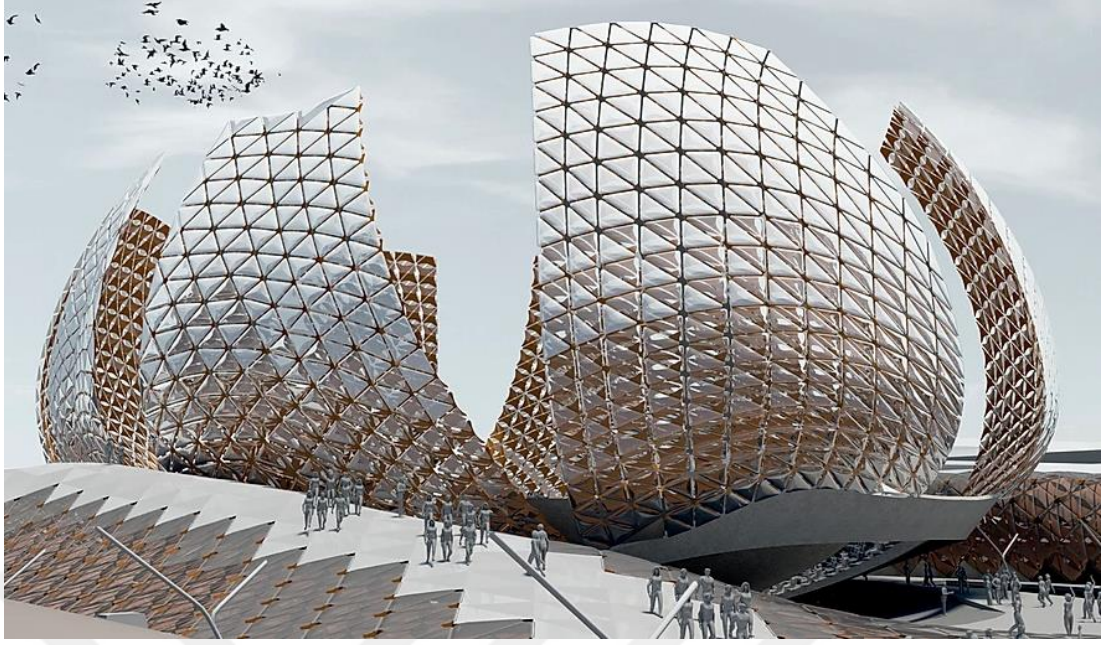


Şekil 3.69 2. Demo (Hypermembrane, b.t.)



Şekil 3.70 2. Demo (Hypermembrane, b.t.)

Hipermembran sistemin nihai hedefi, inşaat sektörüne düşey hafif mimari yapıların montajıyla, kısa ya da uzun açıklıkları olan serbest ve karmaşık geometri yüzeylerini yeniden üretmesi için gereken, tamamen endüstriyel ve standartlaştırılmış yapıcı bir ürün sağlamaktır (Formakers, 2014) (Şekil 3.71 – 3.72).



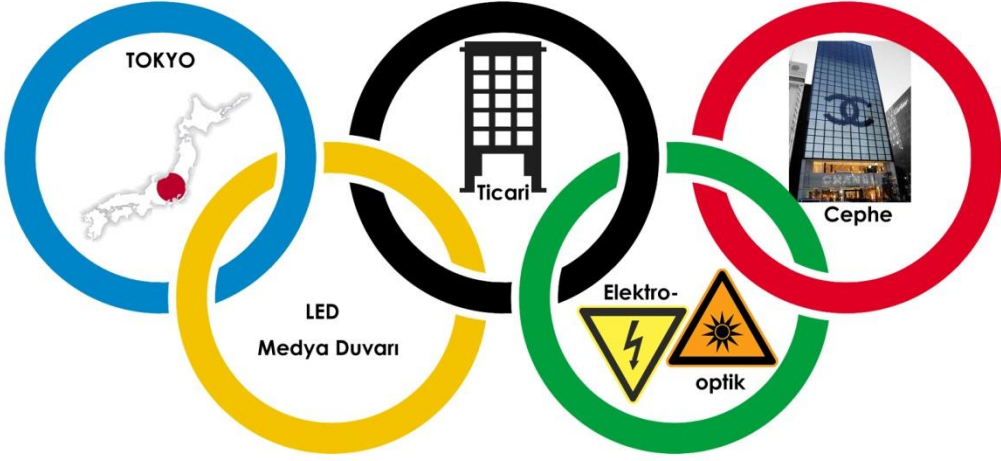
Şekil 3.71. Hipermembran stadyum önerisi (Hypermembrane, b.t.)



Şekil 3.72 Hipermembran cephe önerisi (Hypermembrane, b.t.)

3.14 Chanel Ginza

Tablo 3.14 Chanel Ginza Mağazası künyesi

	
Mimari	Peter Marino Architect
Yapım Yılı	2004
İnşaat Alanı	~ 1.701 m ² (Cephe)
Tür	Mağaza
Akıllı Malzeme Kullanım Yeri	Cephe
Akıllı Malzeme Türü	LED
Akıllı Malzeme	LED – Matthew Tanteri

Mimar Peter Marino Ginza – Tokyo’daki Chanel mağazası tasarımında, cepheyi sabit bir grafikten çok medya haline getirmeyi amaçlamıştır. Yani cephe bina için aydınlatma görevi görürken aynı zamanda görüntüler, logolar ve markalaşma ile bir iletişim aracı olarak planlanmıştır (Döşemeciler, 2012).

Bir restoranı, ofisleri, sergi ve konser salonlarını ve üç katlı lüks mağazayı çevreleyen ~ 65,5 m (215 fit) yüksekliğindeki 10 katlı cephenin tümü, görüş ve gün ışığının önemsendiği ancak güneş ısı kazanımının engellendiği bir çatı bahçesi ile kapatılmıştır (Şekil 3.73).



Şekil 3.73 Chanel Ginza (Boegly, 2010)

Bu iddialı konseptin çözümlenmesi, entegre beyaz LED'li üç katmanlı bir duvar sisteminde güneş kontrollü camlar ve optik malzemelerin bir karışımına yol açmıştır. Uygulanan akıma bağlı olarak, opaklığı değişen elektrokromik cam, aydınlatılmış duvarların birçok işlevini gerçekleştirmektedir. Gün boyunca şeffaf olan cam, geceleri yarı saydam hale dönüşerek bina yüzeylerini büyük ölçüde arkadan aydınlatmalı bir ekran haline getirmektedir. Çift katmanlı gri renkli Low-E lamine cam ayrıca güneş kontrolü de sağlamıştır (Sullivan, 2007) (Şekil 3.74).



Şekil 3.74 Chanel Ginza iç mekan (Chanel Ginza, b.t.)

Cepheler ve ürettikleri efektler sofistike olsa da, LED dizisinin kendisi zarif ve basittir. Küçük dikey destekleri kapsayan tüpler, dar ve geniş ışın yayılmalarının

karışımıyla birlikte ikisi yukarı ve iki aşağı olmak üzere dört sıra LED içerir, her 72 LED'in birleşik ışığı 8 inç genişliğinde tek bir piksel oluşturmuştur. Ana cephe 188 piksel yüksekliğinde ve 98 piksel genişliğindedir. 700.000'den fazla beyaz LED'ten oluşan 870 LED tüp 30 kare hızında toplam 18,424 piksellik animasyonlar oluşturur. LED sistemi, sabit akımla çalıştırılan ve yerleşik mikroişlemciler tarafından ayrı ayrı kontrol edilen büyük düşük güçlü LED dizilerine dayanmaktadır. Sürücü teknolojisi, LED parlaklığı ve güç tüketimi ile ilgili olarak kontrol sistemine geri bildirim sağlamaktadır (Sullivan, 2007) (Şekil 3.75).



Şekil 3.75 Chanel Ginza (Chanel flagship store, Ginza, Tokyo, 2012)

3.15 OR2

Tablo 3.15 OR2 Pavyonu künyesi

	
Mimari	Orproject
Yapım Yılı	2012
İnşaat Alanı	16 m ²
Tür	Kanopi
Akıllı Malzeme Kullanım Yeri	Kabuk
Akıllı Malzeme Türü	Fotokromik Polipropilen
Akıllı Malzeme	Fotokromik Polipropilen – J. Robinson

Orproject'ten, Francesco Brenta, Christoph Klemmt ve Laura Micalizzi tarafından tasarlanan 3 x 4 x 4 m. boyutlarındaki tek yüzeyli UV ışığına duyarlı fotokromik polipropilen kanopi, 2012 yılındaki Londra Mimarlık Festivali için inşa edilmiş, İtalyan Kültür Enstitüsü, Belgrave Meydanı, Londra'da sergilenmiştir.

OR2, güneş ışığına tepki veren tek yüzeyli bir çatı yapısı olan OR1'in daha da geliştirilmiş halidir. Yüzeyin poligonal bölümleri ultraviyole ışığa tepki vererek güneş ışınlarının konumunu ve yoğunluğunu haritalandırır. Gölgede iken, OR2'nin segmentleri yarı saydam beyazdır. Bununla birlikte, güneş ışığı çarptığında renklenirler ve altındaki alanı farklı ışık tonlarıyla doldururlar. Gün boyunca OR2, altındaki alanı pasif olarak kontrol eden bir gölgeleme elemanı haline gelen OR2

geceleri ise, gün boyunca entegre fotovoltaik hücreler tarafından toplanan ışığı çevredeki alanlara yayan devasa bir avizeye dönüşür (Furuto, 2013) (Şekil 3.76 – 3.77).

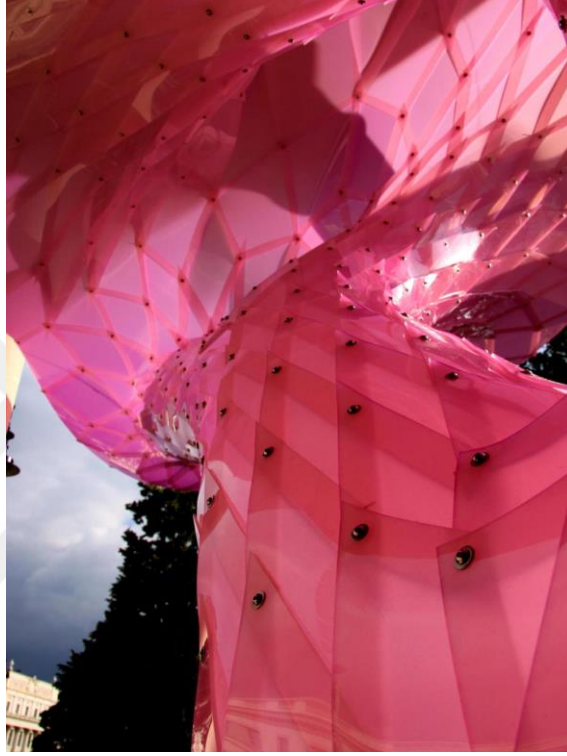


Şekil 3.76 OR2 gündüz görünümü (Furuto, 2013)

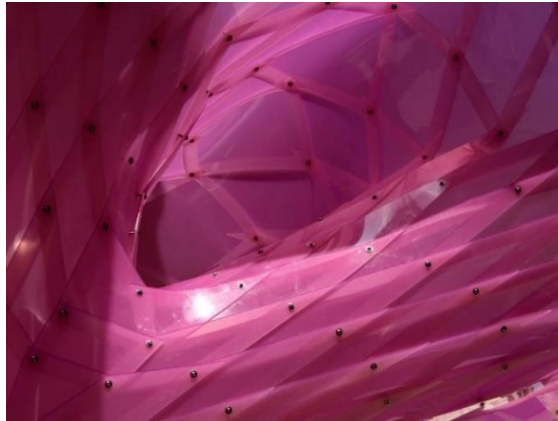


Şekil 3.77 OR2 gece görünümü (Furuto, 2013)

Deniz fiskiyelerinin iç geometrileri ile vaskülarizasyon sistemlerinden esinlenilerek tasarlanan OR2'nin şekil ve kesim çizelgelerini oluşturmak için özel yazılım bileşenleri geliştirilmiştir. Sistemi oluşturan her bir eleman otomatik olarak numaralandırılmış ve su jeti ile kesilmiştir. OR2, mimari ölçekte foto-reaktif teknolojiyi kullanan ilk örneklerden biridir (Suckerpunch, 2013) (Şekil 3.78 – 3.79).



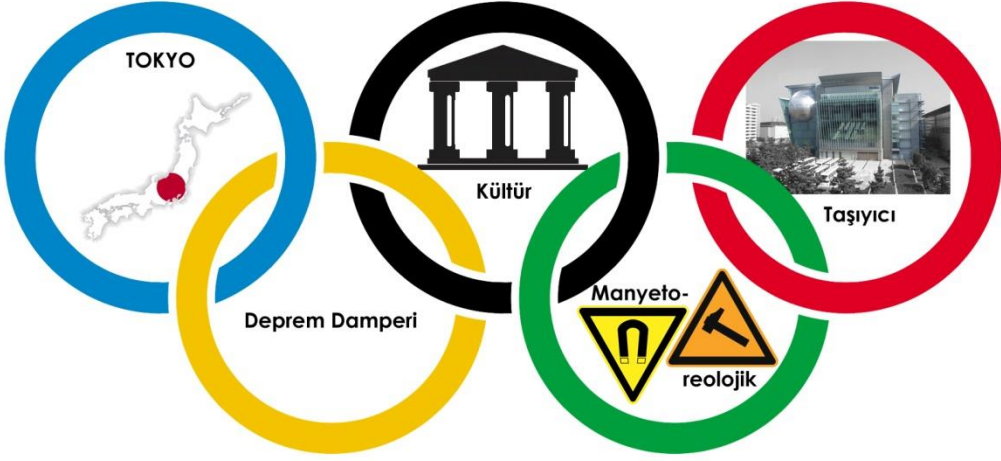
Şekil 3.78 OR2 fotokromik polipropilen yüzeyler (Suckerpunch, 2013)



Şekil 3.79 OR2 fotokromik polipropilen yüzeyler (Suckerpunch, 2013)

3.16 Nihon Kagaku Miraikan Bilim ve Yenilik Müzesi

Tablo 3.16 Nihon Kagaku Miraikan Bilim ve Yenilik Müzesi künyesi

	
Mimari	Nikken Sekkei Ltd.
Yapım Yılı	2001
İnşaat Alanı	40.744,03 m ²
Tür	Müze
Akıllı Malzeme Kullanım Yeri	Taşıyıcı
Akıllı Malzeme Türü	MR (Manyetoreolojik) Deprem Damperi
Akıllı Malzeme	MR Deprem Damperi – Sanwa Tekki Co.

Ulusal Gelişen Bilim ve Yenilik Müzesi olarak da bilinen Miraikan, Odaiba'da bulunan bir bilim müzesidir. “Miraikan” ismi iki Japonca sözcüğün bir araya gelmesi ile oluşturulmuştur; gelecek anlamına gelen Mirai ve müze anlamına gelen “Kan”. Miraikan tam anlamıyla “Gelecek Müzesi” anlamına gelir (Şekil 3.80 – 3.81).



Şekil 3.80 Geo-Cosmos (Littledayout, 2018)



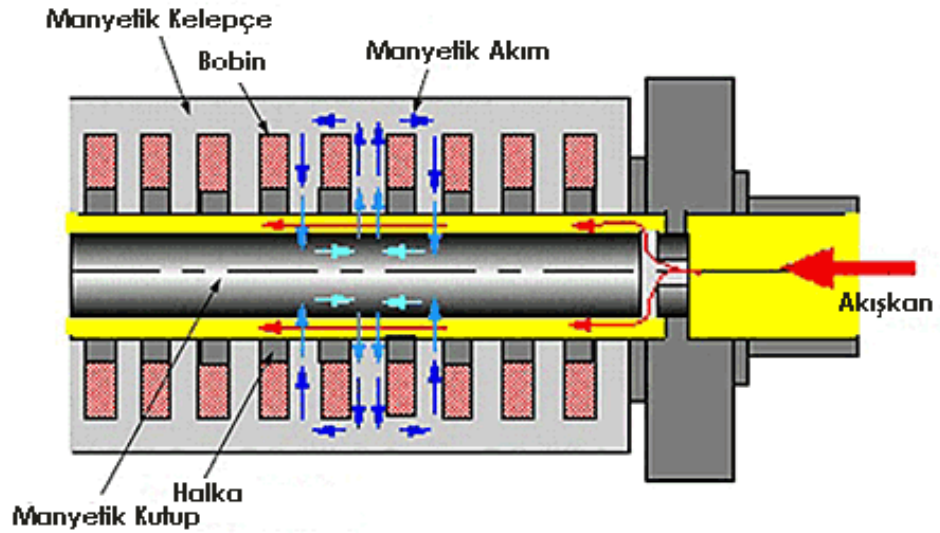
Şekil 3.81 Miraikan giriş cephesi (Miraikan-the national museum of emerging science and innovation, b.t.)

Nihon-Kagaku-Miraikan binası, MR akışkan damperi tabanlı yarı aktif kontrol teknolojisine sahip dünyanın ilk tam ölçekli yapılarından biridir (Jung, Spencer, Ni ve Lee, 2004) (Şekil 3.82).



Şekil 3.82 MR akışkan damperi (Spencer ve Nagarajaiah, 2003)

Yapı, üçüncü ve beşinci katlar arasına monte edilmiş iki adet 30 tonluk MR sıvı damperine sahiptir (Jung, Spencer, Ni ve Lee, 2004) (Şekil 3.83).



Şekil 3.83 MR akışkan damperi (MR dampers, b.t.)

3.17 Die Fabrik Callplus – Çağrı Merkezi

Tablo 3.17 Die Fabrik Callplus Binası künyesi

	
Mimari	Marco DUCHOW, Alexander DUCHOW
Yapım Yılı	2005
İnşaat Alanı	300 m ²
Tür	Ofis
Akıllı Malzeme Kullanım Yeri	Tavan
Akıllı Malzeme Türü	MAd/MAb Zeolit Pano
Akıllı Malzeme	Cleaneo Akustik Alçıpan® – Knauf

Yapı, 1922 yılında kumaş üretimi için inşa edilmiş ve Berlin Duvarı'nın yıkılmasına kadar, Cottbus giyim işleri (BWEKO) fabrikası olarak kullanılmıştır. Hamburglu mimarlar Marco ve Alexander Duchow'un tasarladığı iç mekan ile, bir zamanlar ağır iş tezgâhlarının çalıştığı heybetli kumaş fabrikasının en üst katı, modern bir çağrı merkezine dönüştürülmüştür (Şekil 3.84). Tasarımcılar, çalışanları motive etmek için sağlıklı çalışma koşulları yaratırken, bunu bir çağrı merkezinin akustik gereksinimlerini de uygun bir tasarım konseptiyle entegre etmiştir. Bu amacı gerçekleştirebilmek için yaklaşık beş metre yüksekliğindeki mekanda, 125 ile 4.000 Hertz konuşma frekansı aralığının konuşma anlaşılabilirliğinin optimize edilebilmesi için namlu şeklindeki tavanın seyrine ve konstrüksiyonuna tam olarak uyarlanmış kavisli tavan yelkenleri tasarlamıştır (Call center im industriedenkmal Cottbus, b.t.).



Şekil 3.84 Eski Cottbus Giyim Fabrikası (Call center im industriedenkmal Cottbus, b.t.)

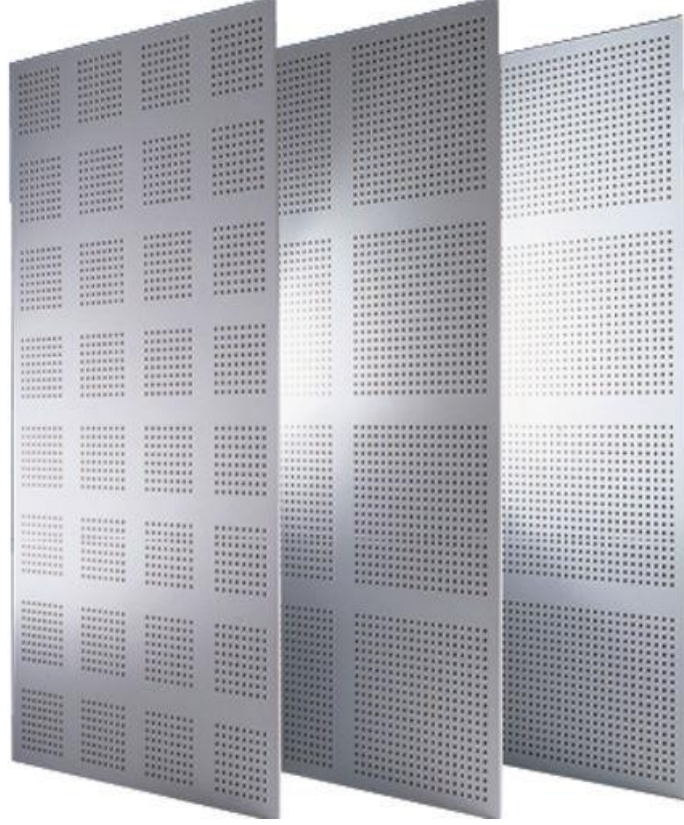
Yapıda, yeni bir panel teknolojisinin kurulumu ile bir çağrı merkezi olarak kullanım için uygun çalışma koşullarının elde edilmesi sağlanmıştır. Havayı iyileştiren özelliklere sahip alçı levha hem iyi bir akustik hem de iyi bir iç mekân hava kalitesi sağlamıştır (Şekil 3.85).



Şekil 3.85 “Bel Etage” iç mekan (Call center im industriedenkmal Cottbus, b.t.)

Tavan yüzeyinin neredeyse tamamı 300 m² tavan yelkenleri ile kaplanmıştır. Siyah elyaf tülü ile fabrika laminasyonu ve 20 mm kalınlığında taş yünü ile ek destek sayesinde, tavan yelkenleri, DIN EN 20.354'e göre $\alpha = 0,82$ ses emme katsayısı

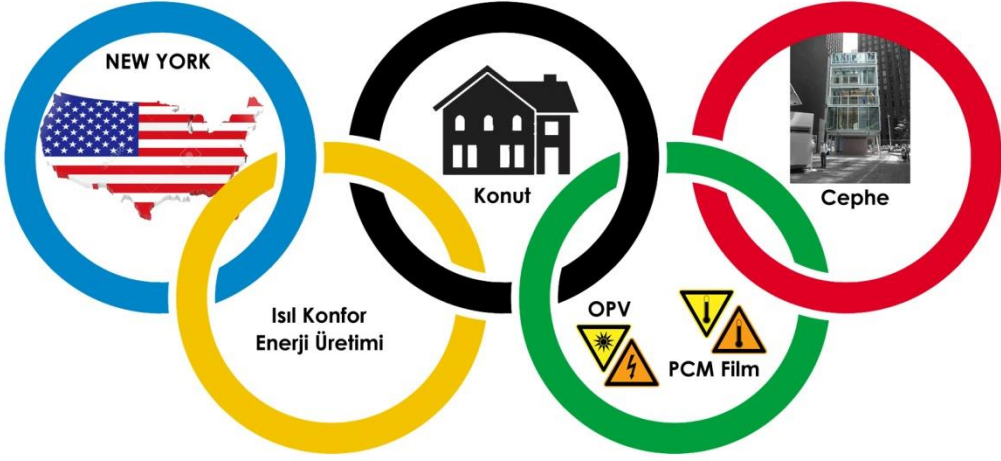
ile yüksek emici olacak şekilde tasarlanmıştır (Mekansal akustik çözümleri, b.t.) (Şekil 3.86).



Şekil 3.86 Zeolit katkılı alçıpan (Mekansal akustik çözümleri, b.t.)

3.18 Cellophane Evi (Cellophane House)

Tablo 3.18 Cellophane Evi künyesi

	
Mimari	Kieran Timberlake
Yapım Yılı	2008
İnşaat Alanı	168 m ²
Tür	Konut
Akıllı Malzeme Kullanım Yeri	Cephe
Akıllı Malzeme Türü	OLED, OPV, PCM
Akıllı Malzeme	Clear-PEP® – Design Composite

2008 yılında, Modern Sanat Müzesi'nde sergilenmek üzere prefabrik mimarinin mevcut durumunu ve gelecekteki potansiyelini araştırmak için seçilen beş projeden biri olan Cellophane House TM, müzeye bitişik bir alanda planlanan, iki yatak odalı, iki banyolu, oturma ve yemek alanlı, çatı terası ve garajı olan beş katlı bir evdir (Kierantimberlake, b.t.).

Prototip için, entegre bileşen ve parçalar üç aylık bir süre içinde fabrikada imal edilerek, on altı günde sahada montajlanmıştır. Cellophane House TM, kitlesel olarak özelleştirilebilir ve basit değişikliklerle bir dizi saha koşullarına ve iklime uyum sağlayabilir. Ev, bağlantılarının doğası gereği, büyükten küçüğe değişen parçalar halinde inşa edilebilir veya parçalara ayrılabilir. Tüm yapısal yükler alüminyum

çerçeve tarafından taşındığından, çeşitli bütçelere ve isteklere göre iç mekan kat planlarını yeniden düzenlemek veya malzemeleri değiştirmek kolaydır. Hem tekli hem de çoklu birimler için yapılandırılabilir (Aaron, b.t.) (Şekil 3.87).



Şekil 3.87 Cellophane House iç mekan (Kierantimberlake, b.t.)

Ev, yüzeyine yapıştırılmış fotovoltaik paneller ile geri dönüştürülebilir plastik filmten yapılmış hafif, enerji toplayan bir zar ile çevrelenmiştir. PV'ler güneşten enerji toplar ve ısı katmanlar arasındaki boşlukta tutulur veya serbest bırakılır; bu şekilde ısıtma ve soğutma için gereken enerji en aza indirilebilir. Güney cephesi, daha fazla enerji sağlayan entegre fotovoltaik hücreli camlara sahiptir (Aaron, b.t.) (Şekil 3.88).



Şekil 3.88 Cellophane House güney cephe (Aaron, b.t.)

SmartWrap TM, adı verilen kaplama, yapısal plastikten yapılmıştır. Yapı kabuğu, mevsime bağlı olarak gün ışığını ve ısıyı seçici olarak içeri alan ve UV ışığını ve sıcak veya soğuk havayı dışarıda tutan bir filtre olarak tasarlanmıştır (Kierantimberlake, b.t.) (Şekil 3.89 – 3.90 – 3.91).



Şekil 3.89 SmartWrap (Aaron, b.t.)



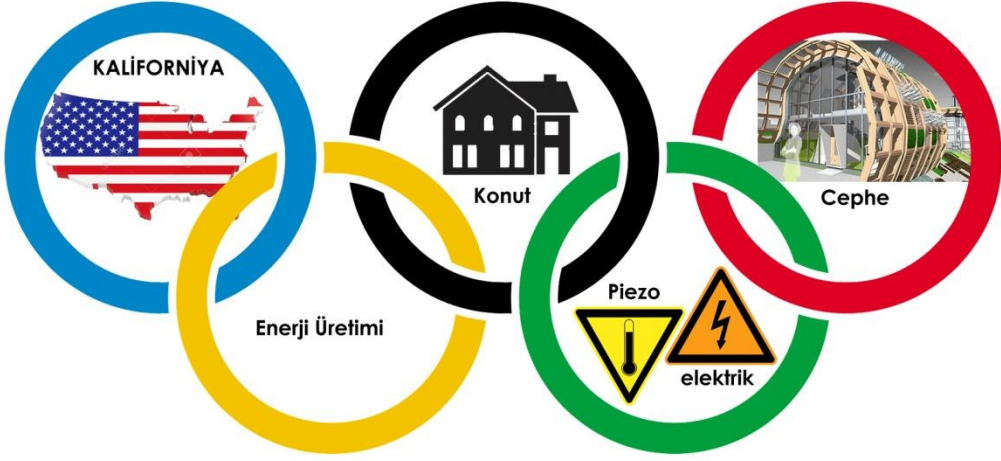
Şekil 3.90 SmartWrap (Aaron, b.t.)



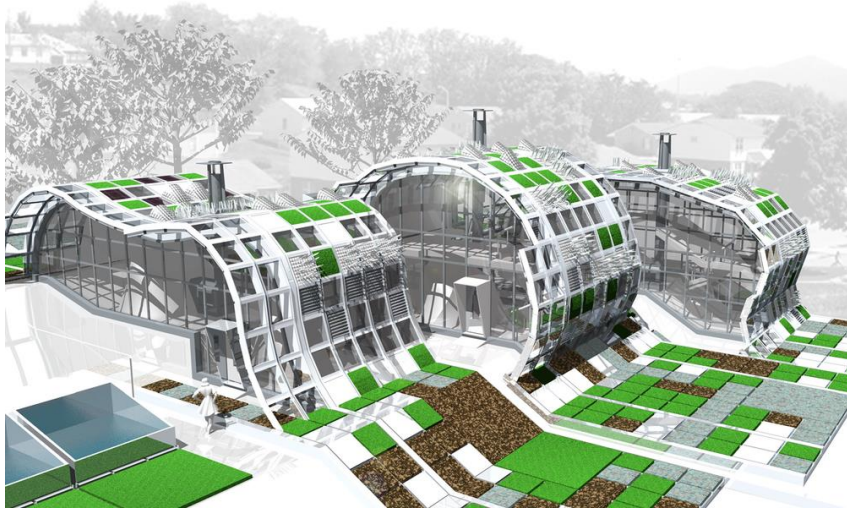
Şekil 3.91 Cellophane House (Aaron, b.t.)

3.19 MATscape

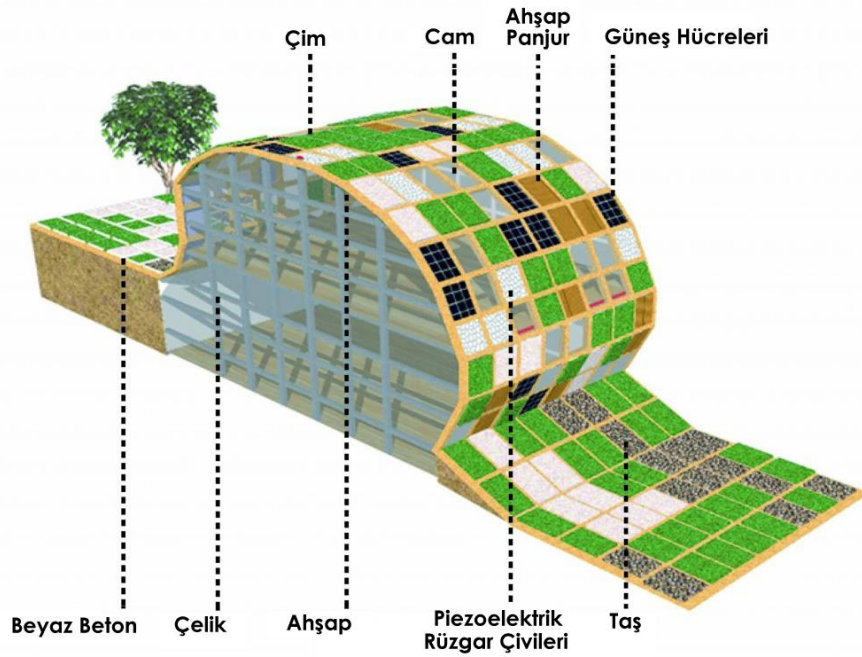
Tablo 3.19 MATscape künyesi

	
Mimari	Mitchell JOACHIM
Yapım Yılı	2005
İnşaat Alanı	-
Tür	Konut
Akıllı Malzeme Kullanım Yeri	Cephe
Akıllı Malzeme Türü	Piezoelektrik Hücre
Akıllı Malzeme	Piezoelektrik Hücre – M. Joachim

Mitchell Joachim tarafından tasarlanan cephe konsepti, ev ve ofis binaları için canlı bir kabuk görevi görmek üzere tasarlanmıştır. Projenin konsepti, insan için rahat bir ortam yaratırken aynı zamanda doğayla bütünleşmiş çeşitli malzemelerden yapılmış mozaikler ile üç boyutlu bir peyzaja sahip % 100 sürdürülebilir yaşayan bir ev oluşturma fikrine dayanmaktadır. Bu mozaikler sayesinde güneş ışığı, rüzgâr ve su gibi kaynaklardan faydalanarak, örneğin mekânın içi için gerekli sıcaklığı sağlamak gibi enerji ihtiyaçlarının giderilmesi ve böylelikle, hem enerji tasarrufu, hem de dış maliyetlerin azaltılması sağlanmıştır (Pallan, 2009a) (Şekil 3.92 – 3.93).



Şekil 3.92 MATscape genel görünüm (Pallan, 2009a.)

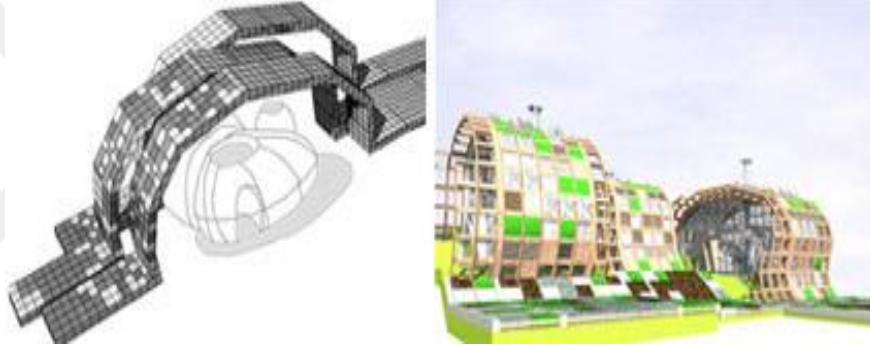


Şekil 3.93 MATscape sistem şeması (Pallan, 2009b)

Mozaik kaplama, modern binaların statik tasarımından çok kinetiktir. Ayrıca, güneş enerjisinden yararlanmak için güneş panellerini kullanarak enerji üretir veya rüzgâr enerjisi için piezoelektrik etkiyi kullanır. Bu amaç için yapı kabuğuna piezoelektrik malzemeli tüy şeklinde elektrik üreticilerinin (rüzgâr tüyleri) konması önerilmiştir. Bu tüyler rüzgârla salındıkça bileşendeki piezoelektrik malzeme, mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirerek elektrik üretecektir (Orhon, 2013b) (Şekil 3.94 – 3.95).



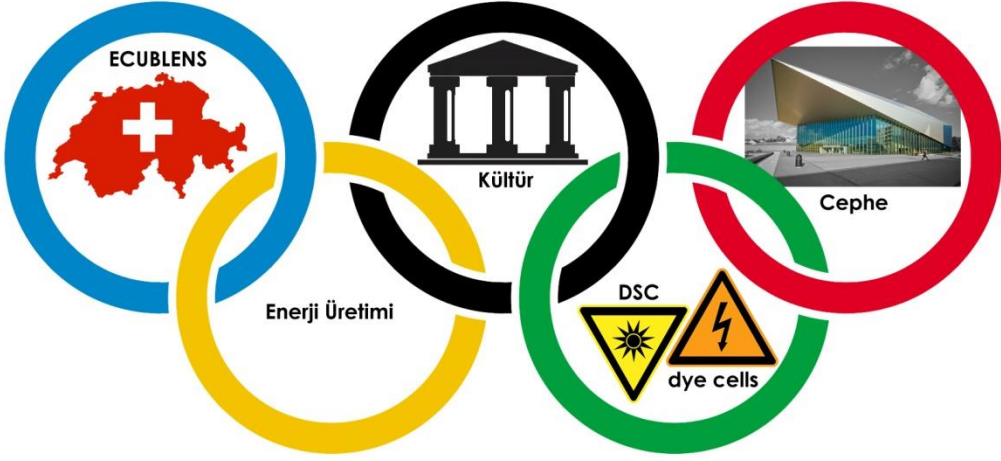
Şekil 3.94 MATscape piezoelektrik rüzgar çivileri (Pallan, 2009a)



Şekil 3.95 MATscape (Pallan, 2009a)

3.20 Swiss Tech Kongre Merkezi (Swiss Tech Convention Center)

Tablo 3.20 Swiss Tech Kongre Merkezi künyesi

	
Mimari	Richter Dahl ROCHA & Associés
Yapım Yılı	2014
İnşaat Alanı	14.165 m ²
Tür	Kongre Merkezi
Akıllı Malzeme Kullanım Yeri	Cephe
Akıllı Malzeme Türü	Boya Güneş Pilleri (DSC)
Akıllı Malzeme	Grätzel Hücresi - Romande Energie

Nisan 2014 başında açılışı yapılan SwissTech Kongre Merkezi (STCC – Swiss Tech Convention Center), dünyadaki en modern ve en iyi donanımlı kongre merkezlerinden biridir. Lozan firması Richter Dahl Rocha et Associés Architectes SA tarafından tasarlanan STCC’de, birçok öncü teknoloji kullanılmıştır (Şekil 3.96 – 3.97).

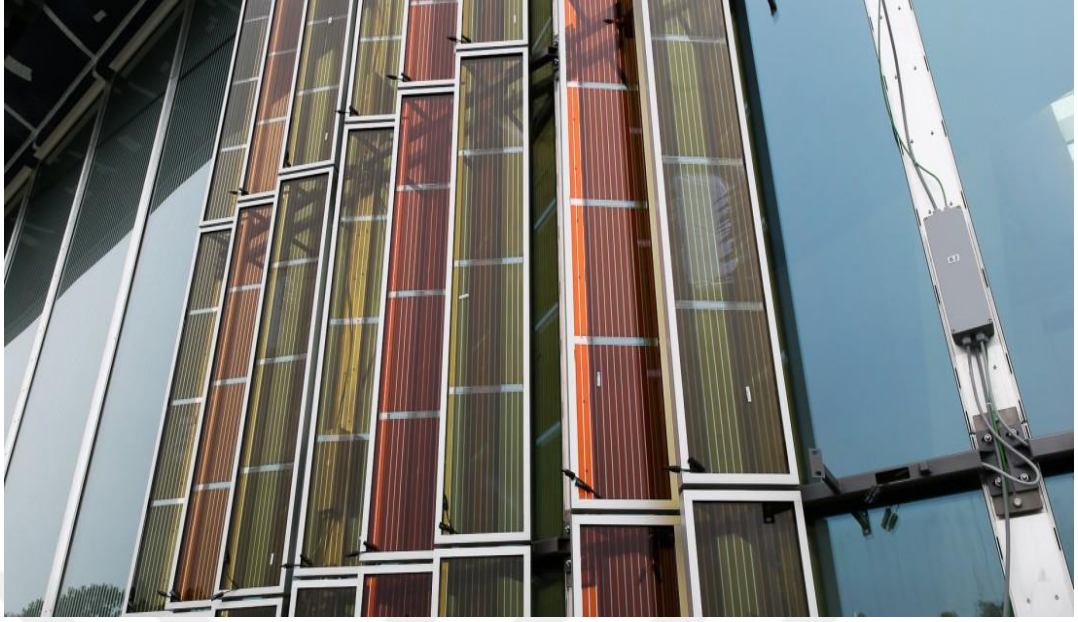


Şekil 3.96 SwissTech Kongre Merkezi genel görünüm (Guerra, b.t.)



Şekil 3.97 SwissTech Kongre Merkezi genel görünüm (Swisstech convention center, b.t.)

Ana fuayenin batı cephesi, EPFL'den İsviçreli kimyager Michael Grätzel tarafından geliştirilen devrim niteliğindeki boyaya duyarlı güneş pillerini içeren 400 metrekairelik camlı panellerle kaplanmıştır. 35 x 50 cm boyutundaki bu paneller fuayeyi, öğleden sonra güneşinden korurken aynı zamanda yaklaşık 2.000 kilowatt saatlik enerji üretimi de sağlamıştır (Swisstech convention center, b.t.) (Şekil 3.98 – 3.99).



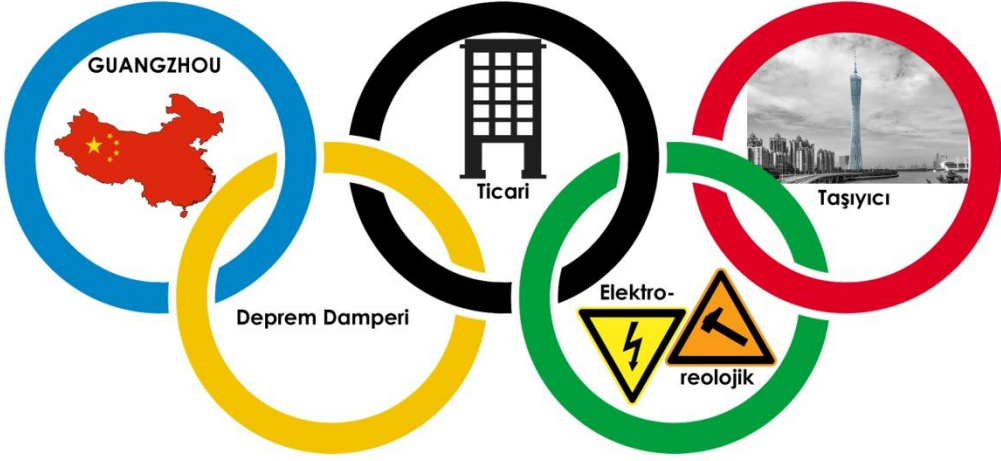
Şekil 3.98 Ana fuayedeki Grätzel hücreleri (Swisstech convention center shows off multicolored solar panels, 2013)



Şekil 3.99 Ana fuayedeki Grätzel hücreleri (Cute Kiwi, b.t.)

3.21 Kanton Kulesi (Canton Tower)

Tablo 3.21 Kanton Kulesi künyesi

	
Mimari	Mark HEMEL & Barbara KUIT
Yapım Yılı	2010
İnşaat Alanı	114.000 m ²
Tür	TV Kulesi
Akıllı Malzeme Kullanım Yeri	Taşıyıcı
Akıllı Malzeme Türü	ER Deprem Damperi (Hibrit)
Akıllı Malzeme	Hibrit Deprem Damperi – Kajima Co.

Kanton Kulesi, Hollandalı mimarlık firması Information Based Architecture'dan Mark Hemel ve Barbara Kuit tarafından, Londra merkezli uluslararası tasarım, mühendislik ve danışmanlık firması Arup ile birlikte tasarlanmıştır. 2005 yılında temelleri atılan kule, Kasım 2010'da Guangzhou'nun ev sahipliği yaptığı 16. Asya Oyunları için 1 Ekim 2010'da halka açılmıştır.

Kulenin formu, hacmi ve yapısı, biri temel seviyesinde, diğeri ise 450 m yükseklikte olmak üzere iki elips tarafından oluşturulmuştur. İki elips birbirlerine göre döndürülmesi ile bir "bel çizgisi" elde edilmiştir. Kule 37 kat ve 2 bodrum katından oluşmaktadır (Şekil 3.100).



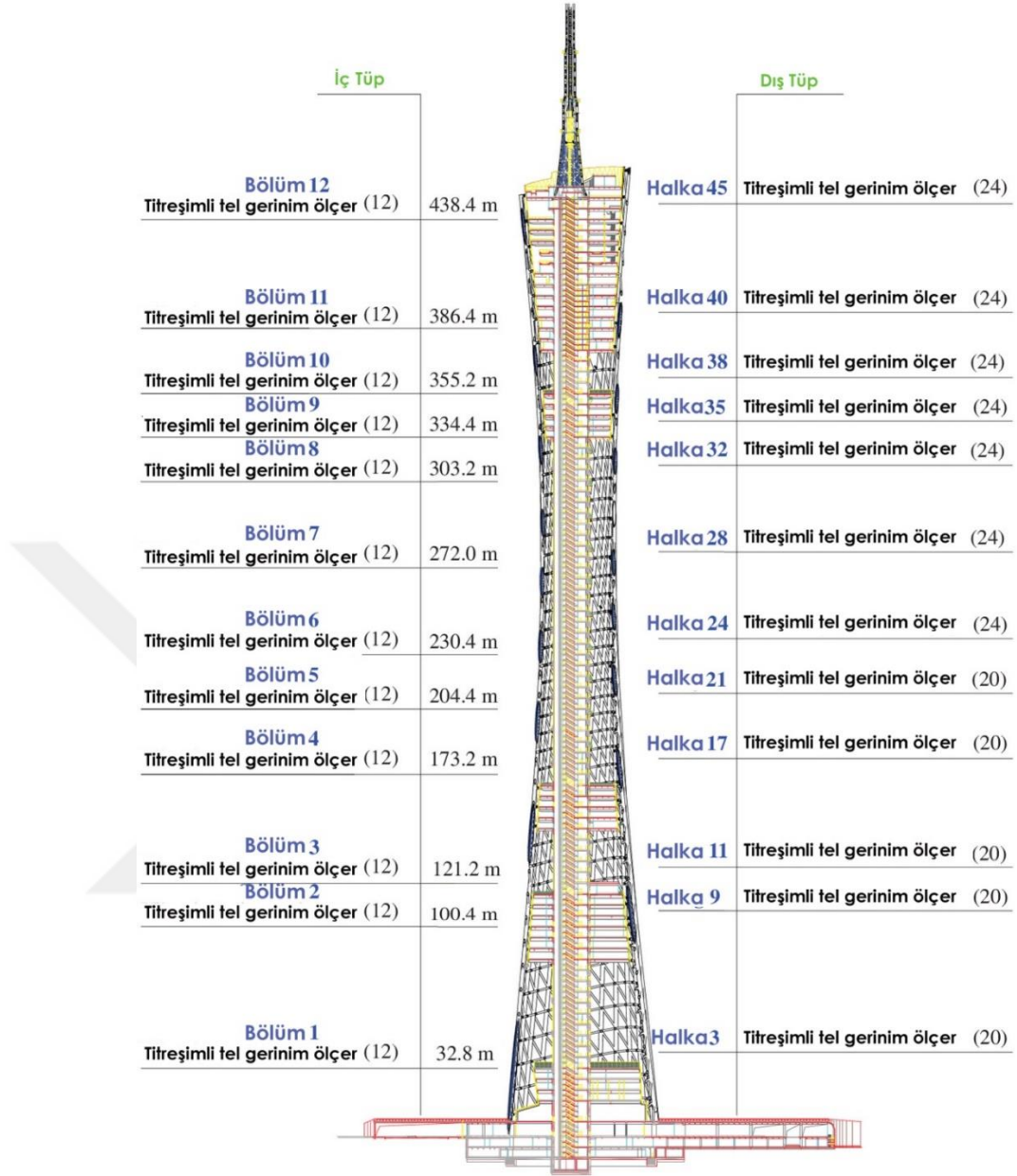
Şekil 3.100 Kanton Kulesi genel görünüm (Canton tower facts and information, b.t.)

Yapı, 1.100 düğümden ve aynı miktarda bağlantı halkası ve destek parçasından oluşan açık bir kafes yapısından oluşur. Temelde kule, 3.300 parçanın tamamı tamamen benzersiz olan dev bir 3 boyutlu bulmaca olarak görülebilir (Şekil 3.101).



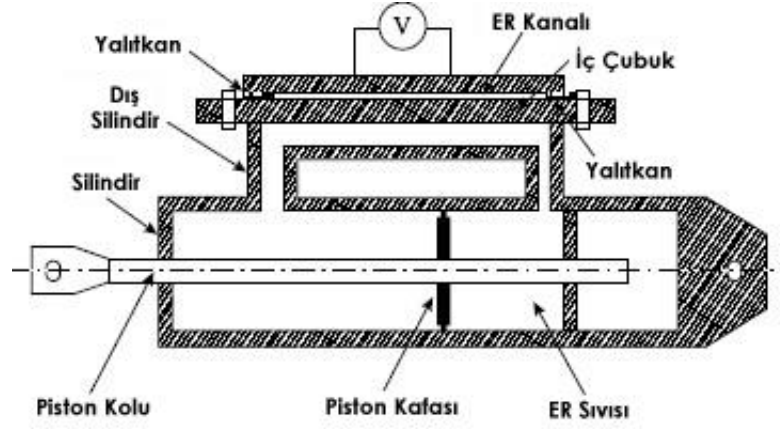
Şekil 3.101 Kanton Kulesi açık kafes yapı (Canton tower facts and information, b.t.)

Bu önemli yapının inşaat ve işletme sırasında güvenliğini ve hizmet verilebilirliğini sağlamak için, 700'den fazla sensörden (hava sıcaklığı, nem, barometrik basınç, yağış, GPS sistemi, sismograf, ivmeölçerler, anemometreler, rüzgâr basıncı ölçerler, FBG sıcaklığı ve gerinim sensörler, titreşimli tel gerinim ölçerler ve sıcaklık sensörleri, elektriksel direnç sıcaklığı sensörler, korozyon sensörleri, dijital video kameralar, eğimölçerler, seviye sensörleri, lazer zenithetreler ve altazimutlar) oluşan Yapısal Sağlık İzleme (SHM - Structural health monitoring) sistemi, tasarlanmış ve uygulanmıştır. SHM sistemi, 2008 yılından bu yana, dokuz deprem ve sekiz tayfun sırasında (Wenchuan depremi, 2008 ve 2011 yılındaki Japonya depremleri) Kanton Kulesi'nin sismik ve rüzgâra karşı yapısal tepkilerini başarıyla izlemiştir (Ni, Xia, Lin, Chen ve Ko, 2012) (Şekil 3.102).



Şekil 3.102 Kanton Kulesi sismik sensörler (Wan ve Ni, 2018)

Kanton Kulesi'ni sismik ve büyük tayfunların neden olduğu hareketlere karşı stabilize etmek için iki aşamalı sönümleme seviyesine sahip pasif bir Ayarlı Kütle Sönümleyici (TMD – Tuned Mass Damper) ve TMD üzerine monte edilmiş doğrusal endüksiyon motorları tarafından tahrik edilen küçük bir Aktif Kütle Sönümleyici'den (AMD – Active Mass Damper) oluşan yeni bir Hibrit Kütle Sönümleyici (HMD – Hybrid Mass damper) önerilmiştir. Sistem; su deposu, çift yönlü raylı makaralı rulman, lamine kauçuk yatak, yağlı viskoz amortisör ve burulma önleyici yataktan oluşmaktadır (Ni, Lin, Chen ve Ko, 2012) (Şekil 3.103 – 3.104 – 3.105).



Şekil 3.103 ER damper çalışma prensibi (Sharma, 2014)



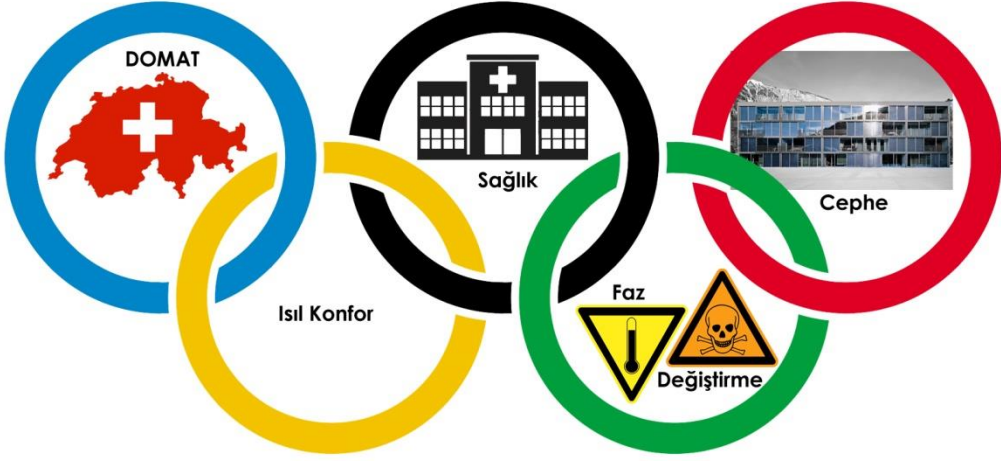
Şekil 3.104 Kanton Kulesi HMD sistemi (Tan, Liu, Zhou ve Teng, 2012)



Şekil 3.105 Kanton Kulesi HMD (Tan, Liu, Zhou ve Teng, 2012)

3.22 Sur Falveng Yaşlı Evi (Casa Falveng Seniorenzentrum)

Tablo 3.22 Sur Falveng Yaşlı Evi künyesi

	
Mimari	Dietrich SCHWARZ
Yapım Yılı	2004
İnşaat Alanı	152,7 m ²
Tür	Yaşlı Bakım Merkezi
Akıllı Malzeme Kullanım Yeri	Cephe
Akıllı Malzeme Türü	Faz Değiştiren Akıllı Malzeme (PCM)
Akıllı Malzeme	GlassX – Greenlite Glass Systems

İsviçre'nin Rhaeto-Romani sınırının yakınında bulunan Do-mat'da, Tuma Falveng'in eteğinde, Zürihli mimar Dietrich Schwarz, yaşlılar için apartmanlardan oluşan dört katlı bir bina tasarlamıştır (Şekil 3.106 – 3.107).



Şekil 3.106 Sur Falveng güney cephe (Alterswohnen, Domat Ems, b.t.)



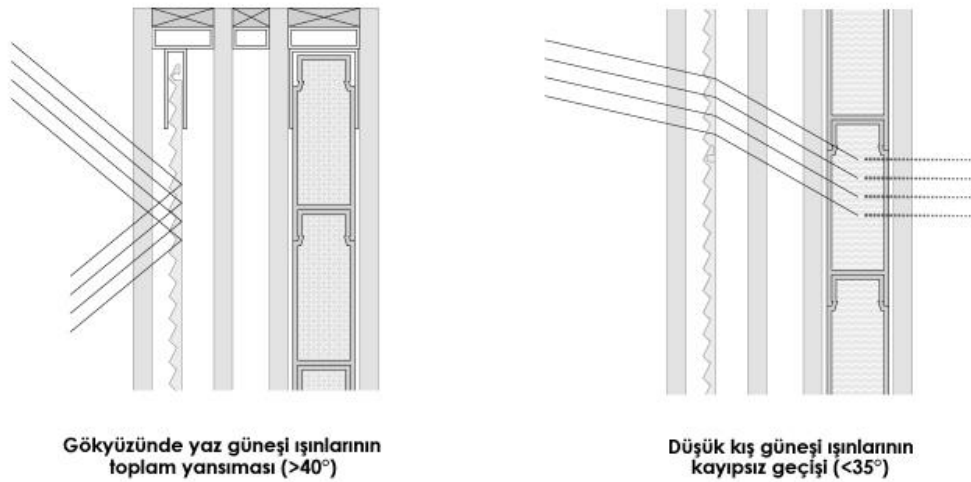
Şekil 3.107 Sur Falveng genel görünüm (Alterswohnen, Domat Ems, b.t.)

Binanın çevre ile ilişki kurabilmesi için geniş cam alanları oluşturulmuştur. Güneye bakan büyük pencereler, 22,5 m² güneş panelleri, iki hava-su ısı pompası ve termal enerji ile ısı kaynağının çekirdeğini oluşturur. Bol ışık alan daireler, yenilikçi, 8 cm kalınlığında cam cephenin arkasında yer almaktadır. Yenilikçi cam cephe, aralarında

üç boşluk bulunan, her biri 6 mm kalınlığında dört emniyet camından oluşturulmuştur. Dış kısım bir prizma plakası ile donatılmıştır. Ortadaki kısım inert gazla, içeride kalan boşluk ise tuz hidratla doldurulmuştur. GlassX ismi verilen bu sistem, yazın sıcaktan korunmak için entegre prizmatik camlara ve kışın enerji depolamak için gizli kapsüllere sahiptir. Mimar Dietrich Schwarz tarafından geliştirilen bu güneş enerjisi depolama camı, kışın % 40'a varan verimlilik sağlayarak, güneş radyasyonu doğrudan hoş bir radyant ısıya dönüştürür. Sistem bulutlu bir kış gününde bile % 34'lük bir verimlilik sağlayabilir (Sonnenfanger, 2006) (Şekil 3.108 – 3.109).



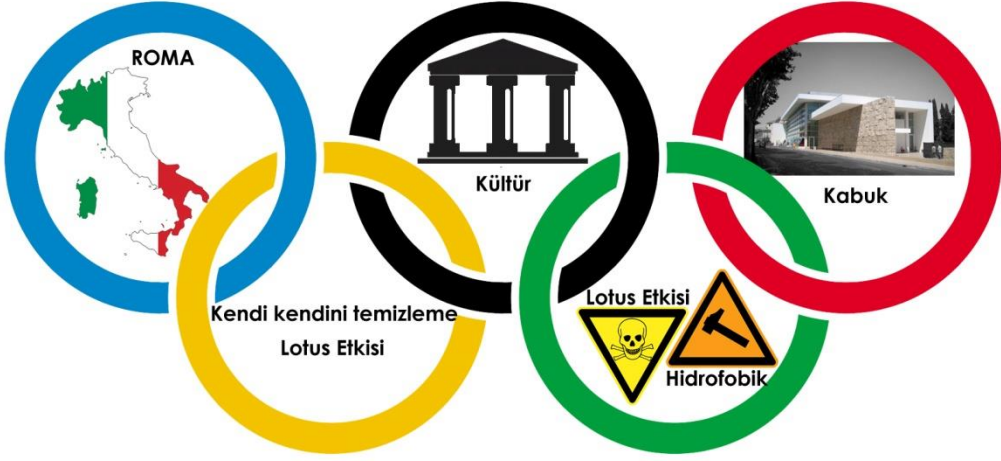
Şekil 3.108 Sur Falveng iç mekan (Alterswohnen, Domat Ems, b.t.)



Şekil 3.109 Glass-X çalışma prensibi (Glass X crystal, b.t.)

3.23 Ara Pacis Müzesi (Museo dell'Ara Pacis)

Tablo 3.23 Ara Pacis Müzesi künyesi

	
Mimari	Richard MEIER & PARTNERS
Yapım Yılı	2006
İnşaat Alanı	~1.500 m ²
Tür	Müze
Akıllı Malzeme Kullanım Yeri	Kabuk
Akıllı Malzeme Türü	Hidrofobik Yüzey (Lotus Etkisi)
Akıllı Malzeme	Lotusan® – Sto SEA

İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra restore edilen yapının, 1990'ların başlarında, dış fiziki koşullara karşı korunmak için yetersiz kalması sebebi ile Amerikan mimarlık firması Richard Meier & Partners tarafından yeni bir bina tasarlanmıştır (Şekil 3.110).

2006 yılında açılışı yapılan yeni müze, yaklaşık 1.500 metrekare zemin alanında kalıcı ve geçici sergi galerileri, 140 kişilik bir oditoryum, yönetim ofisleri ve çeşitli ziyaretçi tesisleri içeren ve gün ışığından azami derecede faydalanan bir bina olarak yapılmıştır. Yeni binanın oranları ile duvarları ve kaldırımı kaplamak için kullanılan traverten taşı ve atriyumdaki sütunları örten beyaz mermer sıva gibi malzemelerinde tarihi Roma mimarisinden esinlenmiştir (Bianchini, 2019b).



Şekil 3.110 Ara Pacis Müzesi genel görünüm (Castelli, b.t.)

Bir müze olmasının yanı sıra, mermer taş ve metal parçalarının giderek artan şekilde bozulmasının neden olduğu ciddi koruma sorunları ile karşı karşıya olan, içindeki sunak kalıntıları için son teknoloji bir koruyucu yapı olarak da tasarlanmıştır. Bu sebeple, gelişmiş bir klima sistemi, gün ışığı ve yapay aydınlatma kontrol cihazları, radyan yerden ısıtma ve soğutma ve yüksek derecede yalıtımlı cam paneller gibi dâhili mikro iklimi kontrol etmeyi amaçlayan bir dizi aktif ve pasif teknik çözüm içermektedir (Bianchini, 2019b) (Şekil 3.111 – 3.112).

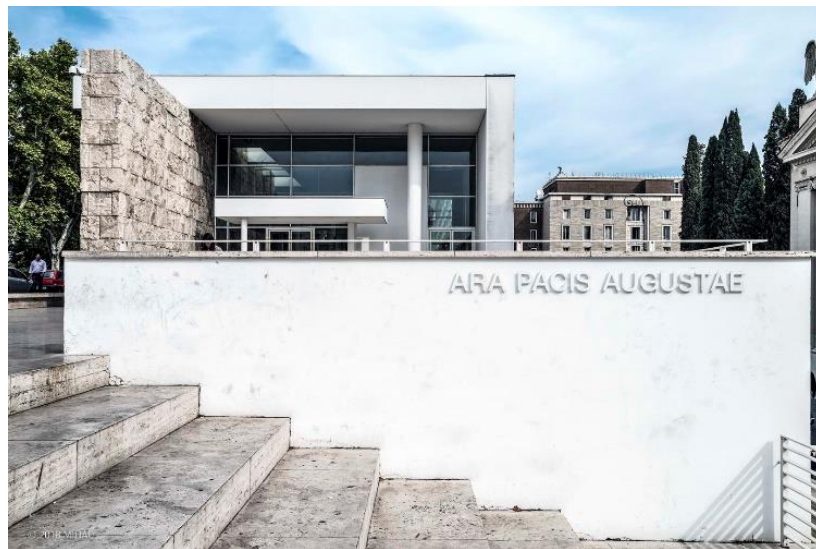


Şekil 3.111 Ara Pacis Müzesi iç mekan (Castelli, b.t.)

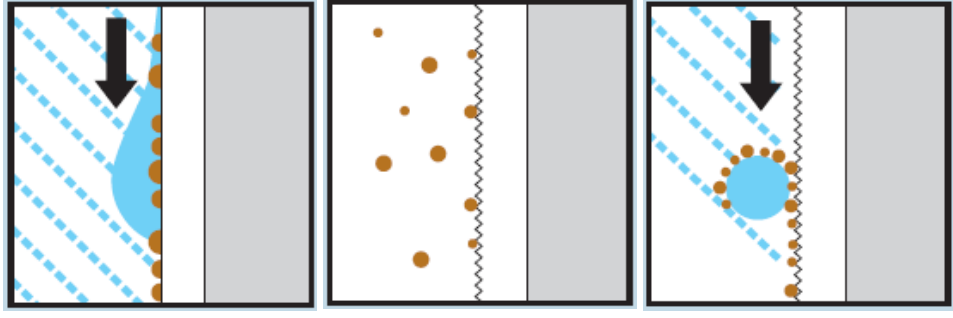


Şekil 3.112 Ara Pacis Müzesi ana salon (Castelli, b.t.)

Kullanılan malzemenin önemli bir özelliği hidrofobik olmasıdır. Kendi kendini temizleyen (Self-cleaning: Lotus-Effect®. “Lotus etkisini bulan ve isimlendiren araştırmacılar Barthlott, 1998 yılında ‘süperhidrofobik, mikro/nano strüktürlü kendini temizleme özellikli yüzey uygulaması’ için ‘Lotus-Effect’ adıyla Avrupa’da t,car, patent almıştır.” (Orhon, 2014)) kaplama, malzeme renginin dayanıklılığını sağlamak için beyaz yüzeylere görünmez bir şekilde entegre edilmiştir. Yüzey, nanoyapı ile kaplanmış ve mumsu uçlara sahip olan 5 – 10 mikrometrelik bilyelerden oluşturulmuştur (Sto-sea, 2016) (Şekil 3.113 – 3.114).



Şekil 3.113 Ara Pacis Müzesi Lotus etkili beyaz yüzeyler (Castelli, b.t.)



Şekil 3.114 Stocolor Lotusan boya çalışma prensibi (Sto-sea, 2016)

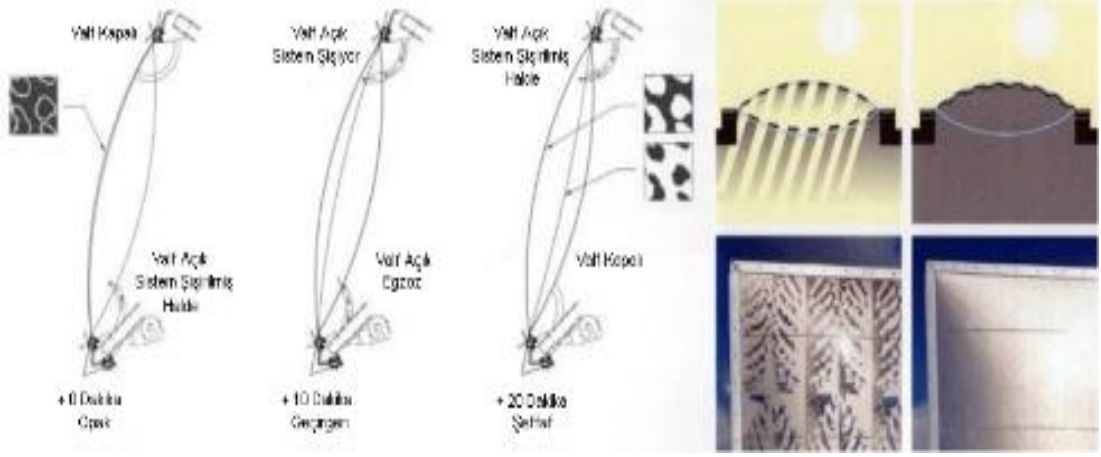
3.24 Cyclebowl

Tablo 3.24 Cyclebowl Pavyonu künyesi

	
Mimari	Atalier Brückner
Yapım Yılı	2000
İnşaat Alanı	~1.600 m ²
Tür	Sergi Pavyonu
Akıllı Malzeme Kullanım Yeri	Kabuk
Akıllı Malzeme Türü	ETFE
Akıllı Malzeme	Texlon® – Vector Foiltec

Cyclebowl pavyonu, Atalier Brückner tarafından 2000 yılında Almanya'nın Hannover kentinde Alman geri dönüşüm firması Duales-System-Deutschland GmbH için tasarlanmıştır. Expo 2000' de yer alan pavyon üç katmanlı folyonun kullanıldığı ilk örnektir. Hava ile şişirilerek, iki farklı iç basıncının düzenlenmesi ile kontrol edilebilen ETFE-folyo yastıklar orta ve dış katmanlarına basılmış olan farklı desenler sayesinde alternatif ışık geçirgenliklerinin elde edilebilmesini sağlamıştır (Vectorfoiltec, b.t.).

Binanın cephesinde Texlon® Folyo Sistemler kullanılmıştır. Pavyona gelen ışığın kontrol edilmesi pnömatik olarak odacıklardaki basıncı değiştirilmesi ve bu sayede % 45 şeffaflık ile tamamen opak bir durum sağlanması ile mümkündür (Şekil 3.115).



Şekil 3.115 Texlon folyo çalışma prensibi (Zanelli, Monticelli, Beccarelli ve Hend, 2011)

Yaklaşık 25 metre çapı ile pavyon çatısı, döneminde üretilmiş en büyük ETFE yastıklardan" biridir. Sistemi oluşturan elamanlar 1,70 m genişliğinde ve orta katmanda 1,80 m yüksekliğindedir (Vectorfoiltec, b.t.) (Şekil 3.116).



Şekil 3.116 Cyclebowl genel görünüm (Atelier-brueckner, b.t.)

Sistem alternatif şeffaf kaplama sistemlerine göre % 50 - % 90 arasında daha hafiftir, bu da kaplamayı desteklemek için gereken yapısal çelik ve alüminyum miktarını daha da azaltmasını sağlamıştır (Şekil 3.117 – 3. 118).



Şekil 3.117 Cyclebowl çekme çemberi (Atelier-brueckner, b.t.)



Şekil 3.118 Cyclebowl genel görünümü (Vectorfoiltec, b.t.)

BÖLÜM 4

SONUÇ

Malzeme insan hayatında her zaman önemli bir yere sahiptir. İnsan, doğumundan, ölümüne daha konforlu, daha sağlıklı, daha kolay gibi yaşam kalitesini yükseltecek minimum enerji ile maksimum verimi sağlayacak malzeme arayışlarına girmiştir. Tarih öncesi çağlarda başlayan bulduğu malzemeyi geliştirme anlayışı, bitmek tükenmek bilmeyen araştırma ve geliştirme olgusu; günümüz insanının klasik malzemeden akıllı malzemeye olan seyahatinde önemli referans olmuştur.

Akıllı malzemeler, klasik malzemelerden farklı olarak dış koşullara direnç göstermek yerine, etkiyi algılayarak, bu etkiye uyum sağlayacak tepkiyi geliştiren malzemelerdir. Bu yönlerinin sağladığı avantajlar, sürekli geliştirilmelerine, dolayısı ile dinamik ve popüler bir alan olmalarına yol açmıştır. Günümüzde birçok akıllı malzeme literatüre kazandırılmakla birlikte her geçen gün yeni bir malzeme ile envanter büyümektedir. Bu açıdan bakıldığında sınıflandırma da önem kazanmaktadır. Akıllı malzemelerin mimarlık disiplindeki öncü çalışmalarından “Smart Materials and Technologies in Architectur – Mimarlıkta Akıllı Malzeme ve Teknolojileri” adlı kitabında, Michelle Addington ve Daniel L. Schodek akıllı malzemeleri Tip I – Özellik değiştiren, Tip II – Enerji Değişimi olarak ikiye ayırmış, ayrıca Tip II’yi de enerji değişiminin tersinir olup olmamasına göre gruplamıştır. Bununla birlikte, bir başka öncü Axel Ritter “Smart Materials in Architektur, Innenarchitektur und Design – Mimarlıkta, İçmimarlıkta ve Tasarımda Akıllı Malzemeler” adlı kitabında ise; Özellik Değiştiren Akıllı Malzemeler, Enerji değiştiren Akıllı Malzemeler ve Madde Değiştiren Akıllı Malzemeler olmak üzere üç temel grupta sınıflamıştır. Benzeri farklı sınıflandırmalar olmakla birlikte, sınıflandırmalardaki ortak bileşenler akıllı malzemenin karşılaştığı etki ve bu etkiye gösterdiği tepkidir. Bu bakımdan Ghandi ve Thompson’un Etki – Tepki matrisi belki de en kolay ve kullanışlı olanıdır.

Tez kapsamında incelenen örnekler bu üç farklı sınıflandırma yaklaşımına göre listelendiğinde (Tablo 4.1 – 4.2 – 4.3);

Tablo 4.1 Addington ve Schodek'in sınıflamasında örnek yerleşimi

AKILLI MALZEME TİPİ	ETKİ	TEPKİ	ÖRNEK
Tip I – Özellik Değiştiren			
Termokromik	Sıcaklık Farkı	Renk Değişimi	NDIS Geelong
Fotokromik	Radyasyon (Işık)	Renk Değişimi	OR2
Mekanokromik	Deformasyon	Renk Değişimi	
Kemokromik	Kimyasal Konsantrasyon	Renk Değişimi	
Elektrokromik	Potansiyel Elektrik Farkı	Renk Değişimi	CERN
Likit Kristal	Potansiyel Elektrik Farkı	Renk Değişimi	
Asılı Parçacık	Potansiyel Elektrik Farkı	Renk Değişimi	
Elektro Akışkan (elektroreolojik)	Potansiyel Elektrik Farkı	Sertlik/Vizkozite Değişimi	Kanton Kulesi
Manyeto Akışkan (magnetoreolojik)	Potansiyel Elektrik Farkı	Sertlik/Vizkozite Değişimi	Nihon Kagaku Miraikan
Tip II – Enerji Değişimi			
Elektro Işıldama (elektrolüminesan)	Potansiyel Elektrik Farkı	Işık	Channel Ginza
Foto Işıltama (fotolüminesan)	Radyasyon	Işık	
Kimyasal Işıldama (kemolüminesan)	Kimyasal Konsantrasyon	Işık	
Isısal Işıldama (termolüminesan)	Sıcaklık Farkı	Işık	Lousiana
Işık Yayan Diod (LED)	Potansiyel Elektrik Farkı	Işık	Xicui / Cellophane
Fotovoltaik	Radyasyon (Işık)	Potansiyel Elektrik Farkı	Kaohsiung / SwissTech
Tip II – Enerji Değişimi (Tersinir)			
Piezo elektrik	Deformasyon	Potansiyel Elektrik Farkı	Atletik Dalgalar / MATscape / Lousiana
Piro elektrik	Sıcaklık Farkı	Potansiyel Elektrik Farkı	
Termo elektrik	Sıcaklık Farkı	Potansiyel Elektrik Farkı	
Elektro Sınırlayıcı (electrostriktif)	Potansiyel Elektrik Farkı	Deformasyon	
Manyeto Sınırlayıcı (magnetostriktif)	Manyetik Alan	Deformasyon	

Michelle Addington ve Daniel L. Schodek'in sınıflamasına göre; BIQ, BLOOM, Jubilee Kilisesi, Hygroskin, Manuel Gea Gonzalez Hastanesi Cephesi, Arap Dünyası

Enstitüsü, Hipermembran, Die Fabrik Callplus, Sur Falveng, Ara Pacis ve Cyclebowl örneklerinin liste dışı kaldığı,

Tablo 4.2 Ritter'in sınıflamasında örnek yerleşimi

ÖZELLİK DEĞİŞTİREN AKILLI MALZEMELER	Şekil Değiştiren Akıllı Malzemeler	Fotostriktif Akıllı Malzemeler		
		Termostriktif Akıllı Malzemeler	Termal Genleşme Malzemeleri (TEM)/Genleşme Malzemeleri (EM)	
			Termo-Bimetal (TB)	BLOOM
			Şekil Bellekli Alaşım (SMA)	Arap Dünyası Enstitüsü
			Termobikompozit Malzemeler	
			Şekil Bellekli Polimerler (SMP)	
			Şekil Bellekli Köpükler	
			Şekil Bellekli Seramikler	
			Şekil Bellek Etkili Biyolojik Sistemler	
		Piezo-Elektrik Akıllı Malzemeler		
		Elektro-Aktif Akıllı Malzemeler	Elektro-Aktif Polimerler (EAP)	
			Elektrostriktif Kağıtlar	
			Elektrostriktif Seramikler	
			Elektrostriktif Graft Elastomerler	
		Manyetostriktif Akıllı Malzemeler		
		Kemostriktif Akıllı Malzemeler		
	Renk ve Optik Olarak Değişen Akıllı Malzemeler	Fotokromik Akıllı Malzemeler	Fotokromik Malzemeler (PC)	
			Fotokromik Pigmentler	
			Fotokromik Camlar	
			Fotokromik Plastikler (Fotokromik Polimerler (PCP))	OR2
		Termokromik/Termotropik Akıllı Malzemeler	Termokromik Malzemeler (TC)	
			Termotropik Malzemeler (TT)	
			Termokromik Pigmentler	
			Termokromik Camlar	NDIS Geelong
			Termotropik Camlar	
			Termokromik Plastikler (Termokromik Polimerler (TCP))	

Tablo 4.2 devamı

		Mekanokromik Akıllı Malzemeler (Piezokromik, Tribokromik)		
		Elektrokromik/Elektrotropik Akıllı Malzemeler (İyonokromik)	Elektrokromik Malzemeler (EC)	CERN
			Elektrotropik Malzemeler (EO)	
			Polimer ve Dağınık Sıvı Kristalli Elektrotropik Cam Sistemleri (PDLC)	
			Asılı Parçacıklı Elektropik Cam Sistemleri (SPD)	
			Metal Oksitli Elektrokromik Cam Sistemleri	
		Kemokromik Akıllı Malzemeler (Gazokromik, Halokromik, Solvatokromik, Higro/Hidrookromik)		
	Adezyon (Yapışma) Değiştiren Akıllı Malzemeler	Fotoadesiv Akıllı Malzemeler	Titanyum Dioksit	Jubilee / Manuek Gea Gonzalez Hastanesi Cephesi
		Termoadesiv Akıllı Malzemeler		
		Elektroadesiv Akıllı Malzemeler		
		Hidroadesiv Akıllı Malzemeler		Ara Pacis
		Biyoadesiv Akıllı Malzemeler		
ENERJİ DEĞİŞTİREN AKILLI MALZEMELER	Işık Yayan Akıllı Malzemeler	Fotolüminesan	Floresan	
			Fosforesan	
		Elektrolüminesan	Enjeksiyon Elektrolüminesasn (LED)	Chanel Ginza / Xicui
			Toz Elektrolüminesan	
			İnce Film Elektrolüminesan	
			Kalın Film Elektrolüminesan	
			Polimer/Küçük Molekül Elektrolüminesan	
		Biyolüminesan		
		Kemolüminesan		
		Kristalolüminesan		
		Radyolüminesan		
		Radyofotolüminesan (Termolüminesan)		
		Tribolüminesan		

Tablo 4.2 devamı

	Elektrik Üreten Akıllı Malzemeler	Fotoelektrik Akıllı Malzemeler	Boya Güneş Pilleri (DSC)	SwissTech
			Silikon Güneş Pilleri	
			İnce Film Güneş Pilleri	Kaohsiung
		Termoelektrik (Piroelektrik) Akıllı Malzemeler	Organik Güneş Pilleri (OPV)	Cellophane
			Termoelektrik Jeneratörler (TEG)	
			Termoelementler	
		Piezoelektrik Akıllı Malzemeler	Radyonüklid Aküler	
			Piezoelektrik Seramikler (PEC)	Atletik Dalgalar/ Lousinna
			Piezoelektrik Polimerler (PEP)	MATscape
		Kemoelektrik Akıllı Malzemeler	Piezoelektrik Monokristaller	
		Enerji Değiştiren Akıllı Malzemeler	Işık Depolayan Akıllı Malzemeler	
			Isı Depolayan Akıllı Malzemeler	Faz Değiştiren Akıllı Malzemeler (PCM)
			Elektrik Depolayan Akıllı Malzemeler	Sur Falveng / Lousinna
			Hidrojen Depolayan Akıllı Malzemeler	
MADDE DEĞİŞTİREN AKILLI MALZEMELER		Gaz/Su Depolayan Akıllı Malzemeler	Mineral Tutan/Emen Malzemeler (MAd/MAB)	Die Fabrik Callplus
			Emici/Süperemici Polimerler (AP/SAP)	
			Diğer İnorganik Tutucular (IAd)	
			Organik Tutucular (OAd)	
			Diğer Organik Emiciler (OAb)	Hygroskin
		Parçacık Depolayan Akıllı Malzemeler		

Axel Ritter'in sınıflamasına göre; BIQ, Hipermembran, Nihon Kagaku Miraikan, Kanton Kulesi ve Cyclebowl örneklerinin liste dışı kaldığı görülmektedir.

Her iki listeleme yönteminde de listeye yeni akıllı malzemeler eklemek mümkün olsa da, malzeme biliminin dinamik bir bölümü olan akıllı malzemelerin çoğalması ile listelerin karmaşık ve kullanımının zorlaşacağı öngörülebilir. Bu bakımdan Ghandi ve Thompson'un 6 x 6 'lı Etki – Tepki matrisi hem mevcut akıllı malzemeleri kapsayıcı hem de olası genişlemelere uygun esnekliği ile daha kullanışlı görünmektedir. Tez

kapsamında incelenen örnekler Ghandi ve Thompson'un Etki – Tepki Matrisine yerleştirildiğinde sadece Hygroskin örneğinin liste dışı kaldığı, matrise Nem değişkeni ilave edilerek bu örneğinde kolayca listelenebileceği öngörülebilir.

Tablo 4.3 Ghandi ve Thompson'un matrisinde örnek verleşimi

Tepki Etki	Elektriksel	Manyetik	Optik	Issal	Mekanik	Kimyasal
Elektriksel		Manyeto – Elektronik, Spin – Elektronik, Spintronik,	Elektro – Kromik (CERN) Elektro – Lüminesans (Xiueu) Elektro – Optik (Chanel Ginza) Piezo – Kromik, Kerr Etkisi, Pockel Etkisi,	Termo – Elektrik/ Peltier,	Piezo – Elektrik , Elektro – Sırtıkif, Elektro – Reolojik (Kanton Kulesi) Elektro – Kinetik,	Elektroliz, Elektro – Kimyasal , Biyo – Elektrik, Elektro – Migrasyon ,
Manyetik	Manyeto – Elektronik , Spin – Elektronik , Spintronik, Hall Etkisi,		Manyeto – Optik, Piezo – Kromik,	Manyeto – Termal,	Manyeto – Sırtıkif, Manyeto – Reolojik (Nihon Kagaku Miraikan)	Nükleer – Manyetik – Rezonans, Manyeto – Kimyasal,
Optik	Foto – İletken (Kaohsiung / Cellophane) DSC (SwissTech)	Opto – Manyetik,	Optik bi Stabilitate, Foto – Kromik (OR2)	Foto – Termik,	Opto – Mekanik, Foto – Akustik,	Foto – Kimyasal, Fotosentez (BIO) Foto – Katalitik (Jubilee / Torre de Especialidades))
Issal	Termo – Elektrik, Süper İletken, Radyometre Etkisi, Piro – Elektrik,	Curie Noktası,	Termo – Kromik (NDIS Geelong) Termo – Lüminesans,		Şekil Bellek (Arap Dünyası Enstitüsü) Bimetal (BLOOM)	PCM (Sur Falteng / Lousinna / Die Fabrik / Cellophane)
Mekanik	Piezo – Elektrik (Atletik dalgalar / MATscape / Lousinna) Elektro – Sırtıkif,	Manyeto – Sırtıkif,	Mekano – Kromik, Reo – Kromik, Mekano – Optik (Cyclebow)		Reopeksik, Öksetik (Hipermembran) İncelip/Kescici, Genleştirici, Newton Tipi Olmayan, Yalancı Plastik,	
Kimyasal		Manyeto – Kimyasal,	Renk Değiştirme, Turnusol, İşildama,	Ekzo – Termik, Endo – Termik ,	Lotus Efekt (Ara Pacis)	Katalizör,

Sınıflandırma gibi bir başka dinamik alanda akıllı malzemelerin kullanım yerleri ile ilgili olmalıdır. Malzeme önce Uzay, tıp, inşaat gibi lokomotif sektörlerde kullanım bulurken, geliştirme faaliyetlerinin ivmelenmesi, yeni proseslerin denenmesi ve kullanım yoğunluğunun artması ile yeni sektörlerle de girmektedir.

Günümüz enerjinin ve sürdürülebilirliğin oldukça önem kazandığı bir dönemdir. Bu bakımdan çevreye duyarlı, enerji verimli, sürdürülebilir ve daha yaşanabilir bir dünya için akıllı malzemeler önemli bir rol üstlenmektedir. Bu malzemelerin mimari uygulamalarda artan ağırlıkları, bu amaçlara ulaşılmasında katalizör görevi görecektir.



KAYNAKLAR

3XN-Louisiana pavilion. (2009). 25 Haziran 2009, <http://europaconcorsi.com/projects/100777-3XN-Louisiana-Pavilion/print>.

Aaron, P. (b.t.). *Cellophane house*. 14 Şubat 2019, <https://www.architonic.com/en/project/kierantimberlake-cellophane-house/5100378>

Addington, M. ve Schodek, D. (2005). *Smart Materials and Technologies for Architecture and Design Professions*, Amsterdam: Elsevier Ltd.

Akdoğan, A. ve Nurveren, K. (2003a). Akıllı malzemeler ve uygulamaları. *Machinery Makine Tek*, 57, 35.

Akdoğan, A. ve Nurveren K. (2003b), Şekil hafızalı alaşımlar. *Mühendis ve Makina*, 44 (521), 35-44.

Alterswohnen, Domat Ems. (b.t.). 14 Şubat 2019, <https://www.schwarz-architekten.com/project/alterswohnen-domat-ems/>

Atelier-brueckner (b.t.). 14 Şubat 2019, <https://www.atelier-brueckner.com/en/projects/cyclebowl>

Baughman, R. H., Shacklette, J. M., Zakhidov A. A. ve Stafstrom S. (1998). Negative Poisson's ratio as a common feature of cubic metals. *Nature*, 392, 362-365.

Bedeloğlu, A. Ç. (2011). Şekil hafızalı alaşımlar ve tekstil malzemelerindeki uygulamaları. *Tekstil ve Mühendis*, 18 (83), 27-37

BIQ. (b.t.). 14 Şubat 2019, <http://www.iba-hamburg.de/en/projects/the-building-exhibition-within-the-building-exhibition/smart-materialhouses/biq/projekt/biq>

- Bianchini, R. (2019a). *The globe of science and innovation*, CERN, Geneva. 4 Kasım 2019, <https://www.inexhibit.com/mymuseum/globe-de-la-science-et-de-linnovation/>
- Bianchini, R. (2019b). *Museum of Ara Pacis – Rome*. 4 Kasım 2019, <https://www.inexhibit.com/mymuseum/ara-pacis-museum-rome-richard-meier/>
- Boegly, L. (2010). *File:Chanel-Ginza*. 13 Haziran 2010, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chanel-Ginza.jpg>
- Bojovic, M. (2013). *Bloom by DOSU is environmentally responsive installation*. 18 Eylül 2013, <http://www.evolo.us/bloom-by-dosu-is-environmentally-responsive-installation/>
- Bottom, V.E. (1981). A history of the quartz crystal industry in the USA. *Proceedings of the 35th annual frequency control symposium, May 27-29, Philadelphia*, 3-12.
- Bozkurt G. (2007). *Fotokromik bileşiklerin sentezi ve özelliklerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- By Gurur. (2017). 14 Şubat 2019, <https://www.nkfu.com/fotoiletkenlik-nedir/>
- Caddock, B. D. ve Evans, K. E. (1989). Microporous materials with negative Poisson's ratio: 1. microstructure and mechanical properties. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 22, 1877-1882.
- Call center im industriedenkmal Cottbus*. (b.t.). 14 Şubat 2019, <https://www.knauf.de/profi/referenzen/call-center-im-industriedenkmal-cottbus.html>
- Canton tower facts and information*. (b.t.). 14 Şubat 2019, <https://thetowerinfo.com/buildings-list/canton-tower/>

Castelli, F. (b.t.). *Ara Pacis museum*. 14 Şubat 2019, <https://www.atlantearchitettura.beniculturali.it/en/museo-dellara-pacis/>

Chalcraft, E. (2013). *Arup unveils world's first algae-powered building*. 15 Nisan 2013, <http://www.dezeen.com/2013/04/15/arup-unveils-worldsfirst-algae-powered-building/>

Chanel flagship store, Ginza, Tokyo. (2012). 14 Şubat 2019, <https://ikm-hslu.ch/urban-media/2012/01/30/chanel-flagship-store-ginza-tokyo/>

Chanel Ginza. (b.t.). 14 Şubat 2019, <http://www.worktecht.com/works/chanel-ginza/>

Cheng, L. ve Harris, J. (2019). *Woods Bagot-designed NDIS head Office makes use of solar-responsive glass*. 20 Mayıs 2019, <https://architectureau.com/articles/woods-bagot-designed-ndis-head-office-makes-use-of-solar-responsive-glass/>

Church of 2000/Richard Meier & partners. (2009). 19 Nisan 2009, <http://www.archdaily.com/20105/church-of-2000-richard-meier/>

Curie sıcaklığı (2013) 28 Ekim 2013, <https://forum.turkmmo.com/konu/2830868-curie-sicakligi/>

Currey, M. (2008). *Dünyanın en büyük renkli LED görüntüsü*. (I. Külekçi, Çev.). 13 Ağustos 2008, <https://v3.arkitera.com/news.php?action=displayNewsItem&ID=32800>.

Cute Kiwi (b.t.). 14 Şubat 2019, <http://www.cute.kiwi/swiss-tech-convention-center/>

Dapino, M. J. (2002). *Magnetostrictive Materials*. 14 Şubat 2019, https://www.researchgate.net/publication/229511759_Magnetostrictive_Materials

Daşdağ, S. (b.t.). *Kanın biyofiziksel özellikleri*. 14 Şubat 2019, <http://slideplayer.biz.tr/slide/2755973>

Decorative facades that eat pollution. (b.t.). 14 Şubat 2019, <http://www.elegantembellishments.net/home-1>

Döşemeciler, A. (2012). Cam ve aydınlatma sistemlerinde akıllı malzemeler. *Ege Mimarlık*, 2012/3 (82), 14-17.

Eker, A. A. (2018). İleri malzemelerin dünyadaki gelişim durumu. 3. *Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi*, Mayıs 4-5, Kocaeli, 1-4.

Ekzotermik reaksiyon (b.t.). 14 Şubat 2019, https://tr.wikipedia.org/wiki/Ekzotermik_reaksiyon

Elektrokimya (b.t.). 14 Şubat 2019, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Elektrokimya>

Elektrokinetik (b.t.). 14 Şubat 2019, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Elektrokinetik>

Elektroliz (b.t.). 14 Şubat 2019, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Elektroliz>

Elektrolüminesans (b.t.). 14 Şubat 2019, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Elektrolüminesans>

Elektro-optik (b.t.). 14 Şubat 2019, https://acikders.tuba.gov.tr/pluginfile.php/1067/mod_resource/content/2/Bolum-9.pdf

Endotermik reaksiyon (b.t.). 14 Şubat 2019, https://tr.wikipedia.org/wiki/Endotermik_reaksiyon

Ergin, T. ve Altıparmak, D. (2013), Karbonil demir ve manyetit esaslı manyetoreolojik sıvıların sönümleme performansı ve katkı maddesi olarak silika dumanı kullanımı. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28 (4), 695-703.

Etherington, R. (2008). *Greenpix media Wall by Simone Giostra & partners 2*. 9 Mayıs 2008, <https://www.dezeen.com/2008/05/09/greenpix-media-wall-by-simone-giostra-partners-2/>

Evans, K. E., Nkansah, M. A., Hutchison, I. J. ve Rogers, S. C. (1991). Molecular network design, *Nature*, 353, 124.

Facade on the torre de especialidades. (2013). 28 Kasım 2013, <https://www.archilovers.com/projects/108136/facade-on-the-torre-de-especialidades.html#info>

Formakers (2014). *Hypermembrane, modular complexity/hybrida*, Sylvia Felipe, Jordi Truco. 28 Şubat 2014, <http://www.formakers.eu/project-1083-hybrida-sylvia-felipe-jordi-truco-hypermembrane-modular-complexit>.

Fotosentez konu anlatımı (2018). 05 Aralık 2018, <https://fotosentez.gen.tr/fotosentez-konu-anlatimi.html>

Furuto, A. (2012). *Bloom / DO/SU studio architecture*. 12 Mart 2012, <https://www.archdaily.com/215280/bloom-dosu-studio-architecture>.

Furuto, A. (2013). *Or2 project wins good design award/Orproject*. 26 Ocak 2013, <https://www.archdaily.com/321480/or2-project-wins-good-design-award-orproject>

Garrett, J. (2012). *More about:Institut du monde Arabe-Paris, France*. 14 Eylül 2012, <https://moreaedesign.wordpress.com/2012/09/14/more-about-institut-du-monde-arabe-paris-france/>

Geçim, G. (b.t.). *Newtonian ve Newtonian olmayan akışkanların viskozitesinin belirlenmesi (rotasyonel reometre)*. 14 Şubat 2019, https://depo.btu.edu.tr/dosyalar/kimyamuh/Dosyalar/KBM0308%20Kimya%20M%c3%bchendisli%c4%9fi%20Laboratuvar%c4%b1_%20II_Reoloji.pdf

Ghandi, M. V. ve Thompson B. S. (1992). *Smart materials and structures*. London: Chapman and Hall.

Glass X crystal. (b.t.). 14 Şubat 2019, <https://greenliteglass.com/product/glass-x-crystal/>

Gibson, L. J., Ashby, M. F., Schajer, G. S. ve Robertson, C. I. (1982). The mechanics of two dimensional cellular solids. *CI proceedings of Royal Society London*, 382 (A), 25-42.

Guerra, F. (b.t.). *EPFL quartier nord Swisstech convention center retail and student housing/Ricter Dahl Rocha & associés*. 14 Şubat 2019, [https://www.archdaily.com/519434/epfl-quartier-nord-swisstech-convention-center-retail-and-student housing - richter-dahl-rocha-and-associates](https://www.archdaily.com/519434/epfl-quartier-nord-swisstech-convention-center-retail-and-student-housing-richter-dahl-rocha-and-associates)

Güler, S. (2010). *Manyetoreolojik akışkan sentezi ve karakterizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Gür, V. (2004). Yapı kabuklarının geleceği-değişkenlik ve adaptasyon ihtiyacı. *Çatı Cephe Fuarı-CNR, Nisan 2 – 3, İstanbul*, 1-7.

Hall Etkisi (b.t.). 14 Şubat 2019, https://tr.wikipedia.org/wiki/Hall_etkisi

Hofbauer, L. (2012). *Hygroskin, meteorosensitive pavilion, 2012*. 14 Şubat 2019, <https://www.frac-centre.fr/collection-art-architecture/menges-achim/hygroskin-meteorosensitive-pavilion-64.html?authID=361&ensembleID=1206>

Hudson, D. (2014). *Achim Menges develops hygroskin and hygroscope: biomimetic meteorosensitive pavilions*. 13 Nisan 2014, <https://www.designboom.com/architecture/achim-menges-developes-hygroskin-and-hygroscope-biomimetic-meteorosensitive-pavilions-4-14-2014/>

Hygroskin:meteorosensitive pavilion. (b.t.). 14 Şubat 2019, <http://www.menges-scheffler.de/index.php/nggallery/page/2?p=21742&lang=en>

Hypermembrane (b.t.). 14 Şubat 2019, <https://www.hypermembrane.net/>

IBE, 1992. The Intelligent Building in Europe, DEGW (London) and Teknibank (Milan) with the European Intelligent Building Group. Report for British Council for Offices, UK.

Imarabe (b.t.). 14 Şubat 2019, <https://www.imarabe.org/en/architecture>

Işıldama (b.t.). 18 Eylül 2017, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Işıldama>

İşmal,Ö. E. 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.

Jarz, H. (2011). *Athletic ripples/studio symbiosis*. 1 Haziran 2011, <https://www.archdaily.com/139002/athletic-ripples-studio-symbiosis>

Jung, H. J., Spencer, B. F., Ni, Y. Q. ve Lee, I. W. (2004). State of the art of semiactive control systems using MR fluid dampers in civil engineering applications. *Structural Engineering and Mechanics*, 17 (3-4), 493-526.

Kane (b.t.). 14 Şubat 2019, <https://www.kane.com.au/project/ndia-the-carlton-project1>

Kataliz (b.t.). 24 Eylül 2017, <https://www.wikizero.com/tr/Kataliz>

Kierantimberlake (b.t). 14 Şubat 2019, <https://kierantimberlake.com/pages/view/14/cellophane-house/parent:3>

Kleinefenn, F. (b.t.). *Hygroskin, meteorosensitive pavilion*,2012. 14 Şubat 2019, <https://www.frac-centre.fr/collection-art-architecture/menges-achim/hygroskin-meteorosensitive-pavilion-64.html?authID=361&ensembleID=1206>

Krieg, O. D. (b.t.). *Hygroskin – meteorosensitive pavilion*. 14 Şubat 2019, https://www.oliverdavidkrieg.com/?page_id=461

Krieg, O. D., Christian, Z., Correa, D., Menges, A., Reichert, S., Rinderspacher, K. ve diğ er. (2013). *Hygroskin - meteorosensitive pavilion*. *Institute for Computational Design University of Stuttgart*, 60-67

Kwok, M. (b.t.). *Greenpix zero energy media wall*. 14 Şubat 2019, <https://www.arup.com/projects/greenpix-zero-energy-media-wall>.

Lakes, R. S. (1987). Foam structures with a negative Poisson’s ratio. *Science*, 235, 1038-1040.

Lau, W., Gerfen, K. (2012). *2012 R+D awards honorable mention: Bloom*. 02 Temmuz 2012, https://www.architectmagazine.com/awards/r-d-awards/2012-r-d-awards-honorable-mention-bloom_o

Laurent, H. B. ve Durr, H. (2001). Organic photochromism. *Iupac Technical Report*, 73, 639-665.

Laylin, T. (2014). *Dragon-shaped solar stadium in Taiwan is 100% powered by the sun*. 29 Temmuz 2014, <https://inhabitat.com/taiwans-solar-stadium-100-powered-by-the-sun/>

Ledbetter, H. ve Lei, M. (1991). Poisson's ratio of porous and microcracked solids: theory and application to oxide superconductors, *Journal of Materials Research*,6, 2253-2255.

Litmus (b.t.). 14 Şubat 2019, <https://en.wikipedia.org/wiki/Litmus>

Littledayout (2018). *Miraikanexperience the future at the national museum of emerging science and innovation in Odaiba, Tokyo*. 1 Ağustos 2018, <https://www.littledayout.com/miraikan-national-museum-of-emerging-science-and-innovation-odaiba -tokyo-japan/>

Lofgren, K. (2013). *World's first algae-powered building by Splitterwerk Architects opens in Germany*. 3 Mayıs 2013, <https://inhabitat.com/splitterwerk-architects-design-worlds-first-algae-powered-building-for-germany/>

Lomholt, I. (2010). *Learning from nature pavilion Denmark: information*. 15 Şubat 2010, <https://www.e-architect.co.uk/copenhagen/louisiana-pavilion>.

Love, A. E. H. (1944). *A treatise on the mathematical theory of elasticity*. (Fourth Edition). New York: Dover.

Mangan, S. D. (2006). *Akıllı binalarda alt sistem değerlendirilmesi: İstanbul örneği*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Martin, B. G., (2015). *Bloom/Dosu*. 22 Kasım 2015, <https://earchitecturestudio.wordpress.com/2015/10/22/bloom-dosu/>

Meaning of smart material in English. (b.t.). 14 Şubat 2019, https://www.lexico.com/definition/smart_material

Mekansal akustik çözümleri. (b.t.). 14 Şubat 2019, https://www.knauf.com.tr/tr/referanslar-ve-coezuemler/coezuemler/akustik-coezuemler/#showtab-tab1513941_1

- Mcmanus, D. (2008). *Xicui entertainment complex: zero energy media Wall*. 6 Mayıs 2008, <https://www.e-architect.co.uk/beijing/beijing-greenpix>
- Michas, J. S. (2006). Intelligent buildings. *Alaska Bussines Monthly*, 22 (108). 14 Şubat 2019, <http://proquest.umi.com/pqdweb?did=1155943431&sid=4&Fmt=3&clientId=42977&RQT=309&VName=PQD>
- Michler, A. (2010). *Jean Nouvel's stunning museum façade dilates to let in daylight*. 17 Eylül 2010, <https://inhabitat.com/jean-nouvel-stunning-museum-facade-dilates-to-let-in-daylight/>
- Mills, N. (2020). *NDIA NDIS headquarters in Geelong*. 19 Ocak 2020, <https://www.abc.net.au/news/2020-01-20/ndia-ndis-headquarters-in-geelong/11881340?nw=0>
- Milstein, F. ve Huang, K. (1979). Existence of a negative Poisson's ratio in fcc crystals. *Physical Review B*, 9, 2030-2033.
- Minerallerin Elektriksel Özellikleri*. (b.t.). 14 Şubat 2019, <https://www.turkcebilgi.org/sozluk/madencilik-terimleri/minerallerin-elektriksel-ozellikleri-13575.html>
- Miraikan-the national museum of emerging science and innovation* (b.t.). 14 Şubat 2019 https://www.nikken.co.jp/en/projects/cultural/miraikan_the_national_museum_of_emerging_science_and_innovation.html
- Moschopoulou, A. F. (2015). *The BIQ House: first algae-powered building in the world*. 29 Nisan 2015, <https://www.buildup.eu/en/practices/cases/biq-house-first-algae-powered-building-world>
- MR dampers*. (b.t.). 14 Şubat 2019, https://www.tekki.co.jp/en/products/list/dampers/product_building04

Naidoo, R. (2009). *3XN: 'learning from nature' showcase pavillion, Louisiana*. 25 Haziran 2009, <https://www.designboom.com/architecture/3xn-learning-from-nature-showcase-pavillion-louisiana/>

NDIS headquarters, Geelong. (b.t.). 14 Şubat 2019, <https://www.glassworksaustralia.com/ndis-headquarters-geelong/>

Nguyen, T. A., ve M. Aiello. (2013). Energy intelligent buildings based on user activity: A survey. *Energy and Buildings* 56, 244–257.

Ni, Y. Q., Xia, Y., Lin, W., Chen, W. H. ve Ko, J. M. (2012). SHM benchmark for high-rise structures: a reduced-order finite element model and field measurement data. *Smart Structures and Systems* (10) 4-5, 411-426.

Nükleer manyetik rezonans (b.t.). 14 Şubat 2019, https://tr.wikipedia.org/wiki/Nükleer_manyetik_rezonans

Spintronik (b.t.). 14 Şubat 2019, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Spintronik>

Okay, O. (2003). *Polimerik malzemelerin bugünü ve yarını*. 14 Şubat 2019, https://web.itu.edu.tr/okay/Davetli_okay.pdf

Optical bistability (b.t.). 14 Şubat 2019, https://en.wikipedia.org/wiki/Optical_bistability

Ore, A. (2014). *Arap dünyası enstitüsü-Institut du monde Arabe*. 9 Mayıs 2014, <http://www.pariste.net/arap-dunyasi-enstitusu-institut-du-monde-arabe/>

Orhon A.V. (2006). Modern yapı malzemeleri. *Yapı*, (300), 104-109.

Orhon, A. V. (2012). Akıllı malzemelerin mimarlıkta kullanımı. *Ege Mimarlık*, (82), 18-20.

Orhon, A. V. (2013a). Akıllı yapı kabukları. *11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Nisan 17 - 20, İzmir*, 1481-1487.

Orhon A.V. (2013b). Sürdürülebilir Mimaride Akıllı Malzeme Kullanımı. *VIII. Uluslararası Sinan Sempozyumu, Nisan 23, Edirne*, 297-304.

Orhon A.V. (2013c). Mimarlıkta betonun sürdürülebilirliği. *Ege Mimarlık, Nisan 2013*, 36-39.

Orhon A.V. (2014). Kendini Temizleyen Cephe Sistemleri. *Yalıtım*, (128), 34-42.

Ouroussoff, N. (2009). *Taiwan stadium 100 percent solar-powered*. 15 Temmuz 2009, http://www.solaripedia.com/13/346/4157/taiwan_solar_stadium_brick_sidewalk

Pehlivan, E. (2007). *Saf ve katkılı Niobyum Pentoksit ince filmlerin optik, yapısal, elektriksel ve elektrokromik özellikleri*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Perker, Z. S. ve Akkuş, K. (b.t.). *Optik Özelliği ve Rengi Değişebilen Akıllı Malzemelerin Mimarlıkta Kullanım Olanakları*. 14 Şubat 2019, <https://yapidergisi.com/optik-ozelligi-ve-rengi-degisebilen-akilli-malzemelerin-mimarlikta-kullanim-olanaklari/>

Piefort, V. (2001). *Finite element modelling of piezoelectric active structures*. Doktora Tezi, Université Libre de Bruxelles, Bruxelles.

Pişkin, M. B. (2006). *Yarı iletken alaşımlarının elektrik, termoelektrik, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin incelenmesi ve sanayi uygulamaları*. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Planetatlalplan (b.t.). 18 Ocak 2009, <http://planetatlalpan.mx/conocetlalpan/patrimonio-historico-y-cultural/hospital-general-dr-manuel-gea-gonzalez>

Pockels effect (b.t.). 14 Şubat 2019, https://en.wikipedia.org/wiki/Pockels_effect

Radyometre (b.t.). 14 Şubat 2019, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Radyometre>

Raskin, K. (2017). *Architecture bio-inspirée:vers la conception d'habitats régénératifs*. 5 Temmuz 2017, <http://anabf.org/pierredangle/magazine/europe-et-international/architecture-bio-inspiree-vers-la-conception-dhabitats-r-g-n-ratifs>

Redbull (2012). *Biyoelektrik*. 14 Nisan 2012, <https://www.frmtr.com/b/4538409-biyoelektrik.html>

Ritter, A. (2007). *Smart materials in architecture, interior architecture and design*. Berlin: Birkhauser.

Roberts, S. ve Guariento, N. (2009). *Building integrated photovoltaics: a handbook*. içinde (69-85). Berlin: Birkhauser.

Sarı, H. (2008). *Optoelektronik ders notları*. Ankara: Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fizik Mühendisliği Bölümü.

Sevgi, H. E. (2009). *Piezoelektrik yamalı katmanlı kompozit bir kirişin titreşim analizi ve kontrolü*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Sharma, M. C. (2014). *Control system for seismic protection of structures-seminar*. 7 Mart 2014, <https://civildigital.com/control-systems-seismic-protection-structures-seminar/>

Sonnenfanger (2006). 14 Şubat 2019, https://www.schwarz-architekten.com/downloads/alterswohnen/0607_AIT.pdf

Spencer Jr., B. F. ve Nagarajaiah, S. (2003). State of the art of structural control. *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 129 (7), 845-856.

Spintronik (b.t.). 14 Şubat 2019, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Spintronik>

Splitterwerk (2014). *World's first algae powered building by Splitterwerk*. 8 Ağustos 2014, <http://www.designboom.com/art/worlds-first-algae-powered-building-by-splitterwerk/>

Sto-sea (2016). 14 Ocak 2016, https://www.sto-sea.com/media/documents/download_broschuere/kategorie_fassade/StoColor_lotusan.pdf

Suckerpunch (2013). 7 Şubat 2013, <http://www.suckerpunchdaily.com/2013/02/07/or2/>

Sullivan, C. C. (2007). *Chanel Ginza, Tokyo*. 27 Haziran 2007, https://www.architectmagazine.com/technology/lighting/chanel-ginza-tokyo_o

Suntuitive dynamic IGU project: NDIS headquarters, Geelong. (2019). 28 Mayıs 2019, <https://www.glassonweb.com/news/suntuitiver-dynamic-igu-project-ndis-headquarters-geelong>

Süperiletkenlik tarihi (b.t.). 14 Şubat 2019, https://tr.wikipedia.org/wiki/Süperiletkenlik_tarihi

Swisstech convention center. (b.t.). 14 Şubat 2019, https://hrs.ch/en/projects/swisstech-convention-center?__lang=true

Swisstech convention center shows off multicolored solar panels. (2013). 7 Kasım 2013, <https://solarfeeds.com/swisstech-convention-center-shows-multicolored-solar-panels/#respond>

Tan, P., Liu, Y., Zhou, F. L. ve Teng, J. (2012). Hybrid mass dampers for Canton tower. *CTBUH Journal*, 1, 24-29.

Tarlacı, S. (2013). *Fotokimyasal Tepkimeler*. 19 Şubat 2013, <https://KuantumBeyin.com>

The globe of science and innovation, CERN. (b.t.). 14 Şubat 2019, <https://www.smartglassinternational.com/projects/the-globe-of-science-and-innovation/>

Utkutuğ, G. (2002). Yeşil Mimarlık. *TUBİTAK Bilim ve Teknik, Yeni Ufuklara Dergisi* 'Mimarlık' Sayısı, 23, 6-7.

Uzun, E. ve Yarar, Y. Y. (2011). Modelling of thermoluminescence trap energy levels Seydişehir alumuna. *Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 27, 25-34.

Uzun, M. (2009). Negatif poisson oranına sahip (auxetic) malzemeler ve uygulama alanları. *The Journal of Textiles and Engineer*, 17 (77), 13-18.

Vectorfoiltec. (b.t.). 14 Şubat 2019, <https://www.archiexpo.com/prod/vector-foiltec/product-68767-1911832.html>

Veronda, D. R. ve Westmann, R. A. (1970). Mechanical characterisation of skin finite deformations. *Journal of Biomechanics*, 13, 11-124.

Wan, H. P. ve Ni, Y. Q. (2018). Bayesian modeling approach for forecast of structural stress response using structural health monitoring data. *Journal of Structural Engineering*, 9 (144), 1-12.

Williams, J. L. ve Lewis, J. L. (1982). Properties of an anisotropic model of cancellous bone from the proximal tibial epiphysis. *Journal of Biomechanical Engineering*, 1 (04), 50-56.

World's largest solar powered stadium. (2009). 14 Mayıs 2009, <https://www.energymatters.com.au/renewable-news/em440/>

Yavaş, A. (2016). *Fotokatalizör ve uygulama alanları*. 04 Temmuz 2016, <https://silo.tips/download/fotokatalizör-ve-uygulama-alanlari>

Yazıcı, E. Y., Alp, İ., Kaygusuz, A., Kolaylı, H. ve Vieil, M. (2003). Piezoelectric technology and study of evaluation of east Karadeniz region quartz deposits. *Industrial Minerals and Building Stones (IMBS)*, Eylül 15-18, İstanbul, 775-781.

Zağpus, S. (2002). *Development of intelligent buildings and their impacts on architecture in Turkey*. Yüksek Lisans Tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir.

Zanelli, A., Monticelli, C., Beccarelli, P. ve Hend, M.I., (2011). Experimental manufacture of a pneumatic cushion made of ETFE foils and OPV cells. In *Textiles Composites and Inflatable Structures V: Proceedings of the V International Conference on Textile Composites and Inflatable Structures, Barcelona, Spain. 5-7 October, 2011*, 271-282.

Zimmer, L. (2011). *Solar-powered piezoelectric sports stadium breaks ground in India*. 18 Mayıs 2011, <https://inhabitat.com/solar-powered-piezoelectric-sports-stadium-breaks-ground-in-india/>

Zimmer, L. (2013). *Mexico City's Manuel Gea Gonzalez hospital has an ornate double skin that filters air pollution*. 26 Mart 2013, <https://inhabitat.com/mexico-citys-manuel-gea-gonzalez-hospital-has-an-ornate-double-skin-that-filters-air-pollution/>

EKLER

EK 1: KISALTMALAR

AI	Artificial Intelligent	Yapay Zeka
BIPV	Building Integrated Photovoltaics	Binaya Entegre Fotovoltaik
BIQ	Bio Intelligent Quotient	Akıllı Yaşam Bölümü
CBC	Carbon Bio Converter	Karbon Biyo Dönüştürücü
EAPs	Electroactive polymers	Elektroaktif polimerler
ECD	Electrochromic devices	Elektrokromik cihazlar
EIBG	European Intelligent Building Group	Avrupa Akıllı Bina Grubu
ETFE	Ethylene tetrafluoroethylene	Etilen tetra floretilen
GMOs	Genetically Modified Organisms	Genetiği Değiştirilmiş Organizmalar
IBA	International Building Exhibition	Uluslar arası Bina Fuarı
IBI	U.S. Intelligent Building Institute	Amerikan Akıllı Bina Enstitüsü
LCD	Liquid crystal devices	Sıvı kristal cihazlar
LECs	Light emitting electrochemical cells	Işık Yayan Elektrokimyasal hücreler
LED	Light emitting diode	Işık yayan diyot
MEMs	Micro electro mechanical systems	Mikro elektromekanik sistemler
OSL	Optically Stimulated Luminescence	Uyarlanmış Optik Işıldama
PCM	Phase Change Materials	Faz Değiştiren Malzemeler
PZT	Lead zirconate titanate	Kurşun zirkonat titanat
SM	Shape Memory	Şekil Bellek
Soft PV	Soft organic photovoltaic cells	Esnek fotovoltaik hücreler
SPD	Suspended particle devices	Asılı parçacık cihazları
Synbio	Synthetic biology	Sentetik Biyoloji
UV	Ultraviolet	Mor ötesi
WAF	World Architecture Festival	Dünya Mimarlık Festivali