

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**UYARLANABİLİR CEPHE SİSTEMLERİNDE GÜNCEL YAKLAŞIMLAR VE AKILLI
MALZEMELERİN KULLANIMI**

ÖZGE ERGİN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI
YAPI PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. ZEHRA CANAN GİRĞİN**

İSTANBUL, 2019

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**UYARLANABİLİR CEPHE SİSTEMLERİNDE GÜNCEL YAKLAŞIMLAR VE AKILLI
MALZEMELERİN KULLANIMI**

Özge ERGİN tarafından hazırlanan tez çalışması 21.10.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Zehra Canan GİRGİN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Zehra Canan GİRGİN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Çiğdem POLATOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ayfer Aytuğ
Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi

ÖNSÖZ

Danışmanım Prof.Dr. Zehra Canan GİRGIN sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Uyarlanabilir Cephe Sistemlerinde Güncel Yaklaşımlar ve Akıllı Malzemelerin Kullanımı başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Tez çalışmam süresince bana olan inancı ile her daim destek olan, araştırma ve çalışmalarımında her zaman yol gösteren değerli tez danışmanım Prof. Dr. Zehra Canan Girgin'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca beni hep destekleyen, maddi ve manevi olarak hep yanımda olan çok değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ekim, 2019

Özge ERGİN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	v
SİMGE LİSTESİ	viii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiv
ÖZET	xv
ABSTRACT	xvii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	2
BÖLÜM 2	
UYARLANABİLİR MİMARİ VE CEPHE SİSTEMLERİNE GENEL BAKIŞ	3
2.1 Uyarlanabilir Mimari ve Cephe Tanımı	3
2.2 Uyarlanabilir Cephe Gelişimi ve İlerleyişi.....	5
2.3 Uyarlanabilir Cephe Sistemleri İşleyişi ve Sınıflandırma Yöntemleri	12
2.4 Uyarlanabilir Cephe Sistemlerine Etki Eden Etmenler.....	17
BÖLÜM 3	
UYARLANABİLİR CEPHE ÇEŞİTLERİ VE AKILLI MALZEME İLİŞKİSİ.....	21
3.1 Uyarlanabilir Cephe Çeşitleri	21

3.1.1	Aktif Cephe	22
3.1.2	Gelişmiş Cephe	23
3.1.3	Biyomimetik veya Biyo İlham Cephe	24
3.1.4	Kinetik Cephe	25
3.1.5	Akılcı (Intelligent) Cephe	27
3.1.6	Etkileşimli (İnteraktif) Cephe	28
3.1.7	Akıllı (Smart) Cephe	29
3.1.8	Duyarlı Cephe	30
3.1.9	Değiştirilebilir Cephe	31
3.1.10	Dönüştürülebilir Cephe	32
3.2	Uyarlanabilir Cephe Sistemlerinde Akıllı Malzeme.....	36
3.2.1	Akıllı Malzeme Tanımı ve Sistemleri.....	36
3.2.2	Akıllı Malzeme ve Uyarlanabilir Cephe Elemanları.....	42

BÖLÜM 4

AKILLI MALZEMELER VE UYARLANABİLİR CEPHELERDE GÜNCEL UYGULAMALARI		44
4.1	Adezyon Değiştiren Malzemeler (ADM)	44
4.1.1	TiO ₂ Katkılı Akıllı Malzemeler.....	46
4.2	Renk ve Optik Değiştiren Malzemeler (RODM)	55
4.2.1	Foto Kromatik Malzemeler	55
4.2.2	Termo Kromatik Malzemeler.....	59
4.2.3	Elektro Kromatik Malzemeler	61
4.3	Elektrik Üreten Malzemeler (EÜM).....	65
4.3.1	Piezoelektrik Malzemeler	65
4.3.2	Fotovoltaik (PV) Teknoloji	70
4.3.3	Organik Fotovoltaik (OPV) Sistem	75
4.4	Faz Değiştiren Malzemeler (FDM)	79
4.5	Işık Yayan Malzemeler (IYM).....	89
4.5.1	LED	90
4.5.2	OLED	94
4.5.3	OLED- OPV	96
4.6	Madde Alışverişi Yapan Malzemeler (MAYM)	99
4.6.1	Aerogeller	99
4.6.2	Hidrojel	102
4.6.3	Algler.....	104
4.7	Şekil Değiştiren Malzemeler (ŞDM)	109
4.7.1	Termobimetal malzemeler	109
4.7.2	Şekil Hafızalı Polimerler (ŞHP)	117
4.7.3	Şekil Hafızalı Alaşımlar (ŞHA).....	122

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER	133
KAYNAKLAR.....	136

EK-A

BİMETAL MALZEME TEMEL DİZAYN FORMÜLLERİ	154
ÖZGEÇMİŞ.....	155



SİMGE LİSTESİ

A	Açısal Sapma Derecesi
a	Spesifik Isıl Sapma
Ag	Gümüş
B	Boyut
Cu	Bakır
D	Milimetrik Sapma
E	Elastisite (Young) Modülü
e	Elektron
Fe	Demir
Fm	Mekanik Kuvvet
Ft	Isıl Kuvvet
kj	KiloJoule
L	Aktif Uzunluk
Mn	Manganez
NO _x	Nitrojen Oksit
Ni	Nikel
nm	Nanometre
t	Kalınlık
ΔT	Sıcaklık Değişimi
TiO ₂	Titanyum Dioksit
w	Genişlik

KISALTMA LİSTESİ

ADM	Adezyon Değiştiren Malzemeler
BIPV	Bina Entegre Fotovoltaik Sistem
CABS	İklim Uyarlamalı Cephe
ETFE	Ethyl-Tetra-Flouro-Ethylene
EÜM	Elektrik Üreten Malzemeler
FDM	Faz Değiştiren Malzemeler
IAQ	İç Mekân Hava Kalitesi
IYM	Işık Yayan Malzemeler
LED	Light Emitting Diode
MAYM	Madde Alışverişi Yapan Malzemeler
OLED	Organik LED
OPV	Organik Fotovoltaik
PTFE	Poli-Tetra-Flouro-Etilen
PV	Fotovoltaik
PVC	Polivinil klorür
RODM	Renk ve Optik Değiştiren Malzemeler
şDM	şekil Değiştiren Malzemeler
şHA	şekil Hafızalı Alaşımlar
şHP	şekil Hafızalı Polimerler
UV	Ultraviyole

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1	Cephe uyarlanabilir özellik süreci..... 4
Şekil 2. 2	Coliseum arena çatısı (a), Thomas Jefferson'un icat ettiği cihaz (b)..... 6
Şekil 2. 3	Orta çağ kalesinde asma köprü taslak çizimi (a), Rocca Gradara giriş kapısı ve asma köprü görünümü (b)..... 6
Şekil 2. 4	Leonardo da Vinci baskül köprü taslak çizimi 7
Şekil 2. 5	La Sainte Chapel cephesi (a), King's Collage Chapel cephesi (b) 7
Şekil 2. 6	Hardwick Hall cephesi 8
Şekil 2. 7	Crystal Palace cephesi (a), Palm House cephesi (b) 9
Şekil 2. 8	Reliance Building cephesi (a), Steiff Toy Factory cephesi (b)..... 10
Şekil 2. 9	Maison du Peuple cephesi (a), Maison Tropicale cephesi (b)..... 10
Şekil 2. 10	Buckminster Fuller tarafından tasarlanan çelik jeodezik kubbe 11
Şekil 2. 11	Uyarlanabilir cephe gelişmeleri zaman çizelgesi ve bağlamsal etkenler 12
Şekil 2. 12	Konut tipine göre dağılım (a), konut dışı dağılım (b)..... 18
Şekil 2. 13	Pencere tipine göre dağılım (a), duvar tipine göre dağılım (b) 19
Şekil 3. 1	Children's Museum, Pittsburgh PA., cephesi 22
Şekil 3. 2	MEDYA-TIC binası cephesi..... 23
Şekil 3. 3	Kiefer Technic Showroom cephesi 23
Şekil 3. 4	Breathing Skins cephesi..... 24
Şekil 3. 5	Campus Kolding cephesi..... 25
Şekil 3. 6	Al Bahar Towers cephesi 26
Şekil 3. 7	RMIT Design Hub cephesi..... 28
Şekil 3. 8	Eskenazi Hospital Parking Structure cephesi 29
Şekil 3. 9	The University of Cincinnati cephesi..... 30
Şekil 3. 10	Monde Arabe binası cephesi..... 31
Şekil 3. 11	Festo "Automation Center" cephesi 31
Şekil 3. 12	Shape shifting, Sharifi'Ha House cephesi..... 32
Şekil 3. 13	Akıllı malzeme sistemleri için bir sınıflandırma önerisi 39
Şekil 3. 14	Akıllı malzeme sistemleri çalışma prensibi için sınıflandırma önerisi 40
Şekil 4. 1	Titanyum dioksit (TiO ₂)..... 46
Şekil 4. 2	Titanyum dioksit UV ışığı altında foto katalitik aktivite göstergesi..... 46
Şekil 4. 3	Su parçacıklarının katı yüzeyde oluşturduğu açılar 47
Şekil 4. 4	Titanyum dioksit foto katalizinde ana faaliyet alanları 47
Şekil 4. 5	TiO ₂ içerikli PVC ve PTFE membran tabakaları..... 49
Şekil 4. 6	TiO ₂ içeren, PVC kaplı kumaşın kendini temizleme işlemi 49

Şekil 4. 7	NO _x azaltma işlemi koruyucu adesiv tabaka	50
Şekil 4. 8	Kral Fahd National Library cephesi (a), cephe tasarımı işlev detayı (b) ..	51
Şekil 4. 9	TiO ₂ katkılı beton, Manuel Gea Gonzalez Hastanesi cephesi.....	51
Şekil 4. 10	TiO ₂ katkılı beton, The Milan Expo cephesi.....	52
Şekil 4. 11	TiO ₂ alüminyum panel, Bertram ve Judith Kohl cephesi	52
Şekil 4. 12	TiO ₂ katkılı hidrojel prototipi ve kesit detayı.....	53
Şekil 4. 13	Foto Kromatik film kaplı cam değişimi	56
Şekil 4. 14	Prairiefire Müzesi cephesi	57
Şekil 4. 15	Foto Kromatik pigment renk değişimi.....	57
Şekil 4. 16	Chromatic Skins, iç mekân gölge açıları (a), proje ön modeli (b)	58
Şekil 4. 17	Chromatic Skins, cephe yüzeyi tasarım aşaması ve detayları.....	58
Şekil 4. 18	Sıcaklık 68 °C olduğunda yarı iletken VO ₂ 'nin moleküler yapısı.....	59
Şekil 4. 19	Termo kromatik duyarlı cephe ön modeli.....	60
Şekil 4. 20	Pneumatic Cephe görünüşü (a), silikon adapte modülleri (b)	61
Şekil 4. 21	Prototipe sıcaklık uygulandığındaki renk değişimi	61
Şekil 4. 22	Elektro kromatik cam katmanları ve çalışma şekli	62
Şekil 4. 23	Dirty Habit Restoranı cephesi.....	62
Şekil 4. 24	Piezoelektrik akıllı malzeme davranışı	65
Şekil 4. 25	Su Filtrasyonu için Piezoelektrik Membranlar	66
Şekil 4. 26	Bionic Breathing Skin modeli (a), model kesit detayı (b)	66
Şekil 4. 27	Strawscaper Stockholm gökdeleni 3B görseli.....	67
Şekil 4. 28	Fuzz.Box konut binası 3B görseli	68
Şekil 4. 29	Fotovoltaik teknolojili akıllı malzeme davranışı	70
Şekil 4. 30	Güneş panel çeşitleri; tek kristalli (a), çok kristalli (b), ince film (c).....	71
Şekil 4. 31	BIPV sistem elemanları.....	72
Şekil 4. 32	Adaptive Solar cephesi	73
Şekil 4. 33	Adaptive Solar cephe modül elemanları	73
Şekil 4. 34	Blinking Sail Solar cephesi görseli (a), cephe modül hareketi (b)	74
Şekil 4. 35	Amorf silikon (a-Si) PV film ve lamine edilmiş esnek ETFE folyosu.....	74
Şekil 4. 36	ETFE membran folyo yapılarda esnek PV entegrasyonu	75
Şekil 4. 37	U.S. Embassy cephesi, ETFE üzerine PV entegrasyonu	75
Şekil 4. 38	Tek katmanlı organik fotovoltaik hücre (a), normalize enerji performansı karşılaştırması (b)	76
Şekil 4. 39	MERCK KgaA binası güneydoğu cephesi	76
Şekil 4. 40	Arka tarafa yapıştırılmış OPV modülleri ve bağlantıları	77
Şekil 4. 41	Farklı sıcaklıklarda malzemelerin faz durumları.....	79
Şekil 4. 42	FDM nin cephede görsel davranışı, sıvı-şeffaf (a), donma (b), katı- opak (c), GlassXcrystal tuz hidrat	80
Şekil 4. 43	FDM ilk durum, parafin mumu (a), stearik asit (b), hidroksit (c)	81
Şekil 4. 44	FDM kullanılan bina duvarı ısı akışı ve zaman çizelgesi	82
Şekil 4. 45	FDM 'nin (KJ/KG) ısı kapasitesi ve hacim yönü ile karşılaştırılması	83
Şekil 4. 46	Senior Residence cephesi.....	84
Şekil 4. 47	Senior Residence cephe sistemi.....	84
Şekil 4. 48	ACTRESS modül katman detayları.....	85
Şekil 4. 49	The broader joint prototip görseli, sıvı hal (a), katı hal (b)	86
Şekil 4. 50	Paranel ısı duyarlı cam prototip görseli	86

Şekil 4. 51	Paranel ısı duyarlı cam sistemi prototip görseli	87
Şekil 4. 52	LED çalışma prensibi.....	90
Şekil 4. 53	LED görseli, pil (a), şerit (b)	91
Şekil 4. 54	Chanel Ginza Medya cephesi	92
Şekil 4. 55	GreenPix Zero Energy Medya Duvarı cephesi.....	93
Şekil 4. 56	GreenPix Zero Energy Medya Duvarı LED-PV cephe detayı.....	93
Şekil 4. 57	OLED katmanları.....	94
Şekil 4. 58	Aliasing OLED Türbin 3B görseli	95
Şekil 4. 59	Aliasing OLED Türbin çalışma prensibi	95
Şekil 4. 60	OLED- OPV çalışma prensibi ve katmanları.....	96
Şekil 4. 61	The Land cephesi (OLED- OPV).....	97
Şekil 4. 62	Madde alışverişi yapan akıllı malzeme çalışma şekli.....	99
Şekil 4. 63	Aerojel görseli	99
Şekil 4. 64	ICE House TM cephesi	100
Şekil 4. 65	Yarı saydam Aerojel dolu ETFE panelleri kesidi.....	100
Şekil 4. 66	Çift robot sistemi.....	101
Şekil 4. 67	DFAB Empa Evi cephesi	101
Şekil 4. 68	X/O Skeleton Dizayn Konsepti (a), ETFE- aerojel sistem detayı (b).....	102
Şekil 4. 69	Hidrojel görseli	102
Şekil 4. 70	Hydroceramic SKİN cephesi ve katman detayı.....	103
Şekil 4. 71	Monarch Sanctuary cephesi.....	104
Şekil 4. 72	Alglerin doğal görünümü.....	104
Şekil 4. 73	SymbIO2 Biyo cephesi	105
Şekil 4. 74	Urban Algae Canopy prototipi	105
Şekil 4. 75	the BIQ evi (a), Solar leaf panelleri (b)	106
Şekil 4. 76	Konsol şerit bimetaller (a), perçinlenmiş bimetaller (b), döngü (c).....	110
Şekil 4. 77	Bimetal tabanlı ısı motoru, düşük durum (a), üst durum (b).....	110
Şekil 4. 78	Bimetal haç kolları hasır örgüsünün farklı sıcaklık davranışı.....	111
Şekil 4. 79	Armoured Corset prototip görseli.....	112
Şekil 4. 80	Glass Panel Shutter cephe yüzey görseli.....	113
Şekil 4. 81	Glass Panel Shutter System sıcaklık ile cephe yüzeyi desen değişimi... 113	113
Şekil 4. 82	Blink projesi 3B görselleştirmesi	114
Şekil 4. 83	Blink projesi bimetal şerit örgü detayı 3B görselleştirmesi.....	114
Şekil 4. 84	Bloom projesi yerleşim fotoğrafı.....	115
Şekil 4. 85	Bloom güneş enerjisi analizi çalışması	115
Şekil 4. 86	Elektro aktif polimer (EAPs)	117
Şekil 4. 87	Homeostatik cephe gölgeleme sistemi çalışma prensibi	118
Şekil 4. 88	Shape Shift prototipi	119
Şekil 4. 89	Response_able 2.0 prototip görseli	120
Şekil 4. 90	Response_able 2.0 üçgen panel çalışma prensibi.....	120
Şekil 4. 91	Response_able 2.0 prototip çalışma prensibi	121
Şekil 4. 92	Faz Dönüşümü, süper elastikiyet ve şekil hafızası etkisi (a), Şekil Hafıza alaşimleri hareket türleri (b), Gerilme ve şekil değişimi grafiği (c)	123
Şekil 4. 93	ŞHA, çalışma sıcaklığı ve uygulama alanı ilişkisi	124
Şekil 4. 94	ŞHA Isıtma yöntemleri.....	125
Şekil 4. 95	PixelSkin02 elektrografik cephe görüntüsü	125

Şekil 4. 96	Çoklu kontrol (a), sıcaklık farkı etkisi (b), prototip (c).....	126
Şekil 4. 97	The Air Flower, sıcaklık ile panelin açılması deneyi	126
Şekil 4. 98	TUB modül, yüzey prototipleri ve tasarım aşaması	127
Şekil 4. 99	Hareket hızı, derecesi ve yüzeyin rijitliği ile şeffaflığındaki değişimler.	128
Şekil 4. 100	Hafif duyarlı cephe prototipinin çalışma biçimi	128
Şekil 4. 101	Smart Screen sisteminde, ŞHA, sıcaklık değişimi ve sınırlayıcılar	129
Şekil 4. 102	SELF Adaptive Membrane çalışma prensibi	130



ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1	Uyarlanabilir cephe uyumuna göre sınıflandırma önerisi..... 14
Çizelge 2. 2	Kontrol bazlı uyarlanabilir cephe sınıflandırma önerisi 15
Çizelge 2. 3	Hareket bazlı uyarlanabilir cephe sınıflandırma önerisi..... 16
Çizelge 2. 4	Uyarlanabilir cephe etkenleri ve kullanıcı konforuna göre rolü 18
Çizelge 2. 5	Batı cephesi için uyarlama seviyesi 19
Çizelge 3. 1	Kinetik hareket çeşitleri ve uyarlanabilir elemanları 26
Çizelge 3. 2	Mevcut uyarlanabilir cephe sistemleri..... 34
Çizelge 3. 3	Akıllı malzeme sınıflandırma önerileri karşılaştırması 41
Çizelge 3. 4	Cephe bileşenlerinde akıllı malzemelerin kullanım şekli 43
Çizelge 4. 1	ADM uygulanan uyarlanabilir cephe sistemleri 54
Çizelge 4. 2	RODM uygulanan uyarlanabilir cephe sistemleri..... 64
Çizelge 4. 3	EÜM uygulanan uyarlanabilir cephe sistemleri, (Piezoelektrik) 69
Çizelge 4. 4	EÜM uygulanan uyarlanabilir cephe sistemleri, (PV & OPV) 78
Çizelge 4. 5	FDM avantajları ve sınırlamaları 81
Çizelge 4. 6	Genel Katı-Sıvı FDM karakteristikleri..... 82
Çizelge 4. 7	FDM uygulanan uyarlanabilir cephe sistemleri..... 88
Çizelge 4. 8	LED kullanımı değerlendirmesi..... 91
Çizelge 4. 9	IYM uygulanan uyarlanabilir cephe sistemleri (LED)..... 98
Çizelge 4. 10	İnorganik MAYM uygulanan uyarlanabilir cephe sistemleri 107
Çizelge 4. 11	Organik MAYM uygulanan uyarlanabilir cephe sistemleri..... 108
Çizelge 4. 12	Güç dönüştürücü üretiminde bimetal şerit özellikleri 111
Çizelge 4. 13	Termobimetal ŞDM uygulanan uyarlanabilir cephe sistemleri..... 116
Çizelge 4. 14	Şekil Hafızalı Polimer uygulanan uyarlanabilir cephe sistemleri..... 122
Çizelge 4. 15	Nitinol Telin Teknik Özellikleri..... 124
Çizelge 4. 16	Şekil Hafızalı Alaşım uygulanan uyarlanabilir cephe sistemleri 131
Çizelge A. 1	Bimetal malzeme temel dizayn formülleri 154

UYARLANABİLİR CEPHE SİSTEMLERİNDE GÜNCEL YAKLAŞIMLAR VE AKILLI MALZEMELERİN KULLANIMI

Özge ERGİN

Mimarlık Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Zehra Canan GİRĞİN

Günümüzde; küresel ısınmanın ve fosil yakıt kullanımının azaltılması, enerjinin etkin kullanımı gibi zorlu hedefler; sürdürülebilir mimarinin her geçen gün farklı alternatifler aramasına yol açmıştır. Binalarda çevresel korunma kalkanı olarak görünen cepheler; enerjinin verimli kullanımı açısından, çevre koşullarına uyum sağlayabilen, uyarlanabilir bina cephe sistemlerinin geliştirilmesi konusunda gittikçe önem kazanmaktadır. Geçmiş birikimi çok da fazla olmayan bu binalar ve uyarlanabilir cephe sistemleri yakın gelecekte anahtar rol oynayabilecektir.

Günümüzde; uyarlanabilir sistemler, malzemeleri ve teknolojileri halen araştırma aşamasındadır. Tez kapsamında uyarlanabilir cephe sistemlerinin literatürde farklı tanımları yapılmıştır. Uyarlanabilir cephe sistemleri; uyarlama amacı, fonksiyonu, işleyişi, sistem elemanları, cevap süresi, hareketin boyutsal ölçeği, kontrolü gibi farklı sınıflandırmalar altında irdelenmiş; uygulama kararına neden olan etkenler, tasarım aşaması ve kullanılan yöntemler incelenmiştir.

Uyarlanabilir terimi için güncel literatürde; akıllı, etkileşimli, kinetik, duyarlı gibi çeşitli alternatifler kullanılmıştır. Literatürde önerilen sınıflandırma yöntemlerinden yola çıkarak oluşturulan matriste tanımlanan alternatif terimlerin ortak noktasının "uyarlanabilir" olduğu görülmüştür.

Uyarlanabilir cephe sistemlerinde sıklıkla kullanılan akıllı malzemelerin davranış prensiplerine göre; adezyon değiştiren, renk ve optik değiştiren, elektrik üreten, faz değiştiren, ışık yayan, madde alışverişi yapan ve şekil değiştiren akıllı malzemeler ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Güncel uyarlanabilir cephe örnekleri ve prototip uygulamaları birleştirilerek, matris formunda incelenmiştir. Aynı başlıklar altında incelenen akıllı malzemelerin, uyarlanabilir cephe sistemlerinde farklı kullanım olanaklarına hizmet edebildiği görülmüştür.

Çalışma kapsamında uyarlanabilir cephe sistemlerinde güncel yaklaşımlar ve akıllı malzemelerin kullanımının; mimarlar, mühendisler ve tasarımcılara detaylı bir anlatım şeklinde sunulması amaçlanmıştır.

Çalışmanın Birinci Bölümünde; çalışmanın amaç ve kapsamı belirtirmiştir.

İkinci Bölümde; uyarlanabilir mimariye genel bir bakış sunularak cepheye doğru gelişim, ilerleyiş ve tarihçesi aktarılmıştır. Güncel etkenler ve araştırmacıların önerdiği sınıflandırma çeşitleri incelenmiştir.

Üçüncü Bölümde; mevcut uyarlanabilir sistemler tanımlanarak örneklendirilmiştir. Güncel akıllı malzemeler tanımlanarak sınıflandırma aşamaları ele alınmıştır. Uyarlanabilir cephe sistemleri ile olan ilişkileri ve genel kullanım alanları incelenmiştir.

Dördüncü Bölümde; uyarlanabilir cephe sistemlerinde kullanılan mevcut akıllı malzeme çeşitleri ve uygulama örnekleri çok kapsamlı bir biçimde sunulmuştur.

Beşinci Bölümde; çalışmada incelenen konular ve örneklendirmelerden alınan sonuçlar açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Uyarlanabilir, cephe, akıllı, malzeme, sistem

**CURRENT APPROACHES IN ADAPTIVE FAÇADE SYSTEMS AND USAGE OF
SMART MATERIALS**

Özge ERGİN

Department of Architecture

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Zehra Canan GİRGIN

Today; challenging goals with the aim to reduce the global warming and fossil fuel use, lead to architecture to achieve the sustainable energy alternatives day by day. Façades appearing as environmental protection shields in buildings is becoming increasingly important to develop adaptive building façade systems for environmental conditions to use energy efficiently. These buildings and adaptive façade systems may play a key role in the near future.

Today; adaptable systems, materials and technologies are currently under investigation. Different definitions of adaptive façade systems have been made in the literature. Adaptive façade systems have been examined under different classifications such as that the factors causing the decision of implementation, the design stage and the methods, the purpose of adaptation, function, functioning, system elements, response time, dimensional scale of motion control.

In the current literature; various terminologies, e.g. intelligent, interactive, kinetic, sensitive have been used for the term of adaptive. The common point of the alternative terms is to be "adaptable" according to the classification methods proposed in the current literature.

In adaptive façade systems, the basic principles of smart materials (e.g. adhesion changing, colour and optically changing, electricity generating, phase changing, light

emitting, matter exchanging and shape changing materials) are explained in detail. Current adaptive facade samples and prototype applications were combined and examined in matrix form. Smart materials under the same headings can serve different usage possibilities in adaptive façade systems. Current adaptive facade samples and prototype applications were combined and examined in matrix form.

The aim of this Thesis is to investigate the current approaches in adaptive façade systems and usage of smart materials; and to provide a presentation to architects, engineers and designers in detail.

In the First Chapter of the study; the purpose and scope of the study are handled.

In the Second Chapter; an overview to adaptive architecture is presented and the progress and history of façade technology are explained. Current factors and the types of classification by the researchers are mentioned.

In the Third Chapter; existing adaptive systems are described and exemplified. Current smart materials are defined and classification stages are discussed. Their relationship with adaptive façade systems and their general application areas are examined.

In the Fourth Chapter; a wide range of smart materials and application examples are presented.

Fifth Chapter presents the results concluded from subjects examined in this study.

Keywords: Adaptive, façade, smart, material, system

1.1 Literatür Özeti

Bu araştırma genel olarak, uyarlanabilir cephe sistemlerinin, teknoloji ve akıllı malzeme gelişmeleri ile paralel şekilde ilerlemesini ele almıştır. Güncel uygulanmış ve geliştirme aşamasında olan uyarlanabilir cephe sistemleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Uyarlanabilir cephe sistemlerinde kullanılan mevcut akıllı malzeme çeşitleri ve uygulama örnekleri özellikle kapsamlı bir biçimde incelenmeye çalışılmıştır. Bu konuda yararlanılan bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir:

- Loonen ve arkadaşları (2015) "Design for façade adaptability: Towards a unified and systematic characterization" bildirisinde yer alan; uyarlanabilir bina cephesi uyumuna göre sınıflandırma önerisi şablonu, referans alınmıştır.
- Velasco ve arkadaşları (2015) "Computer-Aided Architectural Design Futures" makalesinde kontrol ve hareket bazlı uyarlanabilir cephe sınıflandırma önerileri üzerinde durulmuştur.
- Gosztonyi (2018) "The Role of Geometry for Adaptability: Comparison of Shading Systems and Biological Role Models" makalesinde kinetik cepheler için kullandığı sınıflandırma önerisinden esinlenilmiş ve çalışmayı destekleyen yeni matrisler oluşturulmuştur.
- Addington ve Schodek (2005) "Smart Materials and Technologies for the Architecture and Design Professions" kitabında yer alan mimari ve tasarımda kullanılan akıllı malzeme örnekleri ışığında araştırılmıştır.

- Ritter (2007) "Smart materials in architecture, interior architecture and design" kitabında yer alan mimari ve tasarımda kullanılan akıllı malzeme örnekleri ışığında araştırılmış ve alt başlıklar ile detaylandırılmıştır.
- Omrany ve arkadaşları (2016) "Application of passive Wall systems for improving the energy efficiency in buildings: A comprehensive review" makalesinde yer alan akıllı malzemelerin uyarlanabilir cephelerde yer alan tasarım özelliklerinden faydalanarak yeni matrisler oluşturulmuştur.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmanın temel amacı, günümüzde hala araştırma aşamasında olan uyarlanabilir cephe sistemlerinin, daha detaylı bir şekilde anlaşılmasını sağlamaktır. Akıllı malzemeler, insanlık tarihini etkilediği gibi; yapı tarihi için de önemli dönüm noktalarından biridir. Teknolojik sistemlerin gelişmesi ise yapı cephesini önemli ölçüde etkilemektedir. Uyarlanabilir cephe sistemlerini etkileyen bu paralellikler incelenmiş ve bir araya getirilerek, sözkonusu cephe sistemlerinin bileşenleri daha net bir şekilde açıklanmaya çalışılmıştır.

1.3 Hipotez

Çevresel etkenler, iklim değişikliği ve küresel ısınma, yapı kullanıcıları için günümüzde oldukça farklı sorunlar oluşturmaktadır. Uyarlanabilir cephe sistemleri enerjinin etkin kullanımı ve kazanımı konusunda yakın gelecekte anahtar rol oynayacağı varsayılmaktadır. Bu varsayıma dayanarak, akıllı malzemeler ve uyarlanabilir cephe sistemlerinde ve kullanımı örnek yapı cepheleri üzerinden araştırılmıştır. Yapılan incelemelerden hareketle, sonuç olarak, varsayımın doğru olduğu düşünülmektedir.

UYARLANABİLİR MİMARİ VE CEPHE SİSTEMLERİNE GENEL BAKIŞ

2.1 Uyarlanabilir Mimari ve Cephe Tanımı

Uyarlanabilir (*Adaptive*) mimarinin literatürde farklı tanımları mevcuttur. İlk kez Frei Otto tarafından; şekil, konum, kullanım veya boyut değiştirebilen bir sistem olarak tanımlanmıştır. Konum değişikliği tanımı ile yapının; hareketi, taşınması, inşa edilmesi ve monte edilmesi kolay bir sistem olduğu ifade edilmiştir. Uyarlanabilir mimaride esas alınan hafif ilke (*Lightweight Principle*) kavramı, malzeme ve yapıli kitlenin uygun kullanımına göre tanımlanmıştır [1]. Günümüzde, doğal hammaddelerin tükenmesi sorunu nedeni ile malzemenin optimal kullanımını daha da önemli hale gelmektedir. De Marco Werner (2013); uyarlanabilir mimariyi, değişen sosyal işlevlere uyarak kolaylıkla değişebilecek veya değiştirilebilecek yapılar olarak tanımlamıştır [2]. Loonen (2013) ise, iç ve dış mekân arasındaki fiziksel ayırıcının, geçici performans gereklilikleri ve sınır koşullarına yanıt olarak; işlevlerini, özelliklerini veya davranışlarını değiştirebildiği sistemler olarak tarif etmiştir [3].

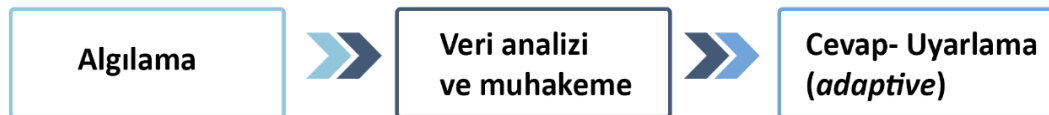
Mimari yapının uyarlanabilir olmasında en önemli katkıyı sağlayan yapı elemanlarından birisi cephelerdir. Burada, binanın genel performansının iyileştirilmesi amaçlanmakta ve var olan koşullara uyum sağlayarak enerjiden tasarruf edilmesi desteklenmektedir. Uyarlanabilir cephe ile; kullanıcının ihtiyaç ve tercihlerine derhal cevap verilerek, konfor seviyelerinin optimum düzeye çıkartılması amaçlanmaktadır. Uyarlama, bir sistemin zaman içerisinde fiziksel değerleri konusunda tasarım değişkenleri ve

sağlanması gereken ölçütler ile ilişkilendirilir; istenen işlevselliği sağlama yeteneği olarak da anlaşılabilir [4][5].

Literatürde, değişen iklim koşullarına uyum sağlayabilen binalar için kullanılan “akıllı” teriminin; cepheler de dikkate alındığında yanıtıcı olabileceği düşünülmüş, yerine “uyarlanabilir” terimi uygun bulunmuştur. Uyarlanabilir binalar; performanslarını, gerçek zamanlı olarak çevresel etkenlere ve değişkenlere uyarlayabilmektedir; böylece, statik binalara göre daha fazla enerji verimliliği ve kullanıcı konforu sunabilmektedir.

Cephelerin yanısıra İklim Uyumlu Bina Kabukları (CABS) için, ideal uyarlanabilir özellikler sözkonusudur. İç mekân konforunu en üst düzeye çıkartarak; ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma için; enerji kullanımını en aza indirmeye olanak sağladığı öngörülür. CABS’in, yakın gelecekte; neredeyse sıfır enerji tüketen ve enerji üreten binaların gerçekleşmesine olanak sağlayacağı tahmin edilmektedir [6][7][8].

Anlamsal çerçeveye göre uyarlanabilir cepheler; çevresel etkenlere göre, işlevsel gereksinimleri sağlamak veya iyileştirmek için, iç ve dış ortamdaki değişiklikleri (kuvvet, ses, esneklik vb) algılayarak, zaman içinde tekrar tekrar ve tersine yeterli tepki verebilmelidir (Şekil 2.1). Diğer bir deyiş ile; kontrol edilebilir yalıtım, ısı kütlesi, ısı değişimi, havalandırma, enerji hasadı, gün ışığı veya nem kontrolü sağlayabilmelidir [9].



Şekil 2. 1 Cephe uyarlanabilir özellik süreci [13]

Uyarlanabilir cephe, istenen performansı sağlamak için, insan cildine benzer bir davranış göstermektedir. Son yıllarda farklı coğrafi alanlarda inşa edilmiş uyarlanabilir cephe sistemleri, bina teknolojileri ile tamamlayıcı niteliğe ulaşır. Karmaşık bina-tesisat sisteminde önemli bir unsur haline gelerek, düzenleme ve kontrol sistemleri ile karakterize edilebilir. Bina performans anlayışı; binalara etki eden iklim, enerji, veri, kullanıcı gibi tüm etkenlerin statik ve sabit olmadığını, değişken ve geçici olduğunu kabul etmektedir. Bu durumda bina cephesi tasarım anlayışı, koruyucu bir kabuk olmaktan çıkarak farklı roller üstlenmektedir.

Bina cephesi, doğrudan güneş ve rüzgâra en çok maruz kalan yapı bileşenidir; enerji tasarrufu ve alternatif enerji üretiminde yenilikler için en etkili bölgedir. Bina cepheleri, iklim ve enerji optimizasyonuna uygun karmaşık malzeme çeşitleri ve montaj sistemleri ile giderek daha fazla geliştirilmektedir. Işık, hava, ses veya ısı iletiminin düzenlenmesi için; otomatik dinamik işlemler ve işlevleri destekleyen yenilikçi malzemeler kullanılmaktadır; ayrıca algılayıcı, aktivatör ve yapay zekâ donanımı ile desteklenmektedir. Zaman zaman geleneksel tesisat sistemlerinin işlevselliklerinin kısmen veya tamamen yerini almaktadır [10][11][12].

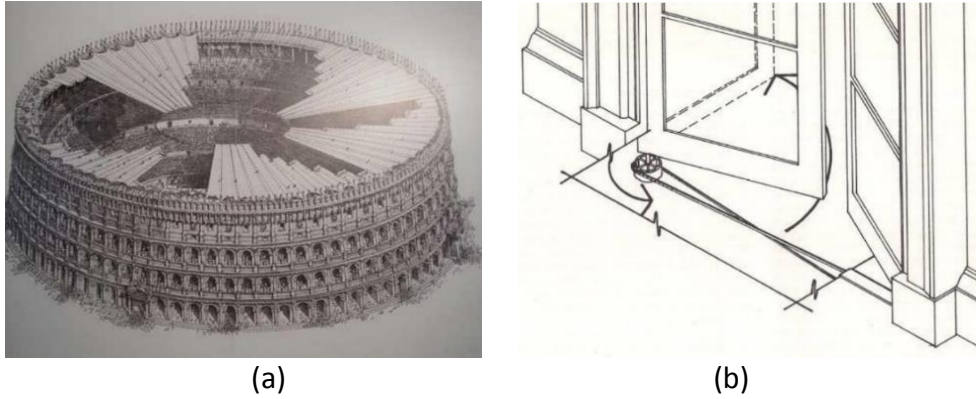
2.2 Uyarlanabilir Cephe Gelişimi ve İlerleyişi

İnsanlık ve kültür varlığından bu yana; inşaat endüstrisinin nihai amacı, insanları ve onların faaliyetlerini istenmeyen dış ortam koşullarından korumak ve kullanıcılar için konfor sağlamaktır. Bu amaca ulaşmak için, özellikle de cephe veya kabukta hem dış hem de iç koşulların değişmesi nedeni ile çeşitli değişkenler bulunmaktadır. Uyarlanabilir cephe tarihi yapılaşma süreci ise, insanlığın gelişimine paralel şekilde gelişim göstermiştir.

• Sanayi Devrimi Öncesi

İlk çağlardaki biyolojik evrime benzetme yoluyla, bazı istisnalar bulunmasına rağmen; mimari uyarlama, yüksek biyolojik veya teknolojik gelişmelere kıyasla düşüktür [14]. Uyarlama ve hareketlilik önce mimari olarak, mağara ya da kulübe açıklıklarını örten hareketli taş, kütük ya da deriler olarak görülmüştür. Tekerleğin icadı (M.Ö. 3000-2500) ile birçok mimari bileşende hareket ve uyarlama kabiliyeti artmıştır. Ahşap veya taş pivotlar ve deriden menteşeler kullanılmaya başlamıştır. Daha sonra, kapıları ve çalıştırılabilir pencereleri olan eski binalar ihtiyaç duyulan uyarlamayı desteklemiştir. İtalya'da (~M.S.70) denizciler tarafından yapılan *Coliseum Arena*, ilk kinetik geri çekilebilir çatıyı temsil etmektedir (Şekil 2.2, a). Sökülebilir halat ve kanvas çatı, oturma alanının etrafını kaplar [15]. Ayrıca aynı dönemde ahşap sürgülü kapı ve pencerelerin kanatları da geliştirilmiştir. Metal teknolojilerinin geliştirilmesi ile, demir ve pirinçten miller ve menteşeler kullanılmıştır. Metal kullanımı hem kapıların hem de pencere kepenklerinin verimliliğini arttırmaya yardımcı olmuştur. Ayrıca görünüşlerini daha iyi

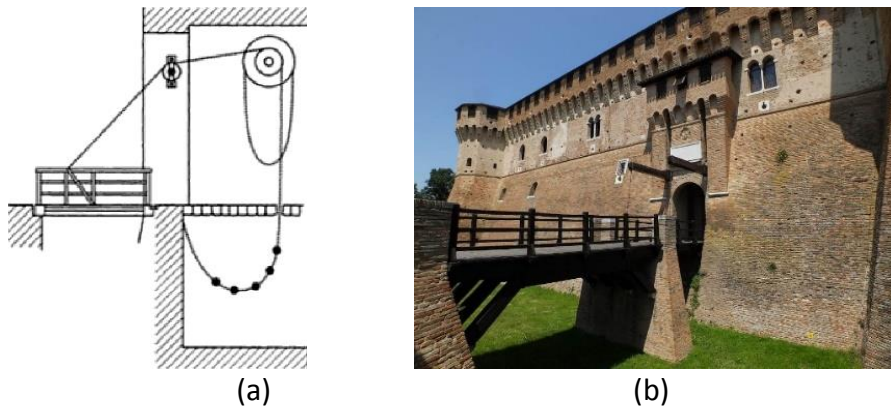
hale getirmiştir. 3. A.B.D. Başkanı Thomas Jefferson'ın evi için tasarladığı ilginç mekanizma buna bir örnektir. 1953'de incelendiğinde, cihazın her iki kapının aynı anda açıl-masını sağlamak için tasarlandığı görülmüştür (Şekil 2.2, b) [14].



Şekil 2. 2 (a) Coliseum arena çatısı [15], (b) Thomas Jefferson'un icat ettiği cihaz [14]

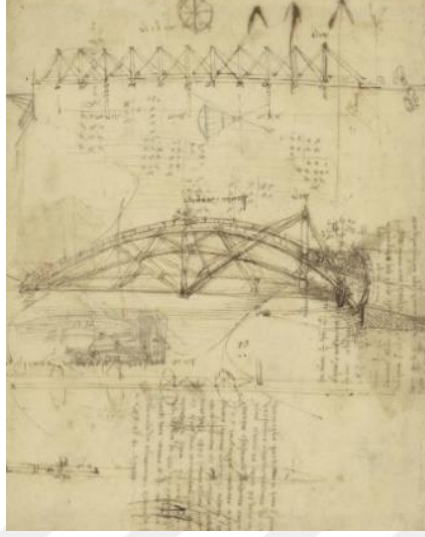
Yapılarda hareketli köprülerin kullanılmaya başlaması, Orta Çağ'dan öncedir. Bu tür yapıların Mısır'da M.Ö.14. yüzyılda kullanıldığına dair kanıtlar bulunmaktadır. Tarihçi Herodot'a göre, Babil Kraliçesi Nitocris, saldırılara karşı, Fırat nehrinin karşısına, geri çekilebilir köprü inşa etmiştir [16].

Hendekler üzerinde inşa edilen Orta Çağ kalelerinde, asma köprü yaygın olarak kullanılmıştır. İtalya'da bulunan *Rocca Gradara* kalesi bunlardan biridir (Şekil 2.3, b). Eski hareketli açıklıklar ve köprüler, su trafiğinin yanı sıra askeri amaçlar için de kullanılmıştır. Köprülerin hareket mekanizması, vinçler ve kaldıraçların desteklediği, bir ucuna yakın zincirlerin doğrudan çekilmesi esasına dayanır.



Şekil 2. 3 (a) Orta çağ kalesinde asma köprü taslak çizimi [16], (b) Rocca Gradara giriş kapısı ve asma köprü görünümü [14]

Baskül köprüler, 16. yüzyılda Leonardo da Vinci tarafından geliştirilmiştir. Köprü pivotunun karşı tarafında bulunan ağırlık nedeni ile; yükseltilmiş konumdan ani düşmelere karşı sağlanan kaldırma, daha kolay hale gelmiştir [14].



Şekil 2. 4 Leonardo da Vinci baskül köprü taslak çizimi [17]

İnsan varoluşunun başlangıcından bu yana; gelenekler inşa etmekte olan duvarlar üzerinde büyük açıklıklar yaratma niyeti, ilk önce gotik mimaride görülmüştür. Teknoloji geliştikçe, bina inşa yöntemi de katlarda gösterilen hareketten tüm yapıya doğru değişmektedir. Bu konuda çalışmış mimar tarihçilere göre, Paris'teki *La Sainte Chapel* ve İngiltere'deki *King's College Chapel*, bu tür cephelerin ilk örneklerini yansıtmaktadır (Şekil 2.5) [41].



(a)



(b)

Şekil 2. 5 (a) La Sainte Chapel cephesi [19], (b) King's Collage Chapel cephesi [18]

İngiltere'de 16.yüzyılda, özellikle konakların cephesi, geniş cam açıklıklar tasarımı kavramına girmiştir. Esnek ahşap menteşe bağlantıları, daha hafif malzemeleri daha

çok kullanma fırsatı vermiştir [20]. Bu teknik, topraklarını güvence altına almak ve dış ortam koşullarına uyarlamak için kullanıcılar tarafından kontrol edilir. Açıklık, malzeme ve bağlantıların boyutu, kültürel koşullar ve mevcut kaynaklara göre değişebilir.

Hardwick Hall (1597) malikanesinin cephesi, bu yeni ihtiyaca cevap vermek için geniş açıklıklar ile tasarlanmıştır [21]. Pencere boyutu, her seviyedeki kullanıcının sosyal seviyelerine göre uyarlanmıştır. Geniş pencereler, soylular veya daha yüksek seviyelerde çalışanlara; küçük pencereler, düşük seviyelerde hizmetçiler ve güvenlik çalışanları için tasarlanmıştır (Şekil 2.6). Bina cephesi aynı zamanda mevcut hiyerarşinin de bir yansıması olmuştur [41].



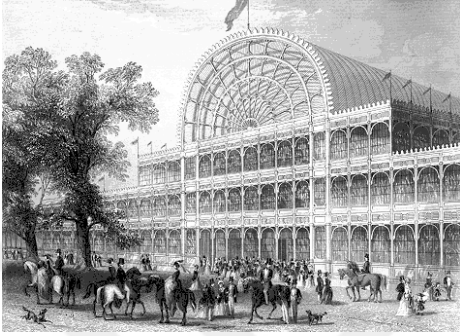
Şekil 2. 6 Hardwick Hall cephesi [23]

- **Sanayi Devrimi Sonrası**

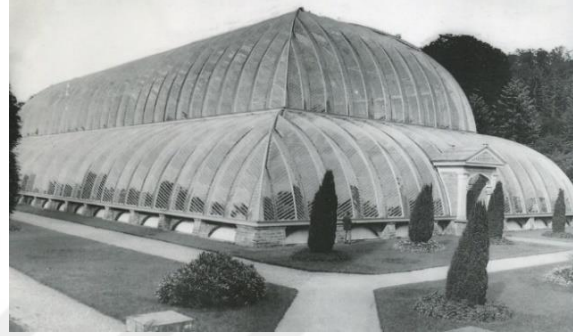
Sanayi devrimi sonrası, 18. ve 19. yüzyıllarda geniş açıklıklı alanlara ihtiyaç duyulmuş; çelik ve cam kullanımı, bu ihtiyaca cevap veren malzemeler olmuştur. Joseph Paxton gibi mimarlar; duvarlar arası hacimleri değiştirmek için camı, dolgu maddesi olarak kullanmışlardır; bu uygulama, dinamik cephelerin tarihsel görünümünde kilometre taşıdır. Hafif bir malzeme olarak cam, uyarlanabilir yapı cephesi fikrini etkilemiştir. Cam; dış çevre koşullarından korunma, iç-dış mekân arasındaki görsel etkileşim ve doğal gün ışığının iç mekanlara geçişine izin verir. Bu dönemde, pasif enerjili tasarım kavramı da bilimsel bir anlayış ile ele alınmıştır [22].

1851’de düzenlenecek olan 1.Dünya Sergisi için, Londra, Hyde Park’ın içinde tasarlanan *Crystal Palace* (1840); demir yapı elemanlarının mimari alanda kullanımının öncülerindendir (Şekil 2.7, a). Toplam 92.000 m² alan üzerine kurulmuş dünyanın ilk sera-

larından biridir [24]. Yapıda, ön üretimli taşıyıcı sistem elemanları arasına yerleştirilmiş cam levhalar bulunur. Joseph Paxton'un bir diğer tasarımı olan *Palm House* (1849), 6.Devonshire Dükü için tasarlanmış bir seradır (Şekil 2.7, b). Serada, pasif havalandırma ilkelerine uygun, sıcak-soğuk ve temiz hava getiren tasarımlar kullanılmıştır. Her iki yapıdaki tasarım ilkeleri; pasif dinamik cephe konsepti için kilit unsurlar olarak algılanmaktadır [21].



(a)



(b)

Şekil 2. 7 (a) Crystal Palace cephesi [24], (b) Palm House cephesi [25]

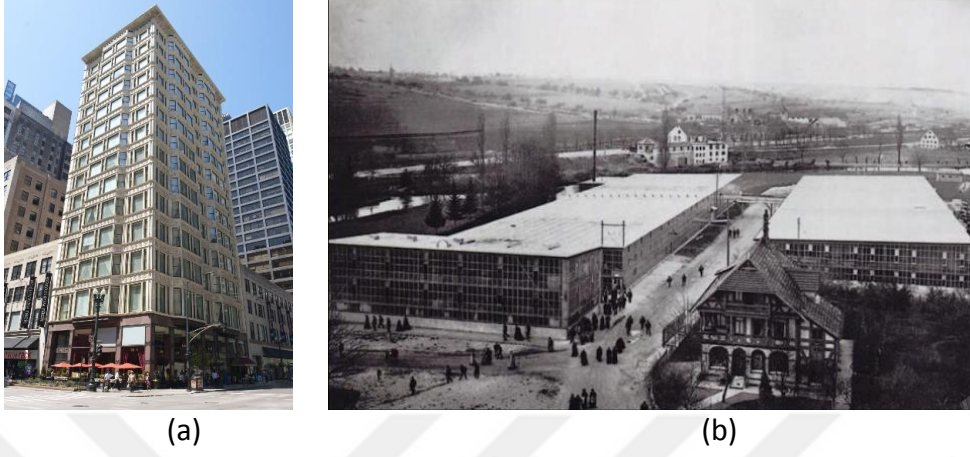
Bu dönemin örneklerine bakıldığında; bina bileşenleri ve ilgili sistemler, kullanıcı kontrolüne bağlıdır; enerji ve kaynak kıtlığı konusunda çok fazla endişe yoktur. Bu nedenle cephe uyarılma seviyesi; kullanma hedefleri ve kullanıcı konforu ile yönlenebilir.

• **Modern Tarz, 20. Yüzyıl**

Araştırmacıların çoğu, iki önemli gelişme nedeni ile dinamik uyarlı cephe kavramının tarihini 20. yüzyılın ilk beş yılına dayandırmaktadır. Bunlardan birincisi, klima sistemlerinin geliştirilmesidir. Willis Carrier¹, 1902'de klima sistemlerini yapı endüstrisinde başarılı bir şekilde kullanmıştır. Klima sistemleri ile cephe, ayrıca iç ve dış mekân arasında enerji transferini sağlamaktadır. Diğer bir gelişme ise cam duvarlardır, cam duvarın tarihlenmesi ise araştırmacılar arasında tartışmalı bir konudur [21][22]. Bazı kaynaklar [28], cam duvarların ilk kez Chicago'da Burnham ve Root tarafından tasarlanan *Reliance Building* (1895) cephesi ile başladığını düşünmektedir (Şekil 2.8, a). Bina cephesinde kendi kendini temizleme özelliği oluşturmak için, terra cotta kaplama

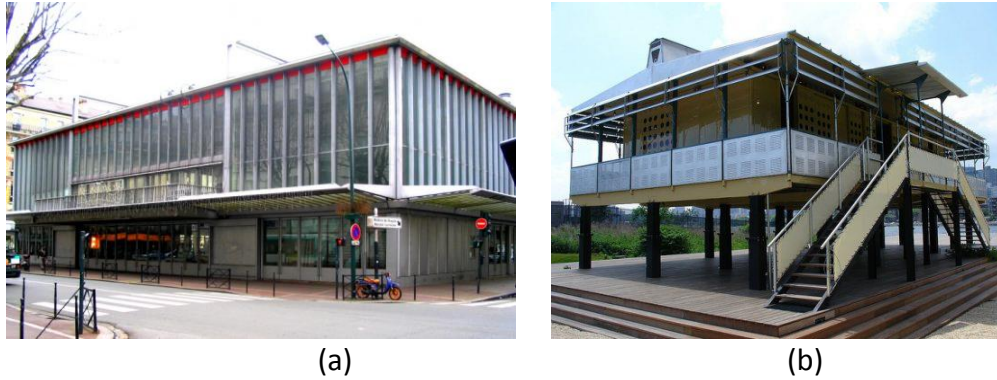
¹ Önceden; bina cephesi, iç mekanların istenmeyen dış ortam koşullarından korunmasından sorumluydu.

çözümü de sunulmuştur. Bazı araştırmacılar için ise; Almanya'daki *Steiff Toy Factory* (1908)'nin cephesi, tam cam duvar fikrini kullanan ilk anahtar yapı durumdadır (Şekil 2.8, b); yapı cam duvarlar ve demir kafes taşıyıcı sistem ile tasarlanmıştır [21][29].



Şekil 2. 8 (a) Reliance Building cephesi [28], (b) Steiff Toy Factory cephesi [29]

Yük taşımayan yapı elemanları kullanımının artmasıyla, cephe endüstrisinde de birçok gelişme yaşanmıştır. Cam paneller, kullanılan geri çekilebilir çatı tasarımları, kullanılan yeni teknolojiler ve aktif cephe konusunda Jean Prouvé (1901-1984)'nin çalışmaları; kinetik cephe kavramının da özneteliği olarak düşünülebilir. *Maison du Peuple, Clichy*, Fransa (1939) ve *Maison Tropicale*, Batı Afrika (1952) gibi projeler; elle kontrol edilen metal panjurlar, güneş bacaları ve seri üretime yatkın hafif metal yapıları ile iklim uyarlı cephe tasarımları için önemli modellerdir (Şekil 2.9) [21][30][31].



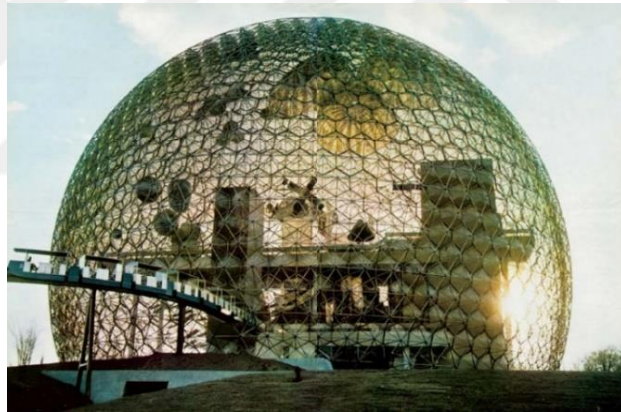
Şekil 2. 9 (a) Maison du Peuple cephesi [26], (b) Maison Tropicale cephesi [27]

Modern cephe ve dinamik cephe fikri, 1970'lerde yaşanan global enerji krizinden etkilenmiş; cephe tasarımında temel enerji kavramı ortaya çıkmıştır. Mimarlar; yapı ısı kontrolü, hava akımı, tüketilen veya talep edilen enerji ve kullanıcı ihtiyacı parametre-

lerine odaklı tasarımlara yönelmiştir. Sosyal ve ekonomik global farkındalık, sürdürülebilir performans yöntemleri oluşturmak için, teknolojiyi farklı teknikler ile kullanan gelişmiş cephe modeline daha fazla ilgi duyulmasına yol açmıştır.

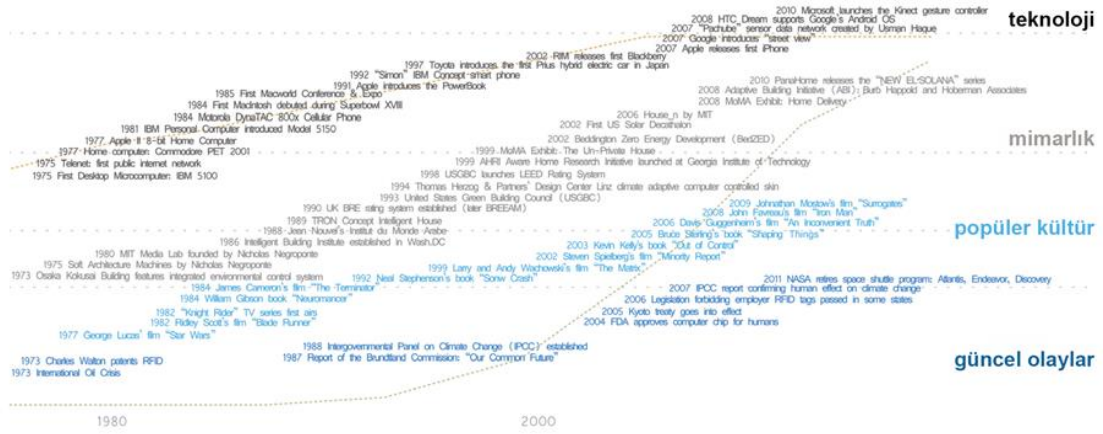
Le Corbusier (1887-1965) ve Mies Van Der Rohe (1886-1969) gibi mimarlar, yeni tarz başlangıçlarını daha geniş ve büyük ölçekli uygulamalarıyla desteklemiştir. Pasif tasarım esasına dayalı çift cidarlı cepheler önermişlerdir. Dünyadaki farklı iklimlerde başarılı ve başarısız birçok proje uygulanmıştır [21][33].

1950-60'lı yıllarda, A.B.D.'li mimar Richard Buckminster Fuller, bugün karşılaştığımız kaynak tükenişi sorununa öncü bir bakış açısıyla yaklaşmış, az malzeme ile çok üretimin yapılabileceği yapılara yönelmiştir. 1967'de, Montreal Expo'da A.B.D. pavyonu için tasarladığı yenilikçi, şeffaf görünüme izin veren jeodezik kubbe sistem bu yapılara örnektir (Şekil 2.10). Yapı cephesi; iklime duyarlı tasarımı ile, güneşin hareketine göre konumunu ayarlayan iç kanvas güneşliklere sahiptir [32].



Şekil 2. 10 Buckminster Fuller tarafından tasarlanan çelik jeodezik kubbe [32]

Uyarlanabilir bina cephelerinin 21. yüzyıldaki tasarım evrimi, cephe mühendisliği ve bina bilimindeki ilerlemelerin yanı sıra; malzeme mühendisliği, bilgisayar mühendisliği, sibernetik ve yapay zekâdaki gelişmeler ile paralellik göstermiştir (Şekil 2.11). Uyarlanabilir bina cephesi; enerji, malzeme ve bilgi alışverişi yapabilen karmaşık bir sistem olarak düşünülebilir. Bu karmaşık sistemin insan vücuduna benzerliği, biyolojik terminolojiyi desteklemektedir. Bütünsel bina metabolizması ve morfolojisinin bir parçası olacak şekilde tasarlanan bina yönetim sistemindeki algılayıcı, devindirici ve komut sistemleri birbiri ile uyumlu çalışmaktadır [34][35][36]. Uyarlanabilir cephe sistemlerinde güncel yaklaşımlar ilerleyen bölümlerde incelenecektir.



Şekil 2. 11 Uyarlanabilir cephe gelişmeleri zaman çizelgesi ve bağlamsal etkenler [34]

2.3 Uyarlanabilir Cephe Sistemleri İşleyişi ve Sınıflandırma Yöntemleri

Uyarlanabilir cephe sistemlerinin tasarım ve geliştirilmesi, farklı kavramlar veya ortak özelliklere göre farklı alt gruplara ayrılmaktadır. Birçok araştırmacının, uyarlanabilir cephe sistemlerinin daha iyi algılanabilmesi için, işleyiş ve sınıflandırma öneri çabası olmuştur. Örneğin; Schnädelbach (2010), uyarlanabilir cephe seçimi ve inşasına, öncelikle motivasyon etkisi ve itici güçlerle başlamaktadır. Bu başlangıcı, uyarlanabilir cephe bileşenlerini ayrıntılı pratikler ile ilgili kategoriler dizisi izlemektedir. Tasarım çerçevesi; cephenin hangi tepkiler, öğeler, yöntemler ve uyarlama etkisine göre uyarlanabildiğini gösteren adımlardan geçer. Uyarlanabilir cephe sistemleri tasarımı aşağıdaki kategoriler boyunca yapılandırılmıştır [37]:

- 1- Uyarlama ihtiyacına neden olan itici güç ve motivasyon etkisi;
 - Kültürel yapı
 - Sosyal yapı ve yaşam şekli
 - Kitlesele veya örgütsel yapı
 - İnteraktif iletişim
- 2- Uyarlama mantıksal veri kaynağı nedir ve neye tepki olarak uyarlama yapılır?
 - Kullanıcı konforu ve ihtiyaçları Çevresel şartlar
 - Çevresel şartlar
 - Nesneler ve veri kaynağı araçlar

- 3- Uyarlanabilir cephe sistem elemanları:
- Yüzeyler
 - Bileşenler ve modüller
 - Mekânsal özellikler
 - Teknik sistemler
- 4- Yöntem ve metodoloji neye göre belirlenir?
- Kullanıcı müdahalesi
 - Algılayıcı Bazlı (teknik veri kaynağı)
 - İşletim sistemleri
 - Aktive etme (teknik veri senkronizasyonu)
- 5- Uyarılama ile oluşan etki;
- Mimarlık tarafından çevrelenen çevreyi etkiler.
 - Yapısal geçirgenlik sağlar.
 - Kullanıcı konforunu ve ihtiyacını sağlar.
 - Kullanıcı yaşam rutinini yönlendirme etkisi yaratır.
- 6- Uyarlanabilir mimaride tasarım stratejileri
- Hareket,
 - Yönerge seviyeleri,
 - Yeniden kullanım,
 - Otomasyon veya kullanıcı müdahalesi,
 - Zaman ölçeği,
 - Kullanıcı odaklı ya da kullanıcıdan bağımsız şekilde tasarlanmaktadır [37].

Loonen ve diğ. (2015), tarafından önerilen sınıflandırma şeması çok disiplinli alanın anlaşılmasını arttırmayı hedeflenmiştir. Uyarlanabilir yaklaşımın işlevi ve farklı kavramların ilişkilerini tanımlamaya çalıştığı için, birçok araştırmacı tarafından kabul edilen bir şablon olmuştur (Çizelge 2.1). Amaç; kalıpları tanımak, keşfedilmemiş kavramları tanımlamak ve yenilikçi uyarlanabilir cephe bileşenlerinin geliştirilmesinin önünü açmaya yardımcı olmaktır.

COST TU 1403'ün bilimsel planına göre; uyarlanabilir cephelerin performansını değerlendirmek ve test etmek için harekete geçmeden önce, onları teknolojiler ve amaç bakımından karakterize etmek gerekir. Çizelge 2.1'deki ilk kolon; diğer gereksinimlerin yanı sıra ısı konfor, enerji performansı, iç mekân hava kalitesi (IAQ), görsel ve akustik performans ile ilgili duyarlı kapasiteye sahip cephe ve bileşenlerin amacını ifade eder; uyarlanabilir cephe kullanımının nedenlerine odaklanır [4][38].

Çizelge 2. 1 Uyarlanabilir cephe uyumuna göre sınıflandırılma önerisi [4]

Amaç	Fonksiyon	İşleyiş	Elemanlar (malzeme ve sistemler)	Cevap süresi	Boyutsal ölçek	Görünürlük	Uyarlama derecesi
Isıl konfor	Önlemek	İçsel	Gölgeleme	sn.	Yapı malzemesi	Yok	Açık-kapalı
Enerji performansı			İzolasyon	dk.	Cephe elemanı	Düşük	
İç mekân hava kalitesi (IAQ)	Reddetmek		Değişebilir cam	sa.	Duvar		
Görsel Performans	Modüle etmek	Dışsal	Faz değiştirme	Gün	Pencere	Yüksek	Kademeli
Akustik performans			Güneş tüpleri	Mevsim	Çatı		
Kontrol	Toplamak		Entegre güneş sistemleri	Yıl	Bina		

Uyarlanabilir cepheler için genel bir sınıflandırma yoktur, en önemli unsurlardan biri kontroldür. Velasco ve diğ. (2015), tarafından önerilen sınıflandırma, hareketi ve kontrolü temel etmenler olarak kabul eder. Kontrol etmenleri, genellikle mevcut diğer sınıflandırma sistemlerinde dikkate alınmaz; ancak kontrol sisteminin tipi, uyarlanabilir cephelerin tasarımında ve kullanımında temel unsurdur (Çizelge 2.2). Kontrol sistemi, uyarılmanın başarısı için önemli bir etmen olarak görülmektedir. Uyarlanabilir cephelerde kontrol iki şekilde yapılmaktadır [3][40]:

- **Dışsal Kontrol**

Mevcut durum ile istenen durumun karşılaştırılmasından kaynaklanan geri bildirim, gerekli uyarlamaya dönüştürür. Uyarılma kontrolü; sensör, işlemci ve aktivatörlere dayanır; kullanıcı kontrolü devreye girebilmektedir. Kontrol, tüm yapı üzerinde kontrolü dağıtan merkezi sistemler üzerinden yapılmaktadır. Uyarılma için, elektriğe veya yakıta ihtiyaç yoktur, bileşenlerin sayısı sınırlıdır. Başlıca dezavantajı, sistemin uyarılma özellikleri ve değişkenlerin ayarlamasının beklenen şartlar aralığında yapılmasıdır; beklenmeyen farklı koşullar ortaya çıkarsa sistem, bu koşullara uyum sağlayamayacaktır.

- **İçsel Kontrol**

Uyarılma; çevresel etkiler dönüştürülerek doğrudan kontrole dayanmaktadır. Sistem; kontrol için, iç karar verme bileşenlerini kullanmaktadır. Kullanıcı kontrolü olmadan; sıcaklık, rüzgâr, güneş radyasyonu gibi çevresel girdilere otomatik olarak uyum sağlayabilmektedir. Sistem aktivatörleri ve algılayıcılar entegre edilmiştir.

Çizelge 2. 2 Kontrol bazlı uyarlanabilir cephe sınıflandırma önerisi [40]

Kontrol Şekli	Kontrol Seviyesi
» Bölgesel (Dışsal Kontrol)	İç (malzeme) içsel
	Doğrudan (sensör bazlı mikro) dışsal
» Merkezi (İçsel Kontrol)	Seviye 1 (doğrudan) dışsal
	Seviye 2 (tepki) dışsal
	Seviye 3 (sistem bazlı) dışsal

Hareket sisteminin ise, farklı ölçeklere dayandığı görülür. Uyarlanabilir cephelerde iki ölçekte hareket sözkonusudur [3][40] :

- **Makro Ölçek**

Makro ölçekli sistemlerde; çoğunlukla, büyük ölçekli uyarlanmalar gereklidir. Dışsal kontrol tipleri ile uyumlu oldukları söylenebilir. Kinetik cepheler, bu sınıflamaya dahildir; hareket elemanları aracılığıyla sistem, dışsal kontrol ile kullanıcı konforunu sağlar. Çevresel etken sayısının fazlalığı, bu sistemlerin verimli çalışmasında zorluk yaratabilir.

- **Mikro Ölçek**

Mikro ölçekli sistemlerde, malzemenin içsel davranışı ile şekillenmektedir, uyarlama özelliği küçük bir ölçekte gerçekleşir. Sistem kontrolü, iç veya dışsal kontrol ile birleşebilir; kullanıcının tercihleri önceden öngörülerek entegre bir sistem yaratılabilir. Çalışma prensiplerini kolaylaştırmak için, belirli sınırlar içerisinde tasarım yapılabilir. Velasco ve diğ. (2015) yeni bir sınıflandırma sistemi önermiştir (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3 Hareket bazlı uyarlanabilir cephe sınıflandırma önerisi [40]

Hareket Merkezi	Hareket Şekli	Hareket Etkeni
» Mekanik Merkezli (Makro Ölçek)	Dönme hareketi	Yüzeysel
		Yüzeysel olmayan
	Çevirme hareketi	Yüzeysel
		Yüzeysel olmayan
	Melez (Dönme-Çevirme)	
» Malzeme Merkezli (Mikro Ölçek)	Kendi kendine değişen	Sıcaklık
		Nem
		Işık
	Dış etki ile değişen	Elektrik akımı
		Gaz-sıvı akışkanlığı
		Dış Kuvvet

2.4 Uyarlanabilir Cephe Sistemlerine Etki Eden Etmenler

Her bina için, uyarlanma gereklilikleri ve etki eden etmenleri anlamak, karmaşık bir hal almıştır. Cephenin hem iç hem de dış etkenlerden kaynaklanan değişikliklere cevap verebilmesi için, öncelikle iklimsel etkenlerin neden olduğu uyarlanma ihtiyacına odaklanılmıştır. Uyarlanma için gereken dış etmenler aşağıdaki başlıklar halinde incelenmiştir:

- **Güneş Işınımı**

Isı ve hava akışı etkisi, ısı konfor ve enerji performansına doğal yollardan gün ışığının katkıda bulunmasını sağlar. Gün ışığı; ısı konfor, enerji ve görsel performansın sürdürülebilirliğini sağlar.

- **Dış Ortam Sıcaklığı ve Nem**

Bu parametreler gün boyunca ve yıl boyunca değişiklik gösterir. Pasif ısıtma ve soğutma tasarımında en önemli etkenler arasındadır. Bina cephesi, ısı ve nem aktarımı sağlar.

- **Rüzgâr ve Yağış**

Rüzgâr, doğal havalandırma sağlayarak kullanıcı konforunu pasif olarak artırır.

- **Gürültü**

Binalar çoğunlukla, dış ortamın değişken gürültüsüne maruz kalmaktadır. Cephe formu; kullanıcı konforu, ses tasarımı ve akustik performans ile ilişkilendirilebilir [4][9][39][47].

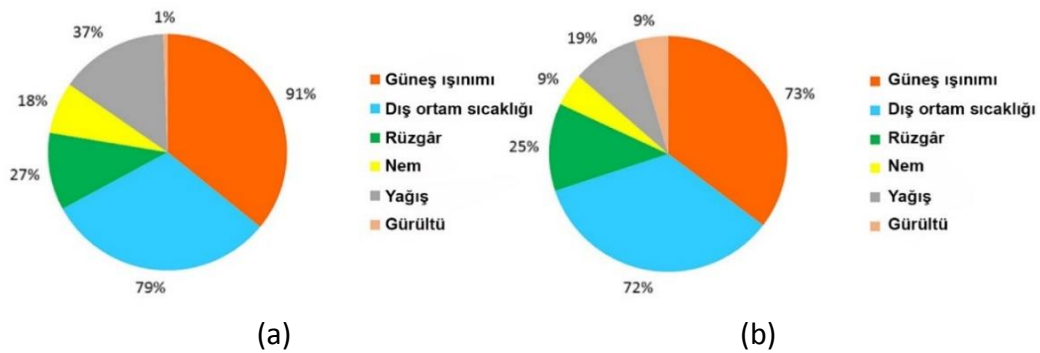
Vieira (2015), Köppen İklim Sınıflandırmasına göre yaptığı çalışmada, çoğu ılıman iklime ait, 63 adet sıcak ılıman ve 29 adet deniz kıyısında ılıman iklime ait yapı olmak üzere, 130 temsili yapı üzerinde inceleme yapmıştır [72]. Aelenei ve diğ. (2015), bu çalışmayı esas alarak, analiz için; gün ışığı, dış ortam sıcaklığı, rüzgâr, nem, yağış ve gürültü girdileri oluşturmuştur. İncelenen cepheler; ısı konfor, enerji performansı, IAQ, akustik performans, görsel performans ve dayanıklılık gibi amaçlara hizmet etme yönelimindedir. Dış etkenlerin küresel dağılımına göre; %82 güneş ışınımı ve %76 dış ortam sıcaklığı etkisi öne çıkmaktadır. Uyarlanma için gereken bileşenler ve kullanıcıya

etkisi çok fazla parametreye sahiptir [9]. Çizelge 2.4; uyarlama bileşenleri ilişkisini daha kolay algılamak amacıyla oluşturulmuştur.

Çizelge 2.4 Uyarlanabilir cephe etkenleri ve kullanıcı konforuna göre rolü[4][9][39].

Dış Etmenler		Cephe Gereklilikleri	Kullanıcı konforu	
Gün ışığı	● ● ● ● ●	Isı akışı	Isıl konfor	●
		Hava akışı	Enerji performansı	●
Dış ortam sıcaklığı	● ●	Su buharı		
		Su		
Rüzgâr	● ● ●	Işık	Akustik performans	●
		Gürültü		
Nem	● ● ●	Form	Görsel performans	●
Yağış	●	Şekil		
Gürültü	●	Renk	Süreklilik	●

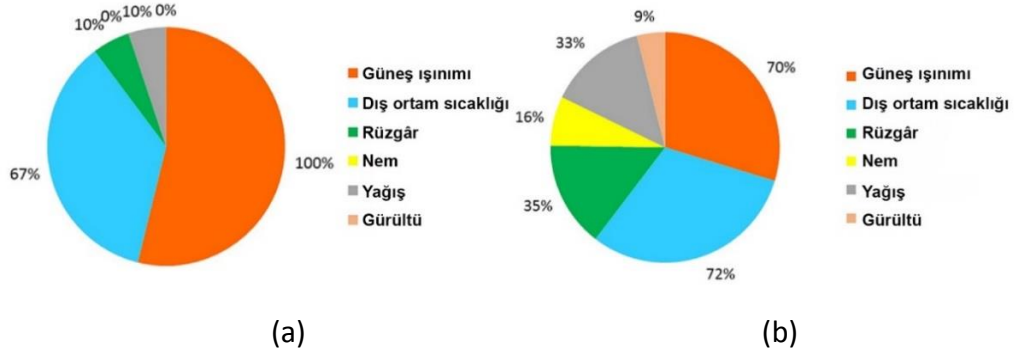
Yapılan diğer bir tip analiz ise, konut yapıları ve konut dışı yapıların incelenmesidir. Gürültü dışındaki diğer dış etmenlerin, konut binalarını daha fazla etkilediği görülmüştür. Konut tipi binalarda en önemli payı gün ışığı alırken (%91), konut dışı binalarda gürültü ile neredeyse eşdeğer (%73) olduğu görülmüştür (Şekil2.12).



Şekil 2. 12 (a) Konut tipine göre dağılım, (b) konut dışı dağılım [9]

Sözkonusu binalar, yapısal elemanlara göre incelendiğinde; açıklıkların en fazla, sıcaklık ve gün ışığından (%100) etkilendiği gözlenmiştir (Şekil 2.13); nem ve gürültü etkisi yok denecek düzeydedir. Kapalı elemanların ise, örneğin duvarlar, tüm etkenlere belli

oranlarda maruz kaldığı belirlenmiştir. Çalışma genelinde binaların genel analizi yapıldığında, gün ışığı etkeninin birinci sırada olduğu sonucu çıkarılabilir.



Şekil 2.13 (a) Pencere tipine göre dağılım, (b) duvar tipine göre dağılım [9]

Dış ortam etkenlerine göre uyarılma değişimi, farklı zaman birimlerine göre düzenlenebilir. Van Dijk (2009) [39], uyarlanabilir cephe analiz ve sınıflandırma çalışmalarında zaman ölçeğini kullanmıştır. Örneğin rüzgâr hızı ve yönü, bulut örtüsü, gün ışığı kullanımı ve açılma hareketleri dakikalar içerisinde değişebilecek etkenlerden bazılarıdır. Isı yalıtımı ve ısı depolama üzerinde, dakikaların etkili olmadığı, bina kullanıcılarının davranışları ve meteorolojik etkenlerin etkili olduğu görülmüştür. Nem ve gün ışığı ise, genelde günlük etkenler arasında değildir (Çizelge 2.5) [3][39].

Çizelge 2.5 Batı cephesi için uyarılma seviyeleri ([39]'dan değiştirilerek)

Fonksiyon	Dakika	Gün	Mevsim	Yıl
	●	●	●	●
Isı yalıtımı		● ● ●		
Isı depolama		● ●		
Nemlendirme		● ●		
Doğal havalandırma		● ● ● ●		
Gün ışığı		●		
Yüksek ısınma kontrolü		● ● ●		
Görsel		● ●		
Rüzgâr ve Su		● ● ●		
Akustik		● ●		

Mevsimsel değişiklikler, küresel ısınma ile değişiklik gösterebilir; yaz ya da kış mevsimleri arasında yapı, kendini uyarlama yeteneğine sahiptir. Ancak, mevsimsel etkenler; günüşiği, görsel veya akustik konfor gerekliliklerinde yer almaz. Uyarlanabilir cephenin; yıl bazında, ısı yalıtımı ve doğal havalandırma gibi amaçlara fayda sağladığı görülmüştür [3][39].



UYARLANABİLİR CEPHE ÇEŞİTLERİ VE AKILLI MALZEME İLİŞKİSİ

Bu bölümde uyarlanabilir cephelerin belirgin özelliklerine ve uyarlama haline göre mevcut çeşitleri örneklendirilmiştir. Araştırmacıların önerdiği sınıflandırma yöntemlerinden referans alınarak, oluşturulan matris ile uyarlanabilir cephe sistemleri tanımlanmaya çalışılmıştır. Uyarlanabilir cephe sistemlerinde oldukça fazla kullanılan akıllı malzemelerin güncel tanımları, sınıflandırma yöntemleri incelenerek; uyarlanabilir cephe sistemleri ile ilişkisi ele alınmıştır.

3.1 Uyarlanabilir Cephe Çeşitleri

Literatürlerde ve mevcut cephelerde, Uyarlanabilir (*Adaptive*) terimi için araştırmacılar, profesyoneller tarafından çeşitli alternatifler kullanılmıştır. Genelde bina davranışı ve uyarlamanın en belirgin haline göre cepheler tanımlanmıştır. Akıllı (*smart*), aktif, akılcı (*intelligent*), etkileşimli, kinetik, duyarlı, değiştirilebilir gibi terimler mevcut cephe örneklerinde sıkça karşılaşılan terimler arasındadır. Bu terimler uyarlanabilir terimi ile saf eşanlamlı değildir; ancak tüm kullanılan terimler ile tanımlanan cephe örneklerinin ortak noktası, çevresel ve kullanıcı etkenlerine farklı yöntemler ve belirgin özellikler ile uyarlanabilir olmasıdır.

3.1.1 Aktif Cephe

Aktif cepheler, bina iç veya dış ortam koşulları tarafından başlatılan değişime kendiliğinden adapte olabilen dinamik cephelerdir. Enerji tüketimini en aza indirirken, konfor koşullarını sağlayan entegre elemanlara sahip teknolojik sistemler ile desteklenmektedir. Bu aktif özellikler hem otomatik hem de manuel olmalıdır ve karmaşık elektronik bileşenler dahil edilmemelidir [46]. Hareket kabiliyetleri, kinetik cepheler ile de ilişkilendirilebilir.

Children's Museum, Pittsburgh PA., (2004)

Uyarlanabilir yeniden kullanım için restore edilen çocuk müzesi, aynı zamanda aktif bir cephe örneğidir (Şekil 3.1). Güneşlik amacıyla tasarlanan cephe yüzeyi, üstten menteşeli, 12,7cm'lik binlerce akrilik kare levha ile kaplıdır. Malzeme geri dönüşümü destekler. Cephenin rüzgârda hareketi, iç mekânda dinamik bir gölgeleme sağlar. Yapının sayısallaştırılmış bir bulutla kaplı olduğunu belirtmek amaçlı tasarlanan yüzey, etkileşimli bir etki olarak da yorumlanabilir [45].



Şekil 3.1 Children's Museum, Pittsburgh PA., cephesi [45]

MEDYA-TIC, Barselona (ES), (2007)

Bir diğer aktif cephe örneği; Enric Ruiz-Geli (Cloud-9) tarafından tasarlandı. 2500 m² yenilikçi ve görsel çekiciliğe sahip, yarı saydam Etilen Tetra Floro Etilen (ETFE) dış cephe kaplamasına sahiptir (Şekil 3.2). Cephe; ışık ve sıcaklığı düzenlemek için, aynı anda harici bir koruma ve hareketli bir güneş perdesi olarak çalışır. Enerji talebini azaltmada aktif rol oynamaktadır [38][48].



Şekil 3.2 MEDYA-TIC binası cephesi [48]

3.1.2 Gelişmiş Cephe

Gelişmiş bir cephe, bir binanın ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma gereksinimlerine katkıda bulunabilmektedir. Enerji tasarrufu önlemleri ile iç konforu arttırarak, dış hava koşullarına dayanıklı ve verimli bir katman oluşturmaktadır. Bu cepheler enerji verimli cephe sistemleri ile de ilişkilendirilebilir. Fakat aralarındaki temel fark, gelişmiş cephelerin uyarılabilir yapı elemanları ile bina kontrol sistemi ve hareket sistemi ile entegrasyonudur [38][49].

Kiefer Technic Showroom, (2007)

Ernst Giselbrecht+Partner tarafından dış mekân koşullarına göre değişen, iç iklimi optimize eden ve kullanıcıların kendi alanlarını kullanıcı kontrolleri ile kişiselleştirmelerine izin veren dinamik bir cephe olarak tasarlandı. Cephedeki güneş perdesi katmanı, elektronik şekilde hareket edebilen alüminyum panellerden oluşur. Cephe gün içerisinde kendi veya kullanıcı kontrolünde yeni bir cephe oluşturur [50].



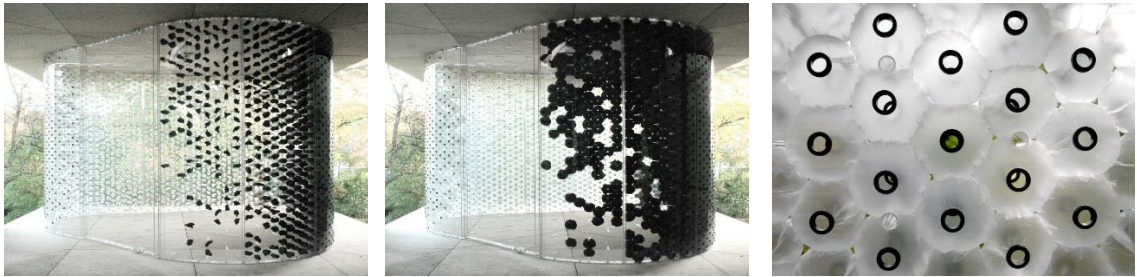
Şekil 3.3 Kiefer Technic Showroom cephesi [50]

3.1.3 Biyomimetik veya Biyo İlham Cephe

Biyomimetik veya biyo ilham cepheleri, uyarılma ihtiyacı için, doğanın ve canlıların uyum sağlama özelliklerinden ilham almaktadır. Biyo ilham tasarım, doğrudan malzeme kullanımı veya dolaylı olarak işlevsel benzerlik kopyası ile yapılabilir. Kendinden Aktif Biyo-İklimsel Stratejinin (SABS) insan derisi gibi akıllı olması gerekir. Örneğin, sıcak havalarda, yaz aylarında vücut iç sıcaklığımız artar ve cildimiz onu azaltmak için tepki verir. Gözenekleri açmak, vücudun sıcaklığını sabit tutmak ve dış katmanın yenilenmesi için cilt terler. Benzer şekilde, verimli bir SABS, harici girişlere, ne zaman ve nasıl tepki vereceğini bilecek kadar akıllı olmalıdır. SABS cephe sisteminin temel bileşenleri arasında aktif ve pasif stratejilere göre opak paneller (gölgeleme cihazları), biyo reaktör panelleri ile temsil edilen şeffaf paneller, kontrollü açma sistemleri (havalandırma) ve yüzeyin kinetik özelliğini izleyen duyarlı malzeme kombinasyonu gibi sistemlerde kullanılmaktadır [51][52].

Breathing Skins, Germany, (2015)

Biyo ilham cephe özelliklerine verilebilecek bir örnektir. Tobias Becker tarafından tasarlanan proje; iç ve dış mekân arasındaki gerekli ışık, madde ve sıcaklık akışını kontrol etmek için geçirgenliğini ayarlayan canlı deriden ilham alır. Açıklıkların boyutu uyarlamaya göre artar ya da azalır (Şekil 3.4). Cephe yüzeyinin her metrekaresinde, Becker tarafından “pnömatik kaslar” olarak tanımlanan 140 hava kanalı var. İç ortam kalitesini sağlamak için tasarlanan cephe sürekli değişerek estetik ve etkileşimli bir görünüm kazanır [53].



Şekil 3.4 Breathing Skins cephesi [53]

3.1.4 Kinetik Cephe

Kinetik cephe, çevresel koşullar ve konuma hızla uyum sağlayabilen sistemler olarak tanımlanır. Kinetik cephe, belirli bir hareketin olduğu, değişken yerlerin veya değişken geometrinin tüm parçalarından birine veya hepsine yayılan uyarlamaya sahip teknolojik bir sistemdir. Uyarlama hareket enerjisinin (momentum) dönüşümüne dayanmaktadır, manuel veya otomatik bir harekete geçirme kuvveti gerekir. Verilen tepki genelde makro ölçek sınıfına girmektedir, dışsal bir kontrol sistemi ile uyarlama gerçekleştirilmektedir [59].

SDU Campus Kolding, Denmark (2014)

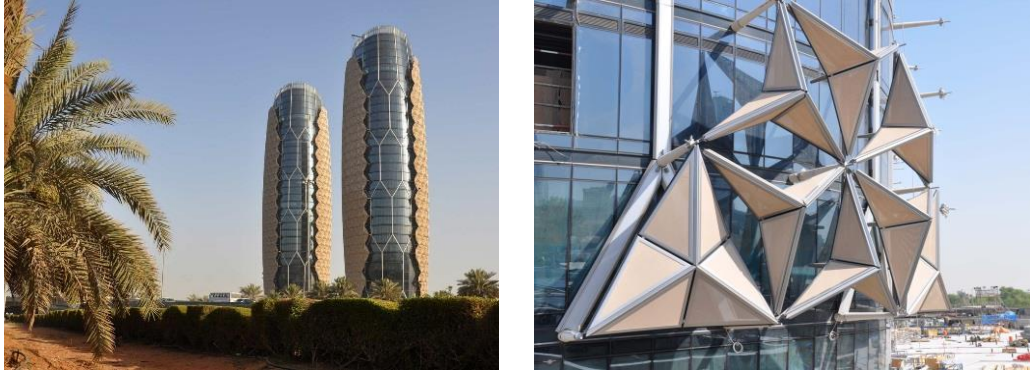
Danimarka'daki kampüs cephesi kinetik bir cephe sistemi olarak örneklendirilir. Kinetik gölgeleme sistemi ~1.600 üçgen delikli çelik panjurdan oluşur. Panjurlar çevirme hareketi yapar. Sensörler, binanın etrafındaki ısı ve ışık seviyelerini izleyerek, cephe panellerinin açıktan yarıya ve tam açıklığa geçmesini sağlar [54].



Şekil 3.5 Campus Kolding cephesi [54]

Al Bahar Towers, United Arab Emirates, (2012)


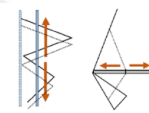

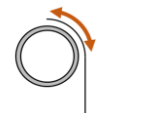



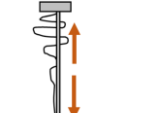

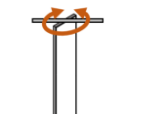
Bir diğer uyarlanabilir kinetik cephe örneği, Aedas Architects tarafından, Abu Dabi Emirliği'nde tasarlanmıştır. Bölgesel aşırı hava koşullarına uyum sağlayan cephe (CABS), İslami kafes gölgeleme cihazı olan "mashrabiya" dan ilham alınmıştır. Aktivatörlü cephe panellerinin geometrisi için, parametrik bir katlama sistemi kullanılmış; üçgen fiberglas+PTFE kaplı (teflon kaplı cam lif örtü) cephe elemanları güneşin hareketine cevap verecek şekilde programlanmıştır, böylece binada %50'nin üstünde enerji tasarrufu sağlanmaktadır [55].



Şekil 3.6 Al Bahar Towers cephesi [55]

Kinetik cepheler güncel ve mevcut uyarlanabilir mimaride oldukça sık kullanılmıştır. Hareketlerine, geometrik formlarına göre farklı mekanizmalarla uyarlanır. Aşağıda bulunan Gosztonyi (2018)'in kinetik cepheler için kullandığı sınıflandırma önerisinden esinlenerek, Çizelge 3.1 oluşturulmuştur.

Çizelge 3.1 Kinetik hareket çeşitleri ve uyarlanabilir elemanları ([54][55][56][57][58][59]den yararlanılarak)

Kinetik hareket	Geometrik form- kapsam	Hareket yönü	Uyarlı sistem	Kinetik mekanizma
- Katlama - Açılma	 düzlemsel, laminer, poligonal - doğrusal, ızgara	2B-3B	kılavuz ray, menteşe, raf, hidrolik aktüatörlü raf	
- Sarma	 düzlemsel - düzlemsel	1B-3B	braket, kordon, makara	
-Kayma	 düzlemsel, laminer, poligonal - düzlemsel, ızgara	1B	kılavuz ray	
- Yükseltme - Alçaltma	 düzlemsel (esnek) - düzlemsel	1B-2B	Kılavuz ray, kordon, makara	
-Çevirme	 düzlemsel, laminer, poligonal - doğrusal, ızgara	2B	Raylara sabitlenmiş menteşe veya braket (dönme noktası)	

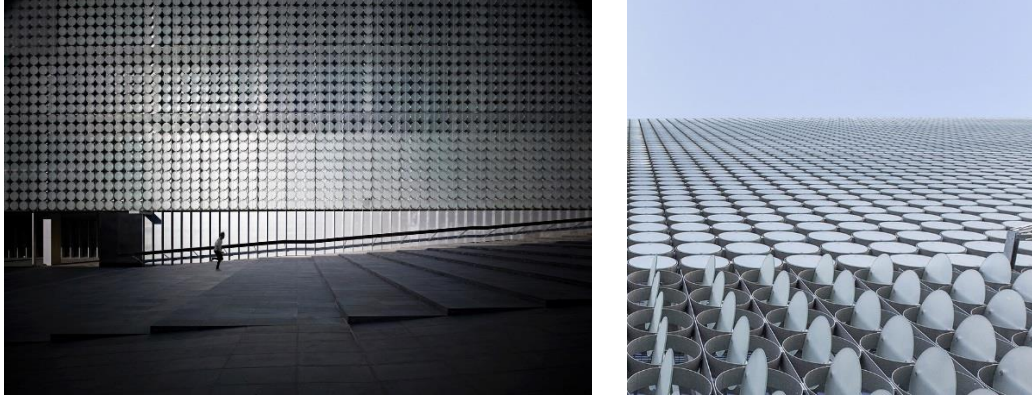
3.1.5 Akılcı (Intelligent) Cephe

Akılcı binalar aktif özellikleri ve pasif tasarım stratejilerini birleştiren yapılar olarak tanımlanabilir, minimum enerji kullanarak maksimum konforu sağlama eğilimindedir. Akılcı cepheler tüm bina servis bileşenlerinin entegre edilebildiği ve dinamik bileşenler ile uyarlanabilir hareket fikrini desteklemektedir. Akılcı cephe; iklimsel değişikliklere yanıt verebilen, dış ve iç mekân konforunu dengede tutan elemanların sisteme dönüştüğü bir katman görevi görmektedir [3][34][40].

Akılcı cepheler, tıpkı canlılarda olduğu gibi; algı, muhakeme ve eylem gibi birincil işlev kapasitesine sahiptir. Bu durum sensörlere, kontrol işlemciler ve aktivatörlere karşılık gelmektedir. İklim, enerji dengesi, kullanıcı konforu gibi tipik öngörücü modellere dayanarak optimize edilmektedir. İçsel kontrol uyarlanan cephe makro veya mikro ölçekte değişimini tamamlayabilir. Entegre cephe sistemi genelde fiziksel olarak adapte edilebilir elemanlar aracılığıyla gerçekleştirilir. Akılcı (*Intelligent*) ve akıllı (*Smart*) cepheler arasındaki en büyük fark algı, muhakeme ve eylem yeteneğidir. Zeki cephelerde girdilere göre oluşturulmuş bir algı sistemi var iken, akıllı cepheler eylem bazlı malzeme entegrasyonu ile ilişkilendirilmektedir. Bu nedenle zeki cepheler, akıllı cephelere göre daha fazla harici güç içermektedir. Her iki cephelerde de akıllı malzeme kullanılmaktadır [3][34][40].

MIT Design Hub, Australia (2012)

Cam disklerle kaplı çift cidarlı akılcı bir cephe. Optimum seviyede enerji kontrolü için, disklere aktivatör yerleştirilmiştir. Kontrol sistemi, disklerin mümkün olduğunca güneşe maruz kalmasını sağlar. Dahili bir bilgisayar, Melbourne'ün günlük hava durumuna göre, cephedeki her hücreyi motor vasıtası ile döndürerek kontrol eder. Cephe varyasyonları için parametrik tasarım stratejisi uygulanır [60].



Şekil 3.7 RMIT Design Hub cephesi [60]

3.1.6 Etkileşimli (İnteraktif) Cephe

Etkileşimli cephe, yapı ve insan arasındaki bağı kurmak için uyarlanır; medya cephe olarak da adlandırılabilir. Son yıllarda oldukça fazla kullanılan etkileşimli cepheler dev reklam panolarına, bilgisayar destekli sanat eserleri, enstalasyonlar ve aktif kamu katılımını teşvik eden birçok işleve atıfta bulunur. Etkileşimli bir cephe, uyarlama başlatmak için, insan girdisine göre şekil alabilir veya insan etkeni için bir girdi oluşturabilecek bir uyarlama sağlar. Kinetik, akıllı, akılcı, aktif yeteneklere sahip olabilirler. Fakat insana duyarlı oldukları ve etkileşimde oldukları net ayrımlarıdır [3][34][61].

Eskenazi Hospital Parking Structure, Indianapolis, (2014)

Indianapolis'deki hastahane otopark cephesi, 7.000 açılı ve mafsallı metal panelden yapılmış, etkileşimli ve dinamik bir cephedir (Şekil 3.8). Sınırdaki otoyol boyunca sürüş yapanlar, hızlarına karşılık gelen daha hızlı ve daha dramatik bir değişim görmektedir. Sanatsal cephe, sıradan olan otopark yapısını çekici bir sentetik topografyaya dönüştürür. Sadece hareketli açılar, farklı renklerin yansımalarını yaratır [62].



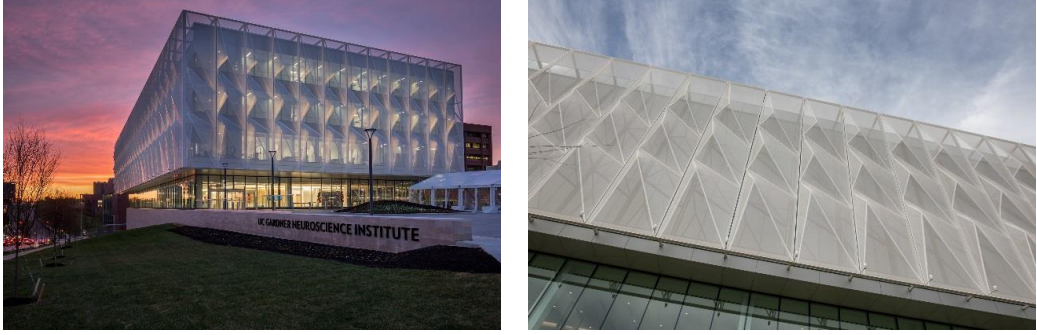
Şekil 3.8 Eskenazi Hospital Parking Structure cephesi [62]

3.1.7 Akıllı (Smart) Cephe

Akıllı terimi, genelde, mimaride malzeme ve yüzeylere atıfta bulunmak için kullanılmıştır. Uyarlanabilir cephelerin değişkenlere cevap vermesi durumu, akıllı malzemelerin özgün özellikleri ile paralel bir çalışma sistemi yürütür. Akıllı malzemeler değişken ve dolayısıyla tıpkı uyarlanabilir cepheler gibi geçici ihtiyaçlara cevap veren özellikler göstermektedir. Bu malzemeler cephe sistemleri ile bir arada ya da cepheye dışarıdan bir sistem içinde entegre olabilirler. Bu durum cephe formu, biçimsel, fiziksel ve karakteristik özelliklerine yön verebilmektedir [64]. Akıllı cepheler geçici ve birden fazla çevresel duruma, doğrudan ve gerçek zamanlı yanıt verebilme kabiliyetine sahiptir. Malzeme katkısı ile de kendi kendine harekete geçerek seçici, öngörülebilir ve lokal cevaplar vererek performans verimliliğine katkıda bulunurlar. Birçok karmaşık sistemi barındırabilirler. Özgün dönüştürme kabiliyetine sahip olmaları harici bir güç kaynağı gerektirmemektedir. Bu nedenle, enerji kullanımını azaltırken aynı zamanda işlevselliği ve performansı arttırmayı amaçlayan bina tasarımcıları için son derece çekicidirler [52][69][70].

The University of Cincinnati Gardner Neuroscience Institute (UCGNI), Chicago, (2019)

Yapı nörolojik ve psikiyatrik hastalıkları tedavi etmek için bir merkez olarak tasarlandı. Bina, genel sağlık ve rahatlık hissini ve ayrıca hastalar için iç iyileştirme alanlarını oluşturmak için çevresindeki doğal ışığı kullanır. Yapı cephesi karbon ayak izini düşürecek, TiO₂ katkılı örgü membran ile gerildi. Cepheye kendi kendini temizleme özelliği kazandırıldı. Pasif uyarlı sistem, mikro ölçekte uyum sağlamaktadır [65].



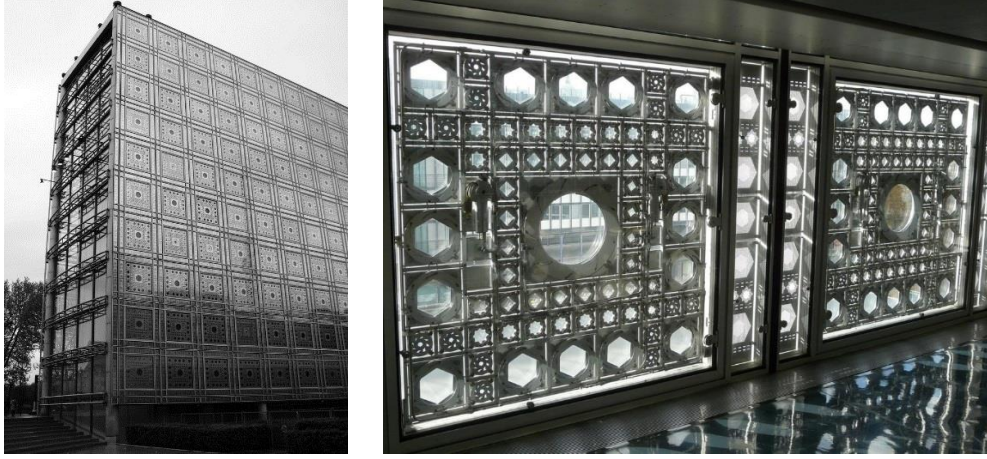
Şekil 3.9 The University of Cincinnati cephesi [65]

3.1.8 Duyarlı Cephe

Duyarlı cepheler çevresel etkenlere kayıtsız kalmayan bir sistemdir. Etkileşimli, akıllı (*smart*) ve akılcı (*intelligent*) terimleri bu sisteme dahil edilebilir. Gerçek zamanlı sensörler, akıllı malzemeler, otomasyon sistemleri kullanılmaktadır. Kullanıcı kontrolü genelde geçersiz kılınır. Bu etkileşimli sistemler sistemin kendine adapte olmasına neden olabilir ve sistemin zamanla öğrenmesini sağlayabilir. Sistemler, eylemlerini mevcut iklim ve enerji kullanımına göre değiştirebilir. Duyarlı bir cephe, karmaşık veya basit hesaplamaların bir sonucu ve fonksiyonu olarak; değişiklikleri başlatarak, makro veya mikro ölçekte aktif bir rol oynar. Bina sistemi zaman içinde kendini ayarlayan ve öğrenmesini sağlayan bilgisayarlı algoritmalar gibi etkileşimli karakteristikleri ve kullanıcıların çevre koşullarını kontrol etmek için bina cephe elemanlarını fiziksel olarak manipüle etme kabiliyetleri gibi etkileşimli özellikleri içerebilmektedir [3][52][63].

Institut du Monde Arabe, France, (1987)

Paris'te yer alan duyarlı bir uyarlanabilir cephe örneğidir. Cephe yüzeyindeki geometrik düzen; Orta Doğu'da yüzyıllarca kullanılmış olan, Arap mimari unsuru "mashrabiyya" 'dan ilham almıştır. Sistem, binaya girmesine izin verilen ışık miktarını düzenleyen yüzlerce ışığa duyarlı diyafram içerir. Merceğin çeşitli aşamaları boyunca değişen geometrik desenler ile güneş enerjisi kontrolü sağlanır. Mekanik sistem, aynı zamanda kinetik uyarlanabilir cephe unsurudur. Cephe, tarihi Arap mimarisi ve modern mimariyi etkileşim içinde sunar [66].



Şekil 3.10 Monde Arabe binası cephesi [66]

3.1.9 Değişirilebilir Cephe

Değişirilebilir terimi uyarlanabilir cepheler için, genelde şeffaf cephelere sahip binalar için kullanılmaktadır (Şekil 3.11). Akıllı cam teknolojisi ile entegre cepheler dış etkenlere göre opaklık ayarları veya cam sistemlerindeki malzeme yapılarının fiziksel veya kimyasal şekilde değiştirerek uyarlamaya katkı sağlarlar [67].

Festo "Automation Center", Esslingen, Germany, (2015)

Ofis binası cephesi daha fazla ışık ve ısı koruması performansı ve güneş ışığını kontrollu bir şekilde engelleyen elektro-krom cam özelliğinde giydirmeden oluşur. Cephedeki özel cam uyumu, saniyeler içerisinde kullanıcı kontrolü ile gerçekleşmektedir [68].



Şekil 3.11 Festo "Automation Center" cephesi [68]

3.1.10 Dönüştürülebilir Cephe

Dönüştürülebilir cephelerin tepkisi, iklim koşulları, farklı yerler, değişken işlevsel gereksinimler veya acil durumlar gibi sınır koşullarına verimli bir şekilde ayarlanmalıdır. Bu yanıt için, hareketi üreten bir harekete geçirme kuvveti gerekir. Dönüşüm süreci bir kompaktan genişletilmiş bir konfigürasyona ya da tam tersine doğru gider. Dönüşüm aşaması, kontrollü, istikrarlı hareketlerden oluşmalı ve yerine kilitlendikten sonra sağlam ve güvenli bir yapıya neden olmalıdır.

Sharifi'Ha House, Iran, (2013)

İran'da bulunan dönüştürülebilir mimarinin, mega uyarlı cephe ölçeği olarak kabul edilir. Proje, Şerif'Ha Şerif ailesinin üyeleri için, gerekli tüm işlevleri yerine getirmek için tasarlandı. Kullanıcılara, farklı mevsimler için, farklı alanlarda faaliyet imkânı sunan uyarlama ilkesidir. Mega kinetik sistem, kış mevsiminde içe doğru kayan küçük açıklıklı bir cephe görünümündedir. Yaz mevsiminde ise çevre şartlarının rüzgâr yönelimlerine göre tasarlanmış şekilde açıyla geniş açıklıklar yaratır. Mekanları dönüştüren rotasyonu mümkün kılmak için sabit fonksiyonlar arasında boşluk bırakılmıştır [44].



Şekil 3.12 Shape shifting, Sharifi'Ha House cephesi [44]

Tüm bu verilen uyarlanabilir cephe alt örnekleri farklı terimlerle ve isimler ile ilişkilendirilse de aynı amaca hizmet etmektedir. "Uyarlanabilir" terimi, ikili bir kullanımı ifade edebilir. İlki çok sayıda yinleme ile, tasarım sonuçlarında daha fazla esneklik arayışı içinde, çevresel tasarım parametrelerine göre adapte olan, morfo-

genetik tasarım¹ evrimini ifade edebilir. Diğer bir kullanım, yapılı ve doğal çevre arasında gelişmiş bir simbiyoz² aramak için önceden belirlenmiş parametrelere dayanarak, tasarımın çevredeki ortama gerçek zamanlı fiziksel uyumu ifade etmektedir. Uyarlanabilir cephe sistemleri sadece işlevsellik açısından bir optimizasyona yol açmayarak, aynı zamanda enerji tüketimi ve malzeme kaynaklarında önemli azalma sağlayacak potansiyele sahip olmalıdır [44][71].







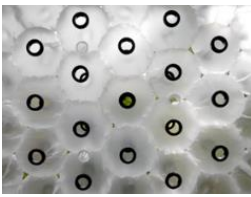
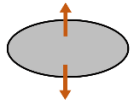



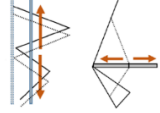
Uyarlanabilir cephe tasarım stratejisi, etmenleri veya yöntemleri incelendiğinde karmaşık bir hal almaktadır. Önerilen birçok sınıflandırma yönteminden referans alınarak oluşturulan matris ile mevcut ve uygulanmış uyarlı cephe örnekleri Çizelge 3.2' de incelenmiştir. Uyarlama amacına göre verilen örneklerde, ısı kontrol ve görsel performans ortak nokta olarak görülmektedir. Uyarlı kinetik cephe duyarlı davranış gösterirken, aynı zamanda etkileşimli davranış gösterebilmektedir. Malzeme davranışına dayanan veya rüzgâr etkisi ile mafsallı çevirme hareketli uyarlı sistemlerin, içsel kontrol sağladıkları görülmektedir. Çizelgeye göre çevirme hareketi yapan uyarlı sistemler; aktivatör, birleşim veya cephe yüzey elemanı olarak görev yapabilmektedir.

Mevcut cepheler genelde tek bir hareket şekli izlerken, *Eskenazi Hastanesi Otoparkı (2014)*, cephesi gibi kayma ve çevirme işlemini aynı anda yapan cephe örnekleri de mevcuttur. *Breathing Skins (2015)*, örneğinde görüldüğü gibi 3B, şişme hareketi yapan cephe örnekleri araştırma ve literatürlerde de görülmeye başlasa da mevcut örnekleri henüz oldukça az durumdadır. Malzeme bazında uyarlanabilir cephe örneklerinde, uyarlama ölçeklerinde net bir ayırım görülmektedir. Aynı zamanda malzeme bazlı uygulamalar ve hafif malzeme ilkesine dayanan biyomimetik tasarım, akustik konfor alanına girmektedir.

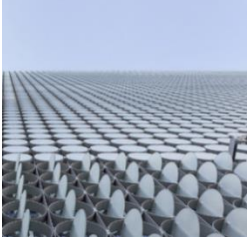





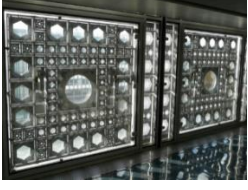
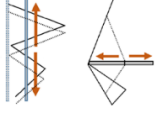




¹ Bilgisayar ortamındaki bir dizi kodlama üzerinden üretilen bir genetik algoritmadaki parametreler değiştirilerek en iyi alternatifin seçimi yapılmasıdır [84].

² Simbiyoz, genel olarak canlılar arası bir ilişki türü olmakla birlikte, bu ilişkiye katılan tüm canlıların fayda görmesi sonucu oluşur (*mutualizm*) [214].

Çizelge 3.2 Mevcut uyarlanabilir cephe sistemleri ([4][39][40][45][48][50][53][54][55][59][73]den yararlanılarak)

Uyarlama & Amacı		Uyarlama	Uyarlı sistem
Isıl kontrol ● İç ortam kalitesi ● Görsel perform. ● Enerji üretimi ● Akustik konfor ● Kullanıcı kontrolü ●		-Ölçek -Kontrol -Zaman	
	Pittsburgh çocuk müzesi, (2004) ● ● Aktif- Kinetik- Etkileşimli (İnteraktif)- Duyarlı	2B/ Makro -İçsel kontrol -dakika	 (çevirme) Aktivatör elemanı
	MEDYA-TIC binası, (2007) ● ● ● Biyomimetik/Biyo- Duyarlı	1B/ Mikro -İçsel kontrol -yıl	 (malzeme davranışı) Cephe yüzey elemanı
	Kiefer Technic Showroom, (2007) ● ● ● Kinetik- Gelişmiş	1B-2B/ Makro -Dışsal kontrol -gün	 (yükseltme-alçaltma) Cephe yüzey elemanı
	Breathing Skins, (2015) ● ● ● ● Biyomimetik/Biyo- Kinetik- Duyarlı	3B/ Makro -İçsel kontrol -dakika	 (şişme) Birleşim elemanı
	SDU Campus Kolding, (2014) ● ● ● Kinetik	2B/ Makro -Dışsal kontrol -gün	 (çevirme) Birleşim elemanı
	Al Bahar Towers, (2012) ● ● ● Kinetik	1B-3B/ Makro -Dışsal kontrol -gün	 (katlama-açılma) Birleşim elemanı

Çizelge 3.2 Mevcut uyarlanabilir cephe sistemleri (devamı)
 ([4][39][40][44][59][60][62][65][66][68][73]den yararlanılarak)

Uyarlama & Amacı		Uyarlama	Uyarlı sistem
Isıl kontrol ● İç ortam kalitesi ● Görsel perform. ● Enerji üretimi ● Akustik konfor ● Kullanıcı kontrolü ●		Ölçek Kontrol Zaman	
	<i>RMIT Design Hub, (2012)</i> ● ● ● Kinetik- Akılcı (<i>Intelligent</i>)	2B/ Makro -Dışsal kontrol -mevsim	 (çevirme) Cephe yüzey elemanı
	<i>Eskenazi Hastanesi Otoparkı, (2014)</i> ● ● Aktif- Kinetik- Duyarlı- Etkileşimli (<i>İnteraktif</i>)	1B-2B/ Makro -İçsel kontrol -dakika	 (kayma-çevirme) Aktivatör eleman
	<i>The University of Cincinnati, (2019)</i> ● ● ● Akıllı (<i>Smart</i>)	1B/ Mikro -İçsel kontrol -yıl	 (malzeme davranışı) Aktivatör eleman
	<i>Institut du Monde Arabe, (1987)</i> ● ● ● Kinetik- Duyarlı	1B/ Makro -Dışsal kontrol -gün	 (katlama-açılma) Birleşim elemanı
	<i>Festo "Automation Center", (2015)</i> ● ● ● ● Değiştirilebilir- Akıllı (<i>Smart</i>)	1B/ Mikro -Dışsal kontrol -dakika	 (malzeme davranışı) Aktivatör elemanı
	<i>Sharifi'Ha House, (2013)</i> ● ● ● ● Kinetik- Dönüştürülebilir	2B/ Mega- Makro -Dışsal kontrol -mevsim	 (çevirme) Birleşim elemanı

3.2 Uyarlanabilir Cephe Sistemlerinde Akıllı Malzeme

Bulduğumuz çevresel koşulların hızla değişimi, bina kullanıcılarının yanı sıra bina performansını da etkilemektedir. Geleneksel cepheler, iklim özellikleri değişken parametrelere sahip olmasına rağmen, oldukça statik bir durumdadır. Bu nedenle iç konforu kontrol etmek için, büyük miktarda enerji kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda, iç mekân ısıtma ve soğutma için enerji tüketiminin, binalardaki toplam tüketilen enerjinin %60'ını oluşturduğu gözlenmiştir [73]. Son zamanlarda akıllı malzemelerdeki araştırmalar oldukça fazla alana yayılmış durumdadır. İklim değişikliklerine daha iyi yanıt verebilmek için, bina cephe tasarımında akıllı malzemelerin kullanımına odaklanan çok fazla çalışma verisi ortaya çıkmıştır. Mimari sistemlerde, çevresel etkenlere uyarlama elde etmek için, akıllı malzemelerin farklı seviyelerde anahtar rol olarak değerlendirilebileceğini belirtilmiştir. Akıllı malzemelerin moleküler, yüzeysel veya sistemsel ölçeklerde entegrasyonunun sağlanabileceği deneyimlenmektedir. Doğadan esinlenerek, bu sistemleri taklit edebilme yeteneğinin oluşması ve binalarda mekanik ve elektrik sistemlerinin kullanılması gerekliliğinin azaltılmasına yardımcı olacağı öngörülmüştür [3][74][75][76].

Haraketli ve uyarlanabilir mimari genelde mekanik ve elektronik algılama ile geliştirilmektedir. Sistemin etkinleştirilmesi için enerji tasarruflu olmayan bir mimariye yol açmaktadır. Bu nedenle, geleneksel malzeme kullanımıyla bu amaca ulaşmak oldukça zor olmaktadır. Akıllı malzemeler, bu amaca hizmet ederek, yeni yaklaşımların yollarının aramaya itmektedir. Akıllı malzemelerin moleküler bileşimleri; nem, sıcaklık, ışık ve karbondioksit gibi çevresel etkilerle etkileşime geçerek performansını kontrol etme yeteneğine sahiptir [80][81][69][82].

3.2.1 Akıllı Malzeme Tanımı ve Sistemleri

Akıllı malzemeler alanı, yirminci yüzyılda büyük oranda gelişmelere tanık olmuştur. Bu durum mimari tasarımın gelişimine de büyük ölçüde katkı sağlamıştır. Akıllı malzemelerin elde edebileceği birçok farklı fonksiyon, akıllı malzeme sistemlerinin oluşturulmasına yol açmıştır. Akıllı malzeme ve akıllı malzeme sistemlerinin yeni teknolojileri, tasarım ve yapım sürecini önemli ölçüde değiştirebilmektedir.

Uygarlık tarihinden de anlaşılacağı gibi; insanlık tarihi, yeni malzemelerin evrimi ile iç içe gelişmiştir. Taş Devri, Tunç Çağı, Demir Çağı ve Sentetik Malzeme Çağı gibi 21. yüzyıl, Çok Fonksiyonlu Malzeme Çağı olarak görselleştirilebilir. Hem sivil hem de askeri ürünlerde üstün özellikler arayışı ile başlayan süreç, yüksek performanslı yeni malzemelerin keşfi için kilit bir itici güç olmuştur. Birçok bilimsel gelişme yüksek performanslı malzemelerin ortaya çıkmasından etkilenmiştir. Akıllı yapıların sentezi ile ilgili temel fikir, ilk kez 1968'de Clauser tarafından kavramsallaştırılmış; bu alandaki faaliyet ancak 1990'lı yıllarda hızla artmaya başlamıştır. Akıllı malzemelerin çoğunun keşfi, geçtiğimiz yüzyılda gerçekleştiyse de ticari kullanılabilirliği, maliyeti ve davranışlarının anlaşılması, ticari ürünlerde yaygın olarak kullanılmasının önündeki önemli engeller olmuştur. Bugün, en popüler akıllı malzemelerden biri, güçlü piezo elektrik özellikler sergileyen poli kristalli piezo seramiktir. Diğer popüler akıllı malzemeler arasında elektstriktifler, manyetostriktifler, şekil hafızalı alaşımlar ve ER/MR sıvıları bulunur [83].

Akıllı malzemeler; lokal veya iç sensörler, aktüatörler ve kontrol mekanizmalarına sahip bir uyarıyı algılamak, önceden belirlenmiş bir şekilde ve ölçüde, uygun bir zamanda cevap veren ve uyarı çıkarıldığı anda orijinal durumuna geri dönen malzemeler olarak genel bir tanımla belirtilmiştir. Bu malzemeler akıllı terimi dışında uyarlanabilir, duyarlı, hesaplamalı gibi benzer terimlerle de ifade edilmiştir [77][78][79].

Geleneksel sistemlere göre sınıflandırılmayan akıllı malzemeler değişim özellikleri, kullanım alanları gibi durumlara göre birçok araştırmacı ve literatür tarafından farklı şekillerde sınıflandırılmıştır. Addington ve Shodek, (2005), çalışmaları ayrıntılı ve kavramsal bir çalışma örneğidir. Akıllı malzemeler genel olarak iki şekilde sınıflandırmıştır.

- **Tip 1: Özellik Değiştiren Akıllı Malzemeler**

Doğrudan dış uyarılara cevap olarak özelliklerinden bir veya daha fazlasında değiştirme özelliğine sahip akıllı malzemelerdir. Bu değişiklikler doğrudan ve geri dönüşümlü şekilde olabilmektedir. Bu tür değişiklikleri yönlendirmek için harici bir kontrol sistemine gerek yoktur. Renk ve optik değiştiren akıllı malzemeler bu malzemelere bir örnek olarak verilebilir [85][86].

- **Tip 2: Enerji Alışverişi Yapan Akıllı Malzemeler**

Bu malzemeler enerji alışverişi yaparak bir formdan farklı bir forma tersinir şekilde geçiş yapabilme özelliğine sahiptir. Herhangi bir enerji çeşidini farklı bir enerji çeşidine dönüştürebilirler. Örneğin elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürmek gibi. Şekil değiştiren akıllı malzemeler, elektrik üreten malzemeler enerji alışverişi yapan malzemelere örnek olarak gösterilebilir [36][86].

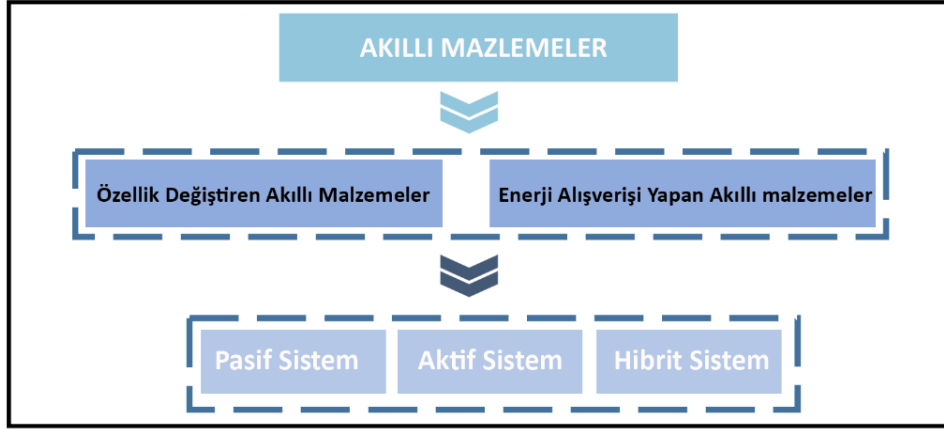
Bir diğer önemli araştırmacı, Ritter, (2007), mimaride ve tasarımda akıllı malzeme kullanımı ile ilgili yaptığı çalışmalarda tüm akıllı malzemeleri üç türe ayırmıştır:

- 1- Özellik Değiştiren Akıllı Malzemeler,
- 2- Enerji Alışverişi Yapan Akıllı malzemeler,
- 3- Madde Alışverişi Yapan Akıllı malzemeler [89].

Akıllı malzeme sınıflandırması çok katmanlı bir şekilde yapılmaktadır. Akıllı malzemenin fiziksel davranışları ve bu fiziksel davranışların etkisi, önemli etmenler arasındadır. Akıllı malzemeleri geleneksel malzemelerden ayıran birçok özelliği bulunmaktadır. Bunlardan birkaçı şunlardır;

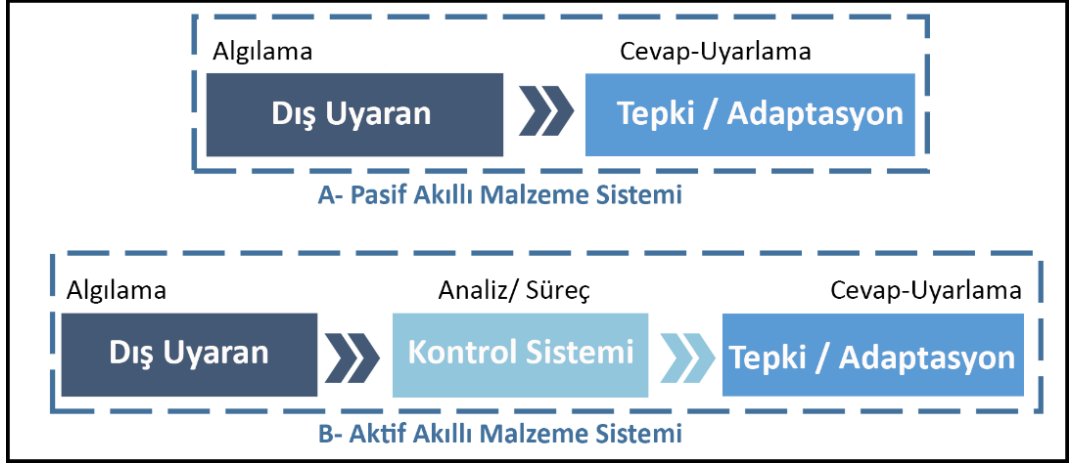
- *Kolaylık*: Akıllı malzemeler, uyarıcılara gerçek zamanlı olarak yanıt verebilmektedir.
- *Geçici*: Akıllı malzemeler birden fazla uyarana veya çevresel etkiye yanıt verebilir.
- *Kendi kendini çalıştırma*: Akıllı malzemenin yanıt vermesini kontrol eden şey malzemenin içsel kontrolüdür.
- *Seçicilik*: Akıllı malzemelerin tepkisi belirgindir özelliklere sahip ve öngörülebilirdir.
- *Direkt*: Akıllı malzemenin uyarana karşı yanıtı, onu aktive eden durumla sınırlıdır [36][42].

Akıllı bir malzeme bir veya birkaç özelliğe sahip olma yeteneğindedir. Bu durum bir sistem oluşturmak için yeterli bir durum değildir. Uyarlanabilir cephe sistemleri karmaşık sistemler bütünüdür. Akıllı malzemeler bu sistemlere birkaç farklı akıllı malzeme kullanılarak veya sisteme geleneksel malzemeler ile entegre olarak uygulanmaktadır. Sistemin verdiği tepki şekli, akıllı malzemeleri sınıflandırmak için farklı bir yol olabilir (Şekil 3.13) [85].



Şekil 3.13 Akıllı malzeme sistemleri için bir sınıflandırma önerisi [90]

- Pasif akıllı malzeme sistemleri; çevresel etkenler yoluyla oluşan değişikliklere doğrudan eyleme geçerek cevap vermektedir. Uyarlamayı başlatmak için gerekli aktivasyon enerjisi dış kaynaklardan temin edilmektedir. Bu durumun yarattığı döngü sürdürülebilir bir durum yaratmaktadır [87][90].
- Aktif akıllı malzeme sistemleri; çevresel etkenleri algılayan bir sistem tarafından malzemenin kontrol edilmesidir. Bu ara yüz malzemenin verebileceği tepki seviyesini de yönetebilme yeteneğine sahiptir. Sistemin çalışması için bir enerji kaynağı gerekmektedir (Şekil 3.14) [87][90].
- Hibrit akıllı malzeme sistemleri hem aktif hem de pasif sistemlerin özelliklerini bir araya getirebilir. Malzeme çevre koşullarına içsel özellikleri ile yanıt vererek dönemsel olarak pasif şekilde hareket ederken, aynı zamanda değişen çevre koşullarına dahil olabilmesi için aktif bir sistem tarafından izlenebilir ve kontrol edilebilir. Hibrit sistemler daha yüksek performans ve karmaşıklık seviyelerine ulaşma yeteneğine sahiptir [88].



Şekil 3.14 Akıllı malzeme sistemleri çalışma prensibi için sınıflandırma önerisi [87]

Akıllı malzeme ve sistemleri konusunda ayrıntı çalışmalar yapan; Addington ve Shodek, (2005) ve Ritter, (2007) çalışmaları Çizelge 3.3' de karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Her ikisi de benzer alt başlıklara değinmiştir. Addington ve Shodek, (2005) malzeme odaklı bir inceleme yaparken, Ritter, (2007) başlıkları tekrar alt başlıklara ayırarak akıllı malzemeleri inceler. Madde alışverişi yapan akıllı malzemeler başlığının bir diğer ayırım olduğu görülür.

Çizelge 3.3 Akıllı malzeme sınıflandırma önerileri karşılaştırması [36][43][89]

Özellik Değiştiren Akıllı Malzemeler	
Addington ve Schodek	Ritter
<ul style="list-style-type: none"> • Renk değiştirme • Faz-Değiştirme • İletken Polimerler ve Diğer Akıllı İletkenler • Reolojik Özellik Değişimi • Sıvı Kristal Teknolojileri • Askıya alınmış partikül görüntüler 	<ul style="list-style-type: none"> • Şekil Değiştiren Malzemeler • Renk ve Optik Değiştiren Malzemeler • Adezyon Değiştiren Malzemeler
Enerji Alışverişi Yapan Akıllı Malzemeler	
Addington ve Schodek	Ritter
<ul style="list-style-type: none"> • Işık Yayan • Temel Yarı İletkenler • Fotovoltaikler, LED'ler, Transistörler • Termoelektrik • Piezoelektrik Etkileri • Şekil Hafıza Alaşımları ve Polimerler 	<ul style="list-style-type: none"> • Işık Yayan Malzemeler • Elektrik Üreten Malzemeler • Faz Değiştiren Malzemeler
Madde Alışverişi Yapan Akıllı Malzemeler	
Addington ve Schodek	Ritter
–	<ul style="list-style-type: none"> • Madde Alışverişi Yapan Malzemeler- Gaz / Su veya Parçacık Depolayan malzemeler

Son zamanlarda uygulanan akıllı malzemelerin mimari uygulamalardaki kullanımları akıllı malzeme sistemleri davranışsal yönleri ile kategorize edilmektedir. Ritter ve Muller yaptığı çalışmalarda akıllı malzeme sistemlerinin mimari uygulamalardaki yerini 3 ana başlığa ayırmıştır;

Yapısal performans:

1- Güvenlik denetimi,

2- Kendini iyileştirme özellikleri.

İklim ve Enerji Performansı:

1- Gizli Isı Depolama,

2- Uyarlanabilir Günışığı Sistemleri,

3- Enerji Hasadı.

Mimari performans:

1- Aydınlatma ve Görüntüleme Teknolojisi,

2- Uzay Bölümü,

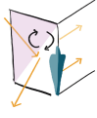
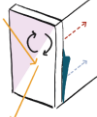
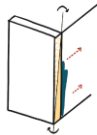
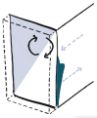
3- Estetik ve Eğlence Uyarlamaları,

4- Kendi Kendini Temizleyen Teknoloji [59].

3.2.2 Akıllı Malzeme ve Uyarlanabilir Cephe Elemanları

Akıllı malzemeler uyarlanabilir cephelerde birçok cephe elemanına farklı amaç ve farklı cinslerde entegre edilmiştir. Mevcut cephe uygulamaları incelendiğinde, akıllı pencereler, opak dış cephe kaplaması, ara katman veya opak iç kaplama gibi elemanlarda yer aldığı görülmüştür (Çizelge 3.4). Örneğin; akıllı pencere uygulamalarında birçok şekilde dinamik performans sağlamaktadır. Özel film tabaka, pigment veya moleküler bazda kullanımları mevcuttur. Ara katman veya opak iç kaplama yerleşimlerinde uyarlama aktivasyonu için cihaz veya cihaz entegrasyonu olarak kullanılmaktadır. Isıl, hidro ısı veya gölgeleme kontrolünde uyarlama sağlarlar.

Çizelge 3.4 Uyarlanabilir cephe bileşenlerinde akıllı malzemelerin kullanım şekli [73]

Olası elemanlar	Amaç	Otoreaktif cephe elemanı
 <p>Akıllı pencere</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Kendi kendini gölgelendirme - ısıtma etkisi 	<ul style="list-style-type: none"> A. Film B. özel kimyasal bileşim/ nanoteknoloji C. Mürekkep / pigmentler
 <p>Opak dış cephe kaplaması</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Sıcaklık değişimi (renk değişimi) - Güneş yansıması değişimi (opaklık değişimi) 	<ul style="list-style-type: none"> A. Film B. Mürekkep / pigmentler C. Toz D. Plastik topaklar E. Boyalar
 <p>Ara katman</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Entegre ısı kontrol 	<ul style="list-style-type: none"> A. Cihaz B. Ara katman dolgu
 <p>Opak iç kaplama</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Entegre Hidroisıl kontrol 	<ul style="list-style-type: none"> A. Cihaz B. Yüzey- İç yüzey

Uyarlanabilir cephelerde kullanılan akıllı malzemeler incelenen tablolarda görüldüğü gibi birçok farklı alana entegre olarak sisteme farklı amaçlar ile hizmet edebildiği görülmüştür. 4. Bölümde uyarlanabilir cephe sistemlerinde akıllı malzeme uygulamaları daha ayrıntı bir biçimde incelenmiştir.

AKILLI MALZEMELER VE UYARLANABİLİR CEPHELERDE GÜNCEL UYGULAMALARI

Akıllı malzemelerin benzer kullanımlarına göre araştırmalar, çok sayıda bulunmaktadır. Fakat içsel özelliklerinden cephe sistemine doğru ve kullanım amacıyla paralel davranışları, literatür taraması ve araştırmalar arasında çok fazla yer almamaktadır. Bu bölümde akıllı malzemeler davranışsal özelliklerine göre güncel uyarlanabilir cephe örnekleri ve prototip uygulamaları ile birlikte ayrıntılı bir şekilde anlatılarak örneklendirilmektedir.

4.1 Adezyon Değiştiren Malzemeler (ADM)

Adezyon değiştiren akıllı malzemeler, uyarıcıya yanıt olarak adezyon veya kohezyon çekim kuvvetlerini tersine çevrilebilir şekilde değiştirebilen malzemeler ve ürünlerden oluşmaktadır. Katı, sıvı veya gaz halinde bir bileşen, bir atom veya bir molekül yapısında olabilir. Bu durum ışık, sıcaklık, elektrik alanı, nem veya biyolojik bir bileşenin etkisi ile gerçekleşmektedir [89].

Adezyon (yapışma), farklı türdeki bileşenlerin molekülleri arasındaki çekme kuvvetini tanımlar. Aynı zamanda bir maddenin başka türde bir maddeye yapışmasıdır. Adezyon oluşturan maddeye “*adeziv*”, adezivin uygulandığı maddeye ise “*adherend*” adı verilir [91]. Kohezyon (birbirini tutma) ise aynı türdeki moleküllerin birbirine uyguladığı, onları birarada tutan çekme kuvvetidir. Yani bir maddenin kendi kendine yapışması moleküllerinin birbirini tutmasıdır [92].

Moleküller arasındaki kuvvetin yapışma şekillerine göre adezyon kuvveti üçe ayrılmaktadır;

- *Fiziksel Adezyon:* Adesiv ve Adherend maddeler arasındaki kimyasal bağlanmadır. Bu bağlanmayı sağlayan kuvvetler Primer veya Sekonder kuvvetler olabilir. Primer iyonik bağlar (pozitif ve negatif yüklü atomlar arasındaki) ve kovalent bağlar (atomlar arasında elektron ortaklaşması ile gerçekleştirilen), Sekonder bağlar (elektron bulutu içine yerleşmiş iyonlar ile oluşan) ve Van der Waal's bağları¹. Örneğin hidrojen elementinin H₂ şeklinde bulunması.
- *Kimyasal Adezyon:* Kimyasal bağ, farklı bileşenler arasındaki ana çekim kuvvetlerini sağlar. Farklı yapıdaki moleküllerin atomları arasında meydana gelen zayıf bağlanmadır [89].
- *Mekanik Adezyon:* Bu çekim kuvvetleri temel olarak farklı bileşenler arasında kenetlenme veya ankrajlama sonucu ortaya çıkar.

Katı, sıvı veya gaz halinde olan bileşenler bazında; *Foto Adesiv Akıllı Malzemeler*'de ışığa, *Isıl Adesiv Akıllı Malzemeler*²'de ısı değişimine, *Elektro Adesiv Akıllı Malzemeler*³'de elektrik alanına, *Hidro Adesiv Akıllı Malzemeler*'de sıvı bileşenlere, *Biyo Adesiv Akıllı Malzemeler*⁴'de biyolojik bileşenlere yanıt olarak moleküller arası çekim kuvvetleri değişir.

Günümüzde; *foto adesiv* ve *hidro adesiv* akıllı malzemeler, mimarlık alanında özel bir öneme sahiptir. Foto adesiv akıllı malzemeler, sıvı bileşenlerin ıslanma açısı ve ışığa tepki olarak katı bileşenlere uygulanır. Hidro adesiv akıllı malzemeler, elektrik dönüşümü ile ışığa yanıt olarak su üreten malzemeler içerir; su, iki katı bileşen arasında yapışkan ortam olarak görev yapabilir.

¹ Van der Waals kuvvetleri, moleküller arasındaki etkileşimlerden kaynaklanan zayıf çekim kuvvetleridir.

² Isıl plastikler, güçlü ısıl-yapışkan özelliklere sahip akıllı malzemelerin bir örneğidir, ısıtıldığı zaman eriyebilen ve yeniden şekillendirilebilen polimerlerdir [93].

³ Uyarıcıya yanıt olarak elektrostatik alan üretebilir (Örneğin, havada yüzen iyonize parçacıklarla tersine bağlanabilir).

⁴ Yapışkan maddeler salgılayan bir besin maddesi ve taşıyıcı katman üzerindeki canlı bakterileri içerdiği düşünülebilir. (Örneğin polisakarit lif formu) [89].

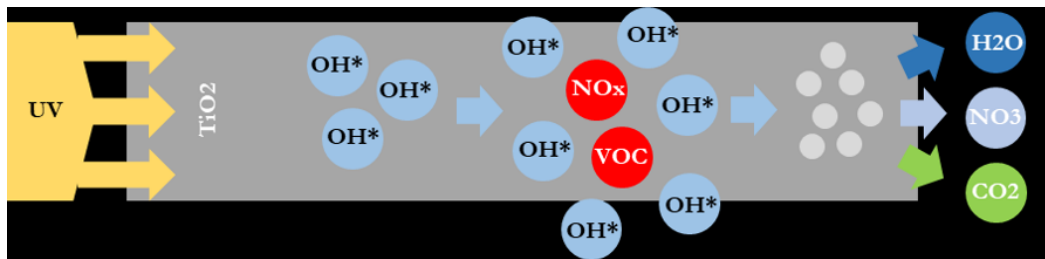
4.1.1 TiO₂ Katkılı Akıllı Malzemeler

Titanyum dioksit (TiO₂), emme veya yüzeye tutunma ile kendisine tutunan kirletici maddeleri, ışık etkisi altında su ve karbondioksite parçalayarak, foto adesiv etki gösterir (Şekil 4.1). Ticari olarak 1909 yılından beri kullanımda olsa da mimari uygulamalarda ilk kez 1995 yılında Japonya’da seramik yüzey kaplamalarında kullanıma girmiştir. Mimari uygulamalarda gitgide yaygınlaşmaktadır [94].



Şekil 4.1 Titanyum dioksit (TiO₂) [96]

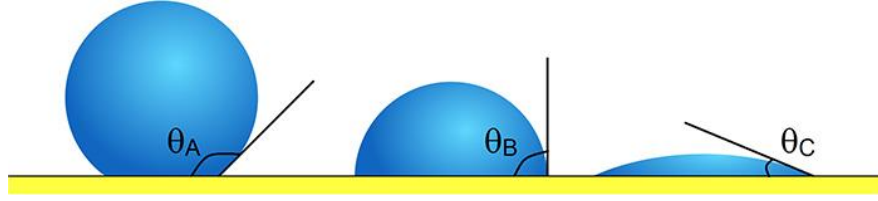
Birçok yapı malzemesine; ince filmler ile, kaplama veya pigment olarak, TiO₂ entegre edilmiştir ve böylece foto katalitik özellik kazandırılmıştır (Şekil 4.2). Duvar kağıtları, beton yüzeyler, camlar, dış cephe boyaları, alüminyum paneller, yapı membranları gibi uygulamalarda yer alır [95].



Şekil 4.2 Titanyum dioksit UV ışığı altında foto katalitik aktivite göstergesi [97]

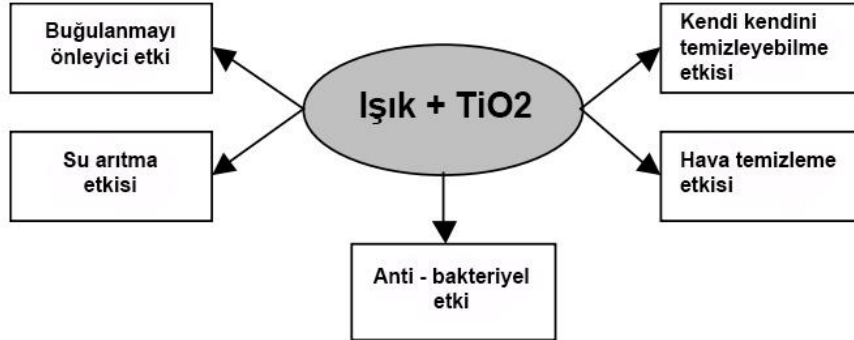
1995 yılında Fujishima ve ekibi, TiO₂ entegre malzemeler üzerinde, *fotokatalitik* özelliklerin yanı sıra *süperhidrofilik* özelliklerin de bulunduğunu ortaya koymuştur. Bu durum, kendi kendini temizleyebilen malzeme kullanımına ilgiyi arttırmıştır. Suyun akışındaki eğim yüzdelerine göre $\theta < 30^\circ$ ise *hidrofilik*, $\theta < 10^\circ$ ise *süperhidrofilik* olarak adlandırılmaktadır (Şekil 4.3). Su parçacıkları, yüzeyin hidrofilik özelliği sayesinde, film

tabakası şeklinde yayılır. TiO_2 , titanyumun kullanılan en önemli bileşiği olarak görülmektedir¹.



Şekil 4.3 Su parçacıklarının katı yüzeyde oluşturduğu açılar (θ_c =süperhidrofilik) [98]

Tüm bu özellikler, TiO_2 'yi hem endüstriyel hem de tüketici sektörleri için son derece popüler kılmaktadır. TiO_2 'nin erime noktası $1.843\text{ }^\circ\text{C}$, kaynama noktası $2.972\text{ }^\circ\text{C}$ 'dir [101], doğal ortamda katı haldedir ve suda çözünmez, yalıtkan özelliğe sahiptir. Işık saçma kabiliyeti (kırılma indisi), elmas malzemedenden de yüksek orandadır [102]. UV altında foto katalitik özellik göstermesi; yüzeylere arıtma, koruma, steril etme ve buğulama önleme gibi özellikler sağlar (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Titanyum dioksit foto katalizinde ana faaliyet alanları [103].

TiO_2 aşağıda yer sıralanan fiziksel özelliklere sahiptir.

- *Parlaklık*: Diğer maddelerden farklı olarak parlaklık, renk gücü, opaklık ve inci görünümü sağlar.
- *Dayanıklılık*: Isıya, ışığa ve aşınmaya karşı kararlılık, boyanın bozulmasını, filmlerde ve plastiklerin gevrekleşmesini önler.

¹ Kristal kafes yapıları birçok kaynakta rutil, anataz ve brookit olarak tanımlanmıştır [99][100].

- *Koruyuculuk*: UV ışınımını saçma ve absorbe etme kabiliyetine sahiptir. TiO₂ cilde zararlı, kansere neden olan UV ışınlarından koruyan güneş kremi için çok önemli bir bileşendir.
- *Toksik olmamak*: Toksik ve reaktif olmayan, diğer gıda maddelerini etkilemeden, gıda ve ilaçlarda kullanılabilir.

Güçlü: Güneş panellerinde foto katalist olarak kullanılır, havadaki kirleticileri azaltır [101].

TiO₂, ölçekleri pigment veya nano malzeme olarak üretilmektedir. Bu durum özelliklerinde farklılıklar yaratmaktadır. Pigment dereceleri yaklaşık olarak 200-350 nm iken nano partikül olarak 100 nm kullanılır. Pigment derecesi foto katalist özellikler için kullanılırken nano partiküller olarak kullanıldığında hidrofilik özellikler taşımaktadır. Doğada titanyum elementi ve bileşik TiO₂ mineral şekillerde ortaya çıkmaktadır. Saf titanyum dioksit oluşturmak için kimyasal işlemler kullanılmalıdır. Çoklu uygulamalarda yaygın olarak kullanılan TiO₂ için kullanılan kimyasalların ve üretilen atıkların seviyelerini azaltmak için üretim süreci geliştirilmektedir. Yan ürünleri geri dönüştürmek için araştırmalar yapılmaktadır [104].

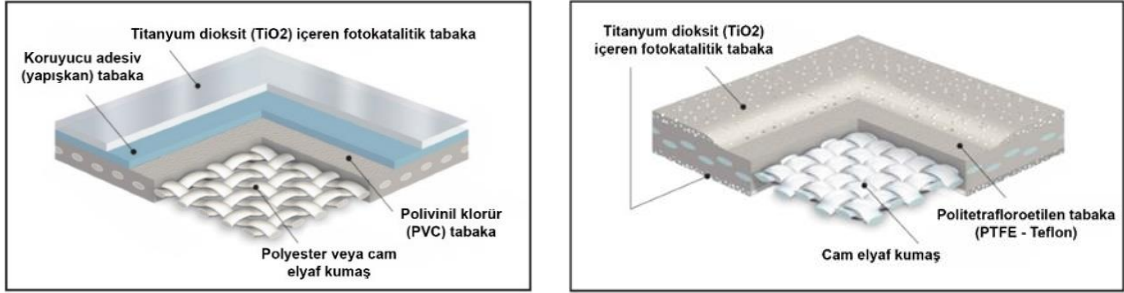
Hidrofilik Lotus Etkisi TiO₂ yüzey tasarlanmanın en çok kullanılan etkilerden biridir. Lotus bitkisinin özelliği, mikroskobik olarak pürüzlü su geçirmez bir yüzeye sahip olmasıdır. Bu pürüzlü yüzeyler hidrofobik¹ balmumu tabakası ile güçlendirilerek az miktarda su ile yüzeyin temizlenmesine katkıda bulunulur. Mimari uygulamalarda bu etki *Lotus-Effect* etkisi olarak bilinmektedir [105]. Yeni teknolojilerin gelişmesi ile son zamanlarda su ve hava arıtımı için TiO₂ kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Fotokataliz özellikleri ana faaliyet alanlarında başta gösterilmektedir. Geleneksel ileri oksidasyon² işlemleri ile karşılaştırıldığında fotokataliz teknolojisinin ortam sıcaklıklarında kurulum kolaylığı, çalıştırma, işlem sonrası uygulama gereksinimini yok etme, düşük enerji tüketimi ve düşük maliyetler gibi avantajlar sağladığı görülmüştür [103].

¹ Suyu sevmeyen veya sudan kaçan moleküler özelliklerdir [144].

² Maddelerin oksijen ile kimyasal tepkimeye girmesi, oksitlenme işlemi, maddelerin elektron verme prosesidir. Oksidasyon olayı oksijenin bir elementle birleşmesi ya da bir maddedeki oksijen miktarının artmasıdır [226].

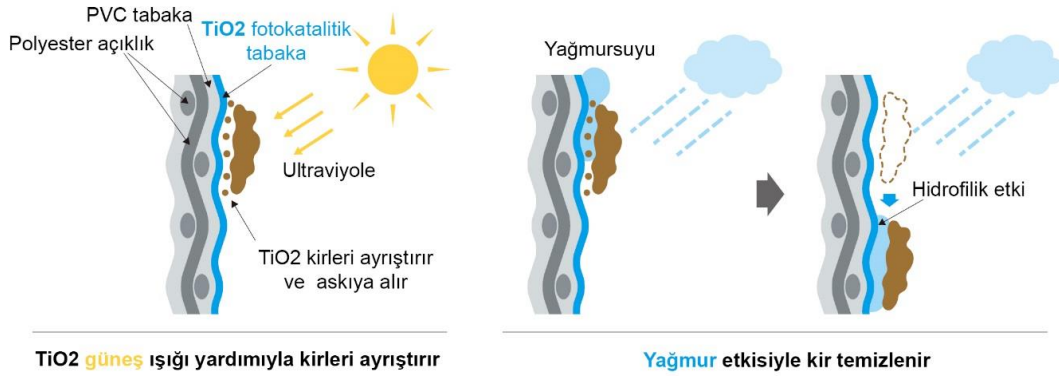
TiO₂ Katkılı Membran Uygulaması

Fotokatalitik membran yapılar; kendini temizleme özelliği için, TiO₂ kaplama teknolojisini kullanır. Günümüzde PVC veya PTFE membran tabaka üzerine uygulamaları mevcuttur (Şekil 4.5). Kir ile mücadele özelliği, çevresel koşullara bağlı olarak değişir [106][107].



Şekil 4.5 TiO₂ içerikli PVC ve PTFE membran tabakaları [107]

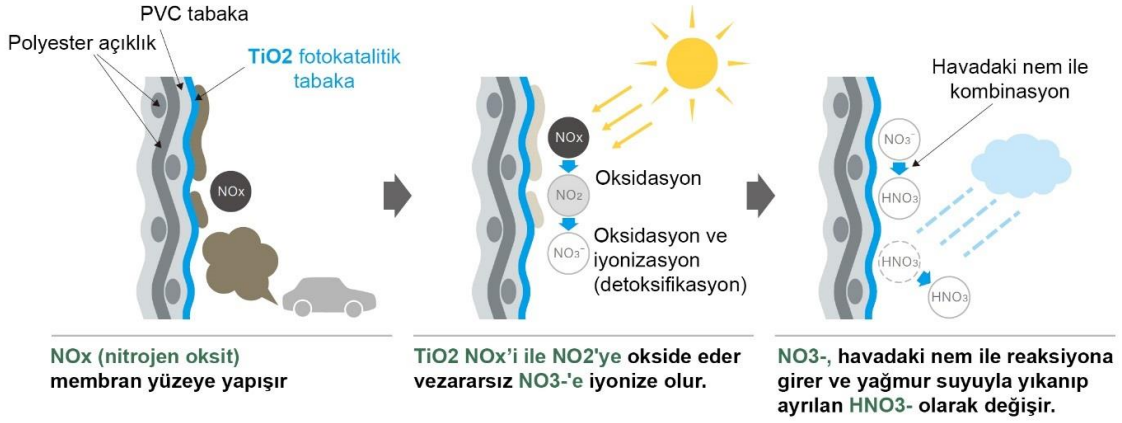
Membran olarak uygulanan TiO₂ fotokatalitik tabakası, UV ışınları altında organik maddeleri parçalar (Şekil 4.6); ayrışan lekeler, yağmursuyu altında, hidrofilik etki ile yüzeyden kolayca temizlenir [108].



Şekil 4.6 TiO₂ içeren, PVC kaplı kumaşın kendini temizleme işlemi [108]

Şehirlerde hava kirliliğinin nedenlerinden biri de, otomobillerin NO_x emisyonlarıdır. TiO₂ kaplı membran, oksidasyon reaksiyonu ile NO_x'i parçalayarak, çevresindeki havayı temizler (Şekil 4.7).

Ayrıca; foto katalitik özelliğe sahip TiO₂, beton karışımına katılmakta ve betonun estetik özelliklerini kaybetmeden, kullanım ömrü boyunca, üzerine gelen kirliticileri ayrıştırarak, betonun aynı renk ve dokuda kalmasını sağlamaktadır.



Şekil 4.7 NO_x azaltma işlemi koruyucu adesiv (yapışkan) tabaka [108]

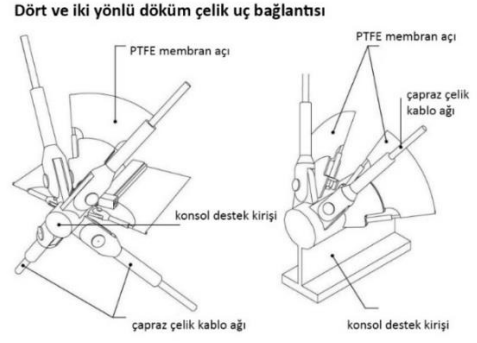
Kral Fahd National Library (2013)

Suudi Arabistan, Riyad'ın aşırı kurak ikliminde bulunan binanın cephesi, kullanıcı görüşünü engellemeden binaya doğal ışık girmesini sağlar, kendi kendini temizleyebilme özelliğine sahiptir. Kütüphane, 440.000 m²'lik alanı yenileme çalışması olarak tasarlanmıştır. Cephe, aynı zamanda, kültürel yapının muhafazakârlığı ile paralellik gösterirken, sokak hayatını bina içerisinden görme imkânı sağlar, yerel göçebe geleneğe atıfta bulunur. Karmaşık geometrik cephe deseni, İslami süslemenin zengin tarihini de yansıtmaktadır. Suudi Arabistan'da değerli nesnelere örtmenin bir gelenek olma olgusu ile bütünleşik bir tasarım ortaya koymaktadır.

38°C'yi aşan sıcaklıkların yaşandığı bu şehirde, binanın cephesinde kendi kendini temizleyen membran kullanımı uygun bulunmuştur [109]. Cephe, 1000 adet modüler sisteme gerili membran bölümlerden oluşur. Bej renkteki membranın güneşte sarıya bürünerek zamanla beyazlaşmakta olduğu gözlenir. Mimar Gerber, üçgen biçimli membran tabakaları çapraz çelik kablo ağları ile germiş, bunları konsol kirişlere mesnetleyerek cephe tentesini tasarlamıştır (Şekil 4.8).



(a)



(b)

Şekil 4.8 (a) Kral Fahd National Library cephesi, (b) cephe tasarımı işlev detayı [109]

Manuel Gea Gonzalez Hastanesi (2011)

Uyarlanabilir cephe Elegant Embellishments adlı Alman firması'nın tasarımıdır. Kimya firması Alcoa tarafından, çevresindeki havayı temizleyebilecek teknoloji sistemi [111] kullanılan cephede; TiO_2 katkılı beton, süngerimsi özelliği ile havadaki serbest radikalleri içine çekerek, toksinleri yok etmeye yardımcı olmaktadır. Cephe formu kimyasal reaksiyonu etkinleştirmek için gereken UV ışığını saçarken, türbülans yaratarak bina etrafındaki hava akışını da yavaşlatır (Şekil 4.9) [110].

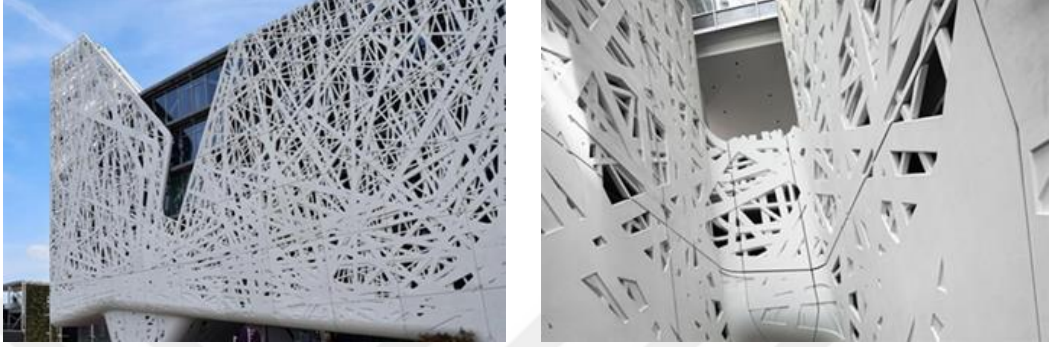


Şekil 4.9 TiO_2 katkılı beton, Manuel Gea Gonzalez Hastanesi cephesi [111][110]

Palazzo Italia (Milan Expo Binası) (2015)

2012'de İtalya, Avrupa'da en çok kirlenmeye bağlı ölümlerin gerçekleştiği ülke olmuştur. Ülkede 84.000'den fazla kişi, kötü hava kalitesi nedeni ile erken yaşta ölmüştür. Milano, yalnızca ülkede değil, kıtada da en kirli şehirlerden biri olmaya devam etmektedir. Yapılan çalışmalarda Dünya Sağlık Örgütü'ne göre, şehir sakinlerinin yüzde 80'i kirli hava solumaktadır, solunum yolu ve kalp-damar hastalıkları artmaktadır.

Bu durumla mücadele için simgesel olarak tasarlanan yapıda, kirleticileri zararsız tuzlara dönüştüren fotokatalitik çimento kullanılmıştır [112]. Bina cephesinde kullanılan 9.000 m²lik aktif betonun; 100 dizel araç veya 300 benzinli araçtan gelen NO_x'i temizleyeceği öngörülmüştür (Şekil 4.10). Beton cephe, klasik cam giydirme cephenin üst yüzeyine çift cidarlı olarak monte edilmiştir [113].



Şekil 4.10 TiO₂ katkılı beton, The Milan Expo cephesi [113][112]

Bertram and Judith Kohl Binası (2010)

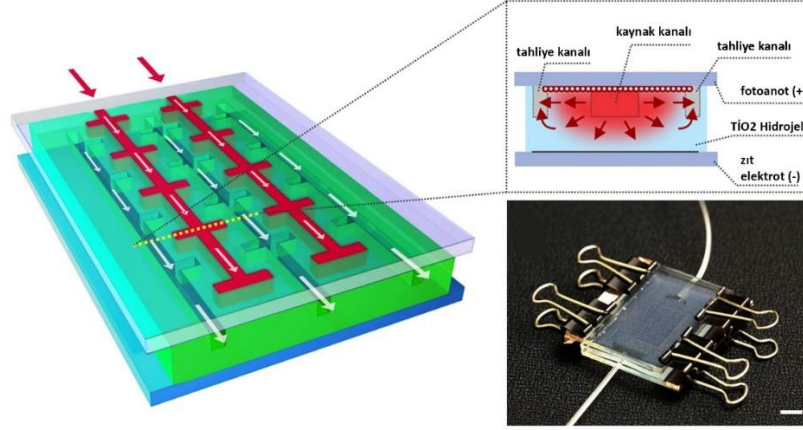
Westlake Reed Leskosky tarafından A.B.D.'de tasarlanan binanın; kendisi ve etrafındaki havayı temizlemeye yardımcı olan ilk TiO₂ katkılı alüminyum cephesi mevcuttur. Bina cephesi havayı aktif olarak temizlemek için güneş ışığı, su buharı ve havadaki oksijeni kullanarak, kirleticileri gidermek için çalışır. Bina cephesinin, her gün dört aracın NO_x emisyonunu temizleme gücüne sahip olduğu öngörülmüştür. Binanın LEED Gold alan çevresel sistem modeli, LEED kriterlerinin çok ötesinde fırsatlar sunmaktadır. Çevresel koşullara yanıt verebilen bina, uyarlanabilir cephelerin statik adımlarına bir örnek teşkil etmektedir [99][114].



Şekil 4.11 TiO₂ alüminyum panel, Bertram ve Judith Kohl cephesi [114].

Hidrojel ile yenilenebilir PV cihaz (2013)

Mikro akışkan ikmal ağına sahip biyomimetik¹ bir tasarım prototipidir. Cihazda TiO₂ katkılı hidrojel kullanılmıştır (Şekil 4.12)² TiO₂ katkısı, foto katalitik özelliği sayesinde fotovolttaik hücrelerin performansını arttırmaktadır [115].







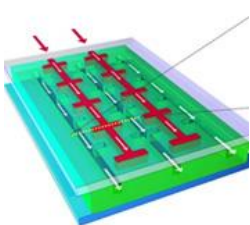
Şekil 4.12 TiO₂ katkılı hidrojel prototipi ve kesit detayı [115]

ADM içeren uyarlanabilir cephe sistemleri, Çizelge 4.1'de kullanım amaçları, malzeme birleşimleri ve uyarlanabilir sistem elemanı parametrelerinde incelenmiştir. Mevcut örnekler genel olarak ısıl ve görsel performansa katkıda bulunmaktadır. TiO₂ katkısının beton, membran, alüminyum veya hidrojel gibi farklı malzeme çeşitleri ile birçok cephe elemanı olarak bir arada çalışabildiği örneklerde mevcuttur. *Hidrojel ile yenilenebilir PV cihaz (2013)*, örneğinde ADM; hibrit akıllı malzeme davranışı göstererek aktivasyona katılır. Enerji üretimi ve kullanıcı konforu sağlayarak diğer örneklerden farklılık göstermektedir.

¹ Biyomimetik, insanların doğada bulunan sistemleri taklit ederek yaptıkları maddelerin, aletlerin, mekanizma ve sistemlerin tümünü ifade eden bir terimdir [235].

² Mikro akışkan kanal ağı şemasında; beyaz oklar, boya ve elektrolit moleküllerinin konveksiyon baskın taşınmasını göstermektedir. TiO₂ nano parçacıkları ve PV katalizörleri, sırasıyla foto anot ve karşı elektrot üzerinde biriktirilir. Kırmızı oklar, kaynak kanalları ve tahliye kanalları arasındaki yanıl yayını gösterir. TiO₂ filminin alanı 3 cm², kalınlığı 6 mm'dir.

Çizelge 4.1 ADM uygulanan uyarlanabilir cephe sistemleri (TiO₂)
 ([4][59][73][109][111][113][114][115]den yararlanılarak)

Uyarlama & Amacı		Uyarlı sistem
Isıl kontrol ●	İç ortam kalitesi ●	Görsel perform. ●
Enerji üretimi ●	Akustik konfor ●	Kullanıcı kontrolü ●
	Kral Fahd National Library (2013) ● ● ● Akıllı (<i>smart</i>)- Duyarlı	(Beton + TiO₂) -Pasif akıllı malzeme davranışı -Cephe yüzey elemanı
	Manuel Gea Gonzalez Hastanesi (2011) ● ● ● Akıllı (<i>smart</i>)- Duyarlı	(Membran + TiO₂) -Pasif akıllı malzeme davranışı -Birleşim elemanı
	Palazzo Italia (Milan Expo Binası) (2015) ● ● ● Akıllı (<i>smart</i>)- Duyarlı	(Beton + TiO₂) -Pasif akıllı malzeme davranışı -Cephe yüzey elemanı
	Bertram and Judith Kohl Binası (2010) ● ● Akıllı (<i>smart</i>)- Duyarlı	(Alüminyum + TiO₂) -Pasif akıllı malzeme davranışı -Cephe yüzey elemanı
	Hidrojel ile yenilenebilir PV cihaz (2013) ● ● Biyomimetik/Biyo ilham- Duyarlı- Aktif- Akılcı (<i>intelligent</i>)	(Hidrojel+ TiO₂) -Hibrit akıllı malzeme davranışı -Aktivasyon elemanı

4.2 Renk ve Optik Değiştiren Malzemeler (RODM)

Renk ve optik olarak değişen akıllı malzemeler, ışık, sıcaklık, basınç, elektriksel veya manyetik alanın etkisi ile bir veya daha fazla uyarana yanıt olarak renklerini, optik özelliklerini tersine çevirebilen akıllı malzeme ve ürünler grubunda bulunmaktadır [89].

Mevcut renk değiştiren ve optik olarak değişen akıllı malzemeler, tetikleyici uyarılarına göre ayırt edilir.

- *Foto kromatik akıllı malzemeler:* Işığın etkisi ile veya elektromanyetik enerji etkisi ile renklerini değiştirirler.
- *Termo kromatik ve termotropik akıllı malzemeler:* Sıcaklığın ve ısı enerjisi değişimi uyarı etkisi ile renk veya saydamlığını değiştirebilirler.
- *Mekanik kromatik akıllı malzemeler:* Basınç veya sürtünmenin etkisi ile mekanik enerjiyi renk dönüşümünde tetikleyici olarak kullanırlar.
- *Elektro kromatik ve elektro optik akıllı malzemeler:* Elektrik alanlarının, elektronların veya iyonların elektrik enerjisi etkisi ile uyarılarak, renklerini veya optik özelliklerini değiştirebilirler.
- *Kemo kromatik akıllı malzemeler:* Kimyasal bir ortam ve enerjinin etkisi ile renk ve optik değişikliğe uğrarlar.

Renk ve saydamlığını değiştiren malzemeler güncel olarak mimaride genelde şeffaf yüzeylerde kullanılmaktadır. Tüm akıllı cam teknolojileri benzer etkileri sağlarken, reaksiyonlar farklılık göstermektedir.

4.2.1 Foto Kromatik Malzemeler

• Foto Kromatik Cam

İlk çağlarda En çok bilinen foto kromatik malzeme, camdır (Şekil 4.13). Foto kromatik camlarda, cam içinde asılı nano boyutta gümüş halojenür (gümüş klorür veya gümüş bromür) molekülleri, UV-A ışığına maruz kaldığında fotokimyasal reaksiyon ile iyonlaşır [116].

İyonlaşma reaksiyonu: $n \text{ (AgCl)} \rightarrow n \text{ (Ag)} + n \text{ (Cl)}$

Serbest elektronlar, renksiz gümüş katyonları (Ag^+) ile birleşerek elementel gümüşü (Ag) oluşturur ve cam kararır [116].

Camın kararırma reaksiyonu: (Ag^+) + (e^-) \rightarrow (Ag)

Gümüş, saydam bir madde olmadığı için, camın opaklığının artarak kararırmasına neden olur. İşlemin tamamlanması genel olarak ~30 sn sürer. İşlemin tersinir hale gelmesi için güneş ışığına maruz kalmamalı ve 2-5 dk. süre geçmelidir [117][118].



Şekil 4.13 Foto Kromatik film kaplı cam değışimi [119]

Prairiefire Museum (2014)

Verner Johnson tarafından bölgesel sivil toplum merkezi olarak tasarlanmıştır. Müzenin mimarisi bölgenin zengin tarihi hikayesini vurgulayarak, bölge halkı için bir kimlik oluşturmayı amaçlar. Tasarım konsepti, Kansas'ın kır görüntüsünü çağrıştırmaktadır. Açıklıklarda yenilikçi dichroic film kaplı foto kromatik cam kullanılmıştır (Şekil 4.14). Foto kromatik cam uygulaması hareketli ve çarpıcı bir etki sağlamaktadır. Bu etki, kullanıcılar ile etkileşim kurarak pasif uyaran ve değışebilir cepheyi oluşturmaktadır [120].



Şekil 4.14 Prairiefire Müzesi cephesi [121]

- **Foto Kromatik Pigment**

Sistem Foto kromatik pigmentler, kristal toz formunda geri dönüşümlü ham boyalardır (Şekil 4.15). 300-360 nm aralığında UV'ye maruz kaldığında renk değiştirirler, değişim ~20-60 sn kadar sürer. Boyalar birbirleri ile uyumludur, birlikte karıştırılabilir. Foto kromatik pigmentler ekstrüzyona¹ tabi tutulabilir, enjeksiyon ile kalıplanabilir, dökülür veya bir mürekkep halinde eritilebilir [122].



Şekil 4.15 Foto Kromatik pigment renk değişimi [123].

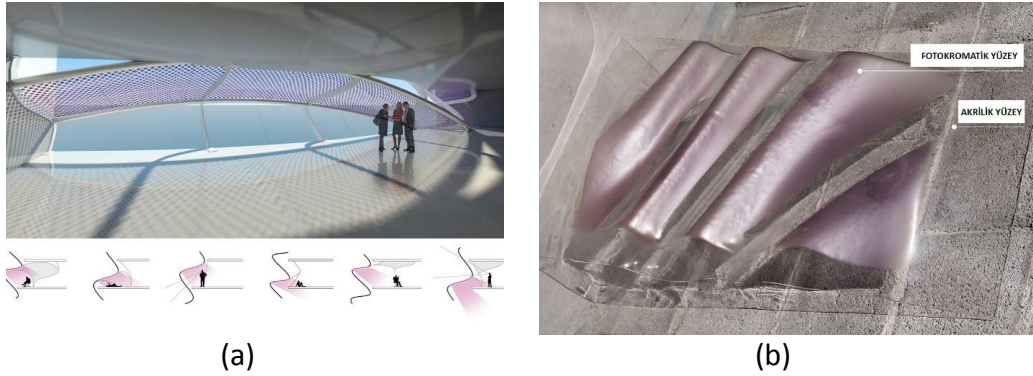
Foto kromatik boyalar çeşitli boya, mürekkep ve plastik (PVC, PVB, PP, CAB, EVA, üretiler ve akrilikler) üretimlerinde kullanılabilir. Boyalar, organik çözücülerin çoğunda çözünmektedir, kullanıcı isteğine göre farklı renkleri bulunur [122].

Chromatic Skins (2014)

Institute for Advanced Architecture of Catalonia tarafından yürütülen; foto kromatik pigmentler ve sensörlerin kullanımı ile parametrik cephe sistemlerinde pasif gölgelendirme sistemi elde etme amacına yönelik bir araştırma projesidir. Mürekkep balığının, farklı koşullar altında renk ve desenlerini rakipsiz bir oranda değiştirme

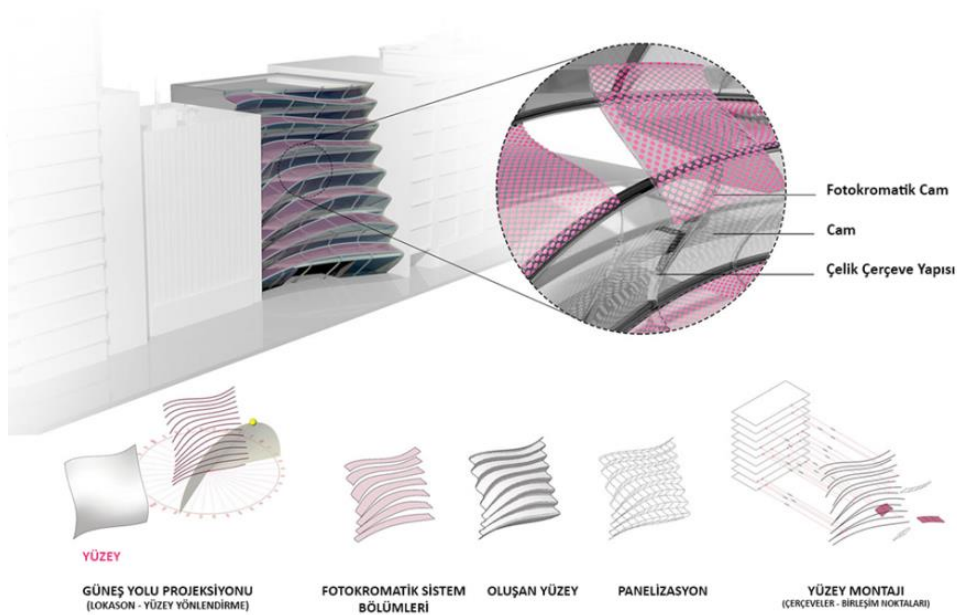
¹ Ekstrüzyon yöntemi, çubuk, profil, boru, tel ve diğer kalın cidarlı profillerin biçimlendirilmesinde kullanılan önemli bir plastik şekil verme yöntemidir.

kabiliyetinden esinlenerek geliştirilmiş bir projedir. Pigmentler, cephenin UV'ye maruz kalma şiddeti ile orantılı olarak kararır (Şekil 4.16).



Şekil 4.16 Chromatic Skins, (a) iç mekân gölge açıları, (b) proje ön modeli [124]

Bina cephelerindeki klasik fotokromatik malzemelerin bütünsel olarak kullanımına tepki olarak tasarlanmıştır. Cephe yüzeyi, güneş ışığı projeksiyon lokasyonlarına göre fotokromatik yüzeylere ayrılmaktadır (Şekil 4.17). Pasif uyarlanabilir, akıllı bir cephe sistemidir; ısı ve ışık kontrolü ayrıca görsel performans için tasarlanmıştır.



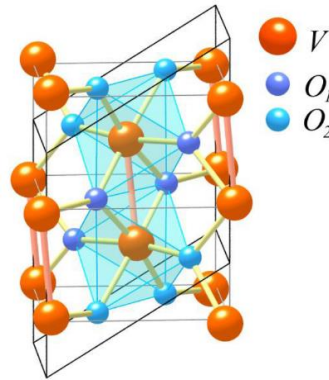
Şekil 4.17 Chromatic Skins, cephe yüzeyi tasarım aşaması ve detayları [124]

Foto kromatik akıllı malzeme türleri, genellikle mimari cephe giydirmelerinde tercih edilmez. Çünkü, reaksiyon sadece güneş ışığı etkisi ile oluşmaktadır, bu da kontrol güçlüğüne neden olur. Binalarda kullanılan doğal ışığın faydaları ve kullanıcı kontrolü

göz önüne alındığında, güncel yaklaşımlarda çoğunlukla termo kromatik veya elektro kromatik çözümler tercih edilmektedir.

4.2.2 Termo Kromatik Malzemeler

Güncel termo kromatik malzemelerden en yaygın olanı Vanadyum dioksit'tir (VO_2). Elektriği ileten, fakat ısıyı iletmeyen bir metal olarak tanımlanır¹. Elektronlar arasında oluşan senkronize hareketler, elektronların birbirleri ile daha az etkileşime girmesine neden olur ve ısı iletimini azaltır (Şekil 4.18) [125].



Şekil 4.18 Sıcaklık 68 °C olduğunda yarı iletken VO_2 'nin moleküler yapısı [125]

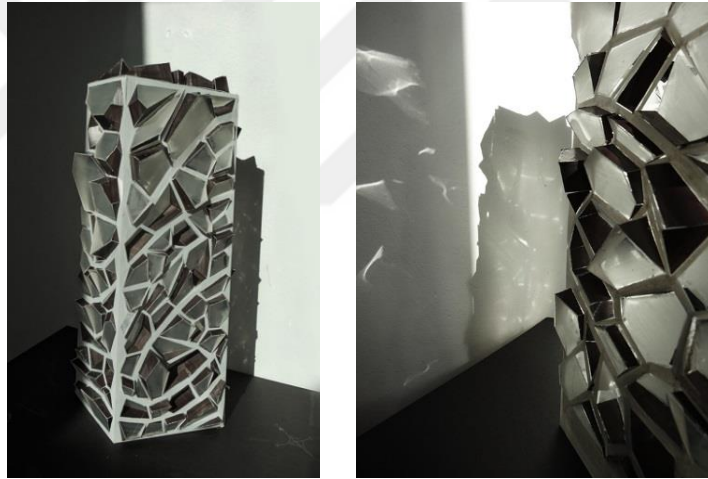
Sıcaklık değişimi daha rahat kontrol edebilir bir etki olduğu için, mimari kullanımı oldukça yaygındır. Termo kromatik pencereler, ısıya veya soğuğa maruz kaldıklarında, her iki çevresel etkiye kolaylıkla uyum sağlayabildiği için, iklim kontrolünde son derece verimli bir rol oynamaktadır [118].

Termo Kromatik Duyarlı Cephe Modeli (2015)

Odile Schlossberg tarafından tasarlanan çift cidarlı cephe, pasif ısıtma ve soğutmaya katılarak iklime bağlı değişiklere tepki göstermektedir. Opak yüzeyler, proje için dikkate alınan ana etmen olan ışık yüzeylerinden daha fazla güneş kazancı sağlamaktadır. Cephe yüzeyinde kromatik desenler ile sonuçlanan dijital bir radyasyon çalışması ile

¹ Bu metal, Wiedemann-Franz yasası ile çalışmaktadır. Wiedemann-Franz yasasına göre, elektriği iyi ileten metaller, doğru orantılı olarak ısıyı da iyi iletir. Fakat bu durum, metalik VO_2 için geçerli değildir. VO_2 , 68°C sıcaklığa maruz kaldığında şeffaf bir yalıtıktan, iletken bir metale dönüşmektedir [126]. Elektronlar, diğer malzemelerde, rastgele ve bireysel olarak hareket ederken bu malzemede, birbirleri ile uyumlu bir biçimde hareket etmektedir. Yüksek sıcaklıktaki kristal yapısı, basit bir tetragonal kafes üzerine kuruludur.

başlar. Desen, başlangıçta, yüzeylerin 2 boyutlu bir çizimi ile ısı derlemelerinin renk geçişi deseni için eğrileri belirlemektedir. Cephe, aralık ve haziran ayları boyunca güneş ışınımının en yüksek ve en düşük açlarına ulaştığı gündüz yollarını anlamak için analiz edilmiştir. Cephe desenlerinde maksimum tonu belirlemek için renk geçiş eğrileri kullanılmıştır. Güneş açılarının maksimum ve minimum eğrileri, cephenin 3B katlanmasını ve geometrik desenini belirlemiştir. Termo kromatik malzeme, 3B geometrik desenin kenarında bulunmaktadır (Şekil 4.19). Cephe üç katmandan oluşmaktadır; UV kaplama, siyah termo kromatik pigment ve beyaz bir yüzey. Malzeme, güneş ışınımıyla ısındığında siyah pigment berraklaşır ve altındaki beyaz yüzeyi ortaya çıkarır. Bu durum, cephenin sıcak mevsimlerde güneş ısıyı yansıtmasını sağlar. Soğuk havalarda, pigment siyah kalır ve gün ısı kazanımı sağlar. Yüzey sıcaklıkları, oryantasyonlarına ve çevreleyen içeriğe bağlı olarak değişmektedir. Bu durum cephe boyunca farklı gri tonlarına neden olmaktadır [127].



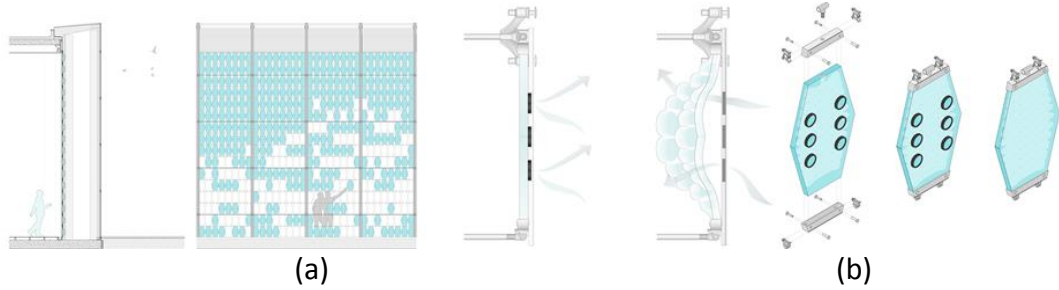
Şekil 4.19 Termo kromatik duyarlı cephe ön modeli [127]

Pneumatic Cephe ön modeli (2018)

Profesör Andrzej Zarzycki'nin önerisi üzerine doğal canlı organizma sistemlerini taklit eden akıllı cephe ve çevresel koşullara uyum sağlama konusundaki gerçek zamanlı yeteneklerinin geliştirilmesine odaklanmıştır. Bina cephesi tasarımında yeni bir yaklaşım olarak; esnek kaplamalar ve pnömatik¹ uyarılar ile yüzey, performansa dayalı ve görsel olarak çekici nitelikleri birleştirir. Yumuşak robotik devindiriciler güneş

¹ Basıncı hava ile çalışan mekanik sistemlerdir.

işığı kontrol eder, doğal havalandırma kontrolü sağlar ve iç ortam sıcaklığını düzenler. Silikon bazlı aktivatörler, termo kromatik silikon boya ve manyetik demir tozu dahil, adaptif cephe düzeneğine farklı fiziksel özellikler sağlayan çok sayıda kompozit malzemeyi birleştirir (Şekil 4.20) [128].



Şekil 4.20 (a) Pneumatic Cephe görünüşü (b) silikon adapte modülleri [128]

Termo kromatik silikon boya, ortam sıcaklığına bağlı olarak malzeme rengini ve saydamlık seviyesini değiştirirken, mıknatıslanmış silikon yumuşak aktivatörleri çift cidar boşluğunun içine ve dışına hava hareketini kontrol etmek için perde duvar camı ile kapatmaya yardımcı olur. Bu kombinasyon, kapsamlı ve performansa sahip bir cephe tasarımı geliştirmek için bir dizi elektronik (gömülü), hava basılmış ve malzeme teknolojisinden yararlanan aktif cephelere yeni bir yaklaşım getirmektedir.

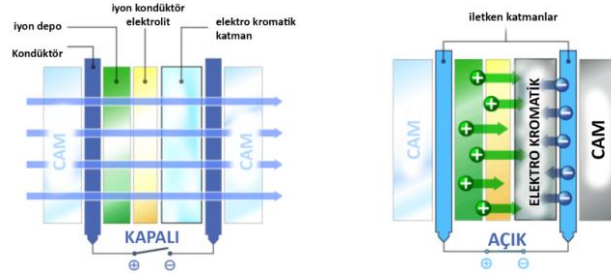


Şekil 4.21 Prototipe sıcaklık uygulandığındaki renk değişimi [128]

4.2.3 Elektro Kromatik Malzemeler

Mimarlar ve tasarımcılar, kontrol mekanizması ve homojen değişim sebepleri ile, elektro kromatik malzemeleri daha fazla tercih etmektedir. Tek bir kontrol tuşu ile hızla, saydamdan opak görünüme geçer, ayrıca diğer kromatik malzemelere göre bir diğer avantajı, homojen değişimi sayesinde kademeli tonlanma yapmamasıdır. Elektro kromatik malzemeler çok sayıda Lityum (Li) iyonu ile yüklenebilen birkaç ince katman veya kaplama içermektedir. Elektrik akımı etkisi ile, lityum iyonları ve elektronlar, bir

tabakadan diğerine aktarılarak cama renkli bir etki verir. Akım durdurulduktan sonra tersine çalışarak malzeme eski haline döner.



Şekil 4.22 Elektro kromatik cam katmanları ve çalışma şekli [129]

Bina cephelerinde kullanım için en yaygın türdür. Kullanıcı malzeme ve sistem üzerinde tam kontrole sahiptir (Şekil 4.22). Ayrıca elektro kromatik cam, termo kromatik camın avantajlı yalıtıcı ve enerji verimli özelliklerinin birçoğunu sunabilme kapasitesine sahiptir. Kolay erişilebilirlik ve manuel olarak çalıştırma esnekliği diğer avantajları arasındadır [130][131].

Dirty Habit Restoranı (2016)

Washington D.C.'nin merkezinde yer alan popüler restoran cephesinde ~185 m² ve bir tavan penceresini kaplayan *SageGlass* tasarımı, gün boyu güneş hareketine cevap olarak otomatik olarak kararabilen elektro kromatik bir cephe önerisi sunmaktadır (Şekil 4.23). Müşterilerine görsel açıdan oldukça keyifli bir alan sunan cam giydirme cephe, Hotel Monaco'nun yarattığı estetiği de koruyarak, çevresindeki klasik canlanma mimarisini tamamlamaktadır. Bu bölgedeki dinamik camlı tek restoran olma özelliğine sahiptir.


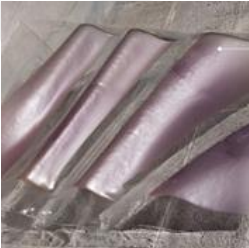
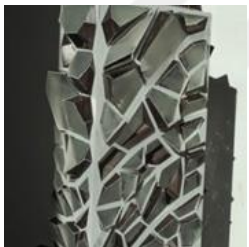

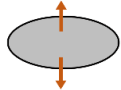


Şekil 4.23 Dirty Habit Restoranı cephesi [132]

RODM, içeren uyarlanabilir cephe sistemleri, Çizelge 4.2'de uyarlama amaçları, tetikleyici uyarın, malzeme birleşim şekilleri ve uyaralı sistem elemanı matrisinde incelenmiştir. Örnek verilen, kromatik malzeme kullanılan uyarlanabilir cephelerin tümü akustik konfor sağlamaktadır. Pigment veya film tabakası halinde kullanılmaktadır. Elektro kromatik malzemenin diğer malzemelerden farklı olarak, aktif akıllı malzeme davranışı ve kullanıcı kontrolü sağladığı görülmüştür. *Pneumatic Cephe ön modeli (2018)*, kinetik uyarlanabilir cephe özelliğindedir. Cephe de dolgu malzemesi olarak kullanılan termo kromatik malzeme, hibrit davranıştaadır.



Çizelge 4.2 RODM uygulanan uyarlanabilir cephe sistemleri ([4][59][73][121][124][127][128][132]den yararlanılarak)

Uyarlama & Amacı & Uyarın		Uyarlı Sistem Elemanları (Kromatik Malzeme Davranışı)
Isıl kontrol ●	İç ortam kalitesi ●	Görsel perform. ●
Enerji üretimi ●	Akustik konfor ●	Kullanıcı kontrolü ●
	Prairiefire Museum (2014)	(Cam+Film)
	● ● ●	-Pasif akıllı malzeme davranışı
	Akıllı (smart)- Duyarlı- Etkileşimli (İnteraktif)- Değişirilebilir	-Cephe yüzey elemanı
	Foto Kromatik Malzeme	
	Chromatic Skins (2014)	(Cam+Pigment)
	● ● ●	-Pasif akıllı malzeme davranışı
	Akıllı (smart)- Biyomimetik/Biyo ilham- Duyarlı- Değişirilebilir	-Birleşim elemanı
	Foto Kromatik Malzeme	
	Termo Kromatik Duyarlı Cephe Modeli (2015)	(Ara katman+Pigment)
	● ● ● ●	-Pasif akıllı malzeme davranışı
	Akıllı (smart)- Duyarlı- Değişirilebilir	-Cephe yüzey elemanı
	Termo Kromatik Malzemeler	
	Pneumatic Cephe ön modeli (2018)	(Silikon+Pigment) / (şişme)
	● ● ● ●	
	Akıllı (Intelligent)- Biyomimetik/Biyo ilham- Duyarlı- Değişirilebilir- Kinetik	-Hibrit akıllı malzeme davranışı
	Termo Kromatik Malzeme	-Birleşim (dolgu) elemanı
	Dirty Habit Restoranı (2016)	(Cam+Film)
	● ● ● ● ●	-Aktif akıllı malzeme davranışı
	Akıllı (Intelligent)- Duyarlı- Değişirilebilir	-Aktivasyon elemanı
	Elektro Kromatik Malzeme	

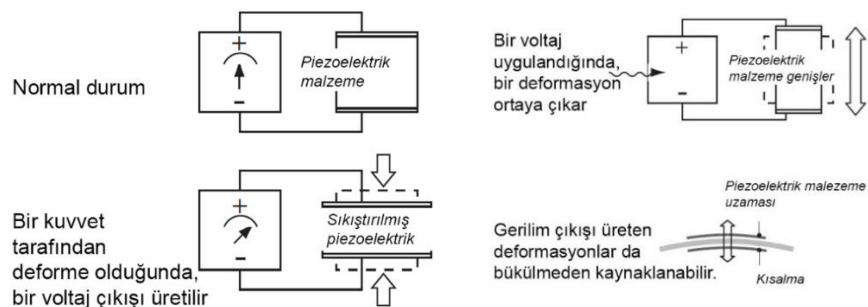
4.3 Elektrik Üreten Malzemeler (EÜM)

Elektrik üreten akıllı malzemeler, dış etkilerin oluşturduğu bir veya daha fazla uyarana elektrik akımı üreterek cevap veren akıllı malzemelerdir [89], tetikleyici uyarılarına aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- *Fotoelektrik akıllı malzemeler; ışığın etkisi veya elektromanyetik enerji uyarılarıyla elektrik akımı üretir.*
- *Termoelektrik akıllı malzemeler; sıcaklık ve ısı enerjisini elektrik akımına çevirir.*
- *Piezoelektrik akıllı malzemeler; basınç gerilmesini elektrik enerjisine dönüştürür [36].*
- *Kemoelektrik akıllı malzemeler; kullanıcı bağlantısı ve kimyasal bir ortamın etkisiyle uyarıldığında elektrik akımı üretir.*

4.3.1 Piezoelektrik Malzemeler

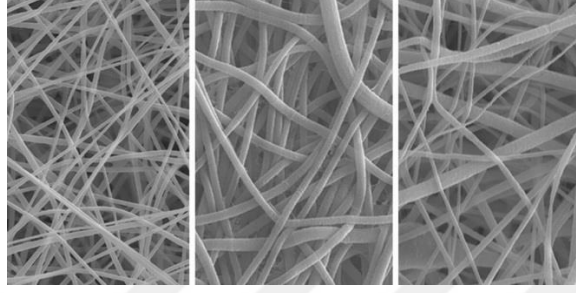
Piezoelektrik fenomen Yunancadaki 'Piezo' yani baskı teriminden gelmektedir. İlk gözlemi Pierre ve Jacques Curie kardeşler tarafından deneyimlenmiştir. Doğal olarak oluşan elektriksel ve mekanik formlar arasındaki pozitif ve negatif yüklü moleküllerin enerji dönüşümüne dayanmaktadır (Şekil 4.24). Güncel hayatta; bazı mikrofon veya hoparlör tipleri, kömür ızgarası ateşleme cihazları, titreşimi azaltan kayaklar, kapı zili iticileri gibi cihazlarda piezoelektrik etkisi deneyimlenmektedir. Uygulanan basınç gerilmesinin oluşturduğu şekil değiştirme, elektrik üretir; mekanizma tersine de çalışabilir, elektrikten basınç gerilmesi ve şekil değiştirme de oluşturulabilir. Bu durum piezoelektrik etki olarak adlandırılmaktadır. Piezoelektrik etki anlıktır ve piezoelektrik cihazlar küçük basınç gerilmelerine karşı hassastır [36].



Şekil 4.24 Piezoelektrik akıllı malzeme davranışı [36]

Piezoelektrik PVDF nano fiber membran (2018)

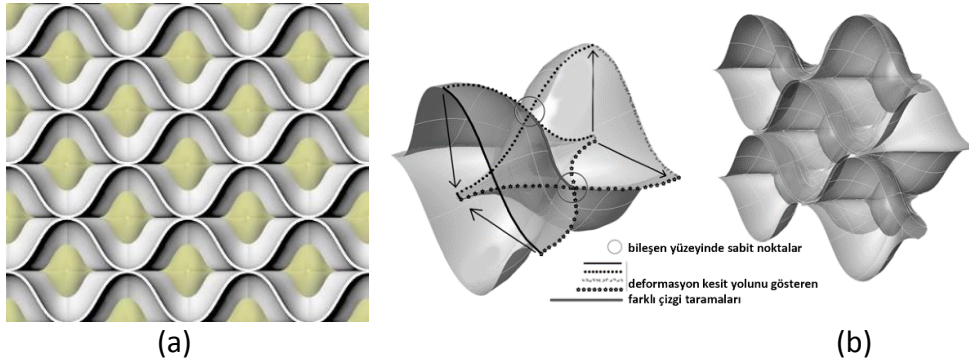
S. Gee, B. Johnson, A.L. Smith tarafından South California University’de ortaya çıkmış bir çalışmadır. *Polyvinylidene Fluoride* (PVDF) isimli yarı kristalize polimerin¹ nano lifli membranına (Şekil 4.25), basınç gerilmesi uygulanarak elektrik üretilebilir. Ancak, araştırmacılar bu durumu tersine kullanarak su arıtma için yeni bir yöntem geliştirmektedir [133] [134].



Şekil 4.25 Su Filtrasyonu için Piezoelektrik Membranlar [134]

Bionic Breathing Skin (2007)

Cephe prototipi, elastik bir formun elektrik akımı ile kasılmaları ve gevşemeleri ile dağınık bir havalandırma sistemine dönüşmektedir. Cephe formu; deniz süngerlerinin solunum yüzeylerinden esinlenerek tasarlanmıştır, akciğer benzeri odacıkların konumu temel bileşende sabitlenir (Şekil 4.26). Piezoelektrik malzemeler ile fonksiyonel ünitelerin şekil değiştirme hızları kontrol edilir [135][136].



Şekil 4.26 (a) Bionic Breathing Skin modeli, (b) model kesit detayı [135][136]

¹ PVDF, Polyamides, Polyureas ve sıvı kristaller; yüksek esneklik, dayanım ve darbe dayanımı nedeni ile piezo-elektrik uygulamalarda kullanılmaktadır.

Strawscrapper Stockholm gökdeleni (2013)

İsveç merkezli stüdyo Belatchew Arkitekter tarafından; gökdelenin, bir rüzgâr çiftliğine dönüştürülmesi için tasarlanmıştır. Amaç, bina cephesini elektrik üreten tüye benzer uzantılarla kaplayarak; rüzgâr basıncını (Şekil 4.27), piezoelektrik etki ile elektrik enerjisine dönüştürmektir. Dış cephenin sürekli değişimi, gece boyunca değişen renklerde aydınlatma ile görsel bir etkileşim imkânı sunmaktadır. Akustik kontrol da sağlayarak, gürültü sorununa alternatif bir teknik olarak değerlendirilebilir. Hafif bir rüzgâr esintisi bile sistemi tetikleme gücüne sahiptir [137].



Şekil 4.27 Strawscrapper Stockholm gökdeleni 3B görseli [137]

Fuzz.Box konut binası (2013)

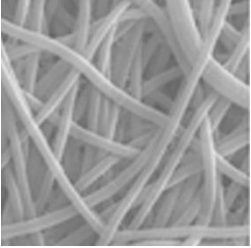
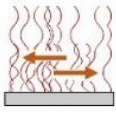
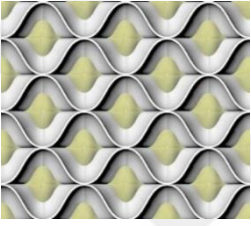
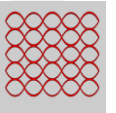

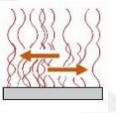

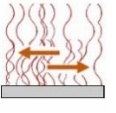
Mimar Bradley Edwards tarafından tasarlanan projede, Amsterdam ve çevresi için özellikle rüzgâr kaynaklı sürdürülebilir enerji tercih edilmiştir. Borneo-Sporenburg mahallesine elektrik sağlayabilecek bir enerji toplama sistemi tasarlanmıştır. Bölgede ort. 23 km/saat'lik rüzgâr hızı, cephe yüzeyini kaplayan piezoelektrik lifler ile elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Üretilen elektriğin miktarı, liflerin hareket hızı ile orantılıdır. Fuzz.Box binasının yüzeyini kaplayan toplam 5.610.000 lifin, günde 2244kWh veya 64 ev için yeterli enerjiyi tek başına üretebileceği öngörülmüştür. Burada, piezoelektrik liflerin kalitesi sonuçları etkileyecektir [138].



Şekil 4.28 Fuzz.Box konut binası 3B görseli [138]

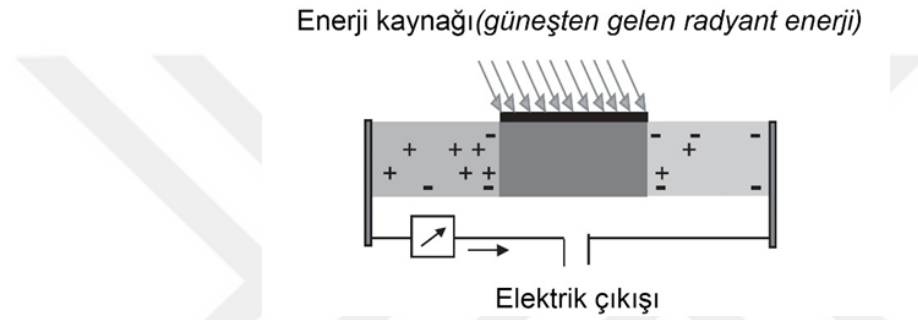
Elektrik üreten Piezoelektrik malzeme, içeren uyarlanabilir cephe sistemleri, Çizelge 4.3'de uyarlanabilir özelliklerine göre diğer çizelgelerle benzer alt başlıklara göre incelenmiştir. Malzeme örneklerde fiber kablo formunda uygulanmıştır. *Bionic Breathing Skin (2007)*, projesinde elektrik akımı etkisi kasılma ve gevşeme hareketi göstererek akılcı, hafif kinetik sistem oluşturur. Cephe hareketi kullanıcı kontrolü ile yapıldığı için diğer sistemlerden farklılık gösterir. Sistem elektrik üretimi hariç, tüm uyarılma amaçlarına karşılık vermektedir. Piezoelektrik fiber kablolar rüzgâr basınç etkisi ile oluşan serbest hareketi elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Bu bağlam uyarlı cephe sistemlerinin çoğunluğunda kullanılmıştır.

Çizelge 4.3 EÜM uygulanan uyarlanabilir cephe sistemleri, (Piezoelektrik)
([4][59][73][134][135][137][138]den yararlanılarak)

Uyarlama & Amacı		Uyarlı Sistem Elemanları & Uyarın
Isıl kontrol ●	İç ortam kalitesi ● Görsel perform. ●	(Piezoelektrik malzemeler)
Enerji üretimi ●	Akustik konfor ● Kullanıcı kontrolü ●	
	Piezoelektrik PVDF (2018) ● ● ● Akıllı (<i>smart</i>)- Duyarlı- Biyomimetik/Biyo ilham- Kinetik	 (serbest hareket) -Cephe yüzey elemanı -Aktivatör eleman, basınç gerilemesi
	Bionic Breathing Skin (2007) ● ● ● ● ● Akıllı (<i>Intelligent</i>)- Biyomimetik/Biyo ilham- Duyarlı- Kinetik	 (kasılma&gevşeme) -Aktivatör eleman,akım geçerek -Cephe yüzey elemanı,
	Strawscrapper Stockholm (2013) ● ● ● Akıllı (<i>smart</i>)- Biyomimetik/Biyo ilham- Duyarlı- Kinetik	 (serbest hareket) -Cephe yüzey elemanı -Aktivatör eleman
	Fuzz.Box (2013) ● ● ● Akıllı (<i>smart</i>)- Biyomimetik/Biyo ilham- Duyarlı- Kinetik	 (serbest hareket) -Cephe yüzey elemanı -Aktivatör eleman

4.3.2 Fotovoltaik (PV) Teknoloji

Fotovoltaik teknolojilerin işleyişi temel olarak yarı iletken fenomene dayandırılmaktadır. Fotovoltaik modül, güneş enerjisi ve yarı iletken etkiyle elektron seviyelerinde bir değişime neden olur. Modülün bir tarafında negatif yüklü elektronlar ağırlıklı olarak bulunurken, ikinci tarafından pozitif yüklü elektronlar bulunur (Şekil 4.29). Negatif bir yükün pozitif tarafa uygulanması, yüklerin elektrostatik olarak birbirlerinden uzağa çekilmesine, elektronsuz bir bölge oluşmasına neden olur. Elektronlar, bariyer bölgesinden akarak elektrik akımı meydana getirir. Silikon en yaygın kullanılan yarı iletken malzeme tipidir [36].



Şekil 4.29 Fotovoltaik teknolojili akıllı malzeme davranışı [36].

Günümüzde 3 temel ticari PV modülü teknolojisi bulunmaktadır:

1. Nesil Güneş Panelleri

- Mono kristal Güneş Panelleri (Mono-SI)
- Poli kristal Güneş Panelleri (Poly-SI)

Birinci nesil güneş panelleri, mono kristal silikon veya polisilikondan yapılan geleneksel güneş panelleridir ve en yaygın olarak geleneksel ortamlarda kullanılır¹. Yeni nesil PV ürünlere göre ~%15-20 daha fazla enerji verimliliği sağlamaktadır [139][140].

2. Nesil Güneş Panelleri

- İnce Film Güneş Pili (TFSC)
- Amorf Silikonlu Güneş Pili (A-Si)

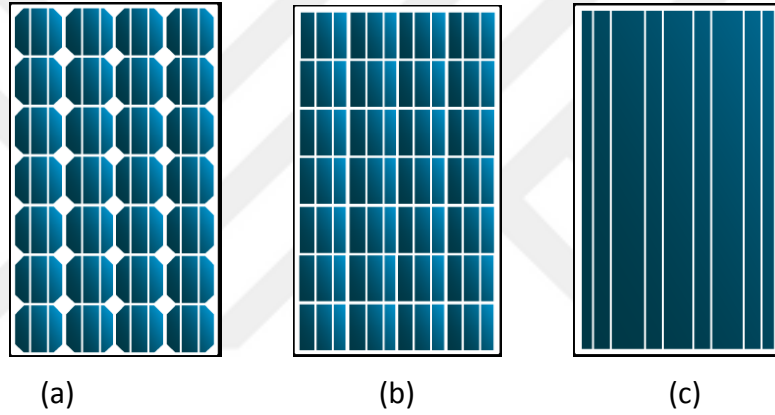
¹ Tek/çok kristalli devre levhası içeren ürün, her 1 ft² (0,09 m²) PV dizisi için ~10-12 Watt (tam güneş altında) iletir.

İnce film ürünleri tipik olarak bir cam üst tabakanın üzerine yerleştirilmiş, çok ince fotovoltaiik aktif malzeme lamine tabakalar içerir¹. İnce film teknolojileri, kalın kristal ürünlere kıyasla, üretimlerinde aktif malzemeler ve enerji için çok daha düşük gereksinimler nedeni ile düşük maliyet vaat etmektedir (Şekil 4.30).

3. Nesil Güneş Panelleri

- Biohibrid Güneş Pili
- Kadmiyum Tellür Güneş Pili (CdTe)
- Konsantre PV Hücresi (CVP ve HCVP)

Üçüncü nesil güneş panelleri, çeşitli ince film teknolojilerini içerir, çoğu halen R-GE aşama-sındadır. Elektrik organik veya inorganik malzemeler kullanılarak üretilir.



Şekil 4.30 Güneş panel çeşitleri; (a) tek kristalli, (b) çok kristalli, (c) ince film [141]

• Bina Entegre Fotovoltaiik (BIPV) Sistem

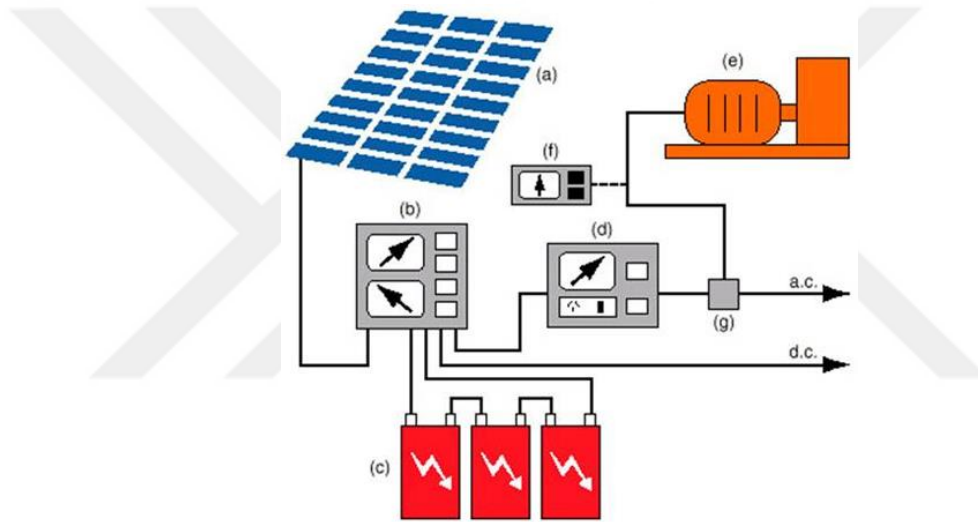
PV teknolojisinin bina cephesine entegre edilmiş halidir. Modüller, geleneksel bina cephe malzemeleri yerine geçer, aynı zamanda jeneratör görevi görür. Genellikle, ayrı ve özel montaj sistemleri gerektiren PV sistemlerinden daha düşük toplam maliyete sahiptir.

Tam bir BIPV sistemi aşağıdaki elemanları içermektedir [139]:

(a) *PV modülleri*: İnce film veya kristal, şeffaf, yarı saydam veya opak olabilir.

¹ Ticari ince film malzemeleri, 1 ft² (0,09 m²) PV dizisi alanı için (tam güneş altında) ~4-5 Watt iletir [139][140].

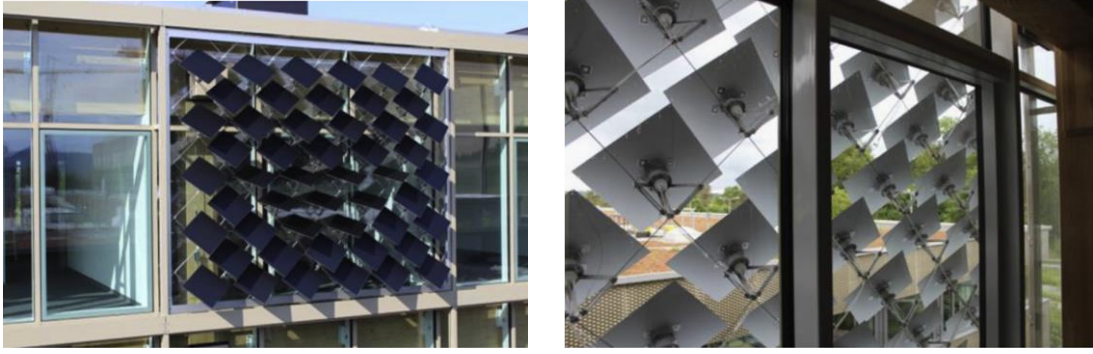
- (b) *Şarj kontrol cihazı:* Pil depolama ünitesine giren ve çıkan gücü düzenler. (Bağımsız sistemlerde)
- (c) *Güç depolama sistemi:* Genellikle, etkileşimli sistemlerdeki yardımcı program şebekesinden veya tek başına sistemlerdeki birkaç pilden oluşur.
- (d) *Güç dönüşüm ekipmanları:* PV modüllerinin DC çıkışını şebeke ile uyumlu AC' ye dönüştürmek için bir çevirici içerir.
- (e) *Yedek güç kaynakları:* Dizel jeneratörler gibi (isteğe bağlı-tipik olarak bağımsız sistemlerde kullanılır)
- (f) *Uygun destek ve montaj donanımı:* Kablolama ve güvenlik için kullanılır.



Şekil 4.31 BIPV sistem elemanları [139]

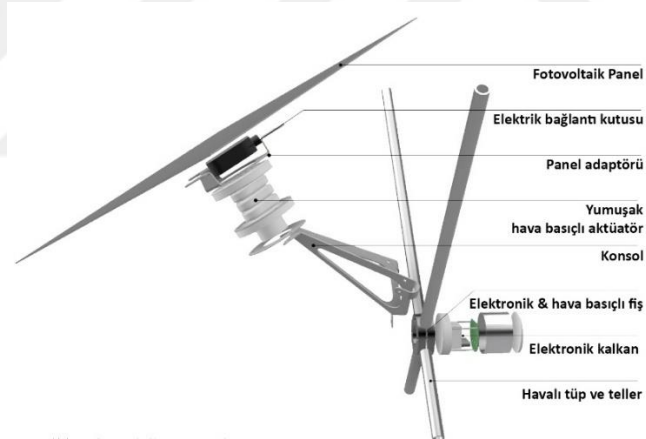
Adaptive Solar cephesi (2011)

A/S araştırma ekibi; konforlu bir iç mekân iklimini korumak için ısı geçirgenliği ne kadar olması gerektiği esasına göre, sürecin yıl boyunca değişimini dikkate alarak, uyarlanabilir bir güneş cephesi geliştirmiştir. Proje, enerji teknolojisi ve yumuşak robotik alanındaki son gelişmeleri birleştirerek mimaride sergilemektedir (Şekil 4.32).



Şekil 4.32 Adaptive Solar cephesi [142][143]

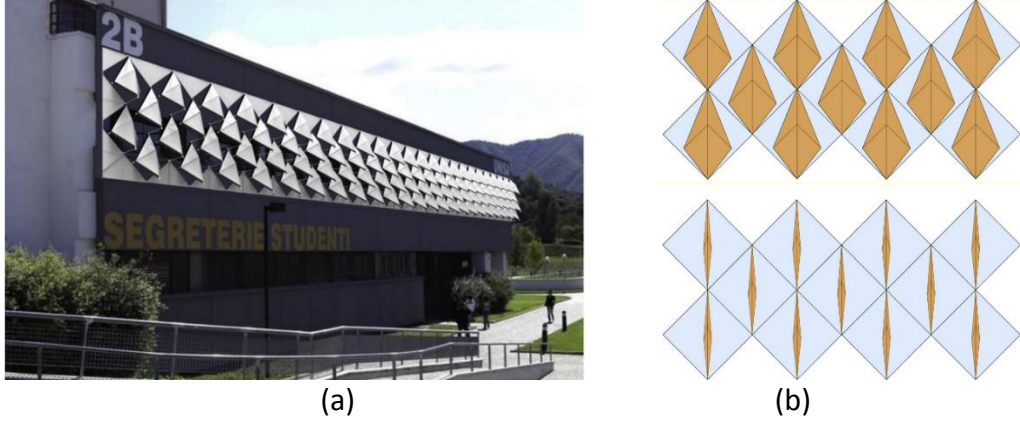
Hassas ve hareketli PV modüller bina cephesindeki tel yollara monte edilmiştir. Hafif olması, geleneksel güneş enerjisi sistemleri için uygun olmayan yerlere kurulabilmesini sağlamaktadır. Modüller yalnızca hafif ve esnek değildir, aynı zamanda çok işlevlidir. Enerji üretiminin yanı sıra, iç mekânda gölgelendirme, gün ışığı kontrolü ve kullanıcıya özel kişisel ayarlamalar sunar. Cephe sisteminde fazla enerji de depolanarak, daha sonra kullanılabilir şekilde basınçlı havaya dönüştürülür [142][143].



Şekil 4.33 Adaptive Solar cephe modül elemanları [142][143]

Blinking Sail Solar cephesi (2016)

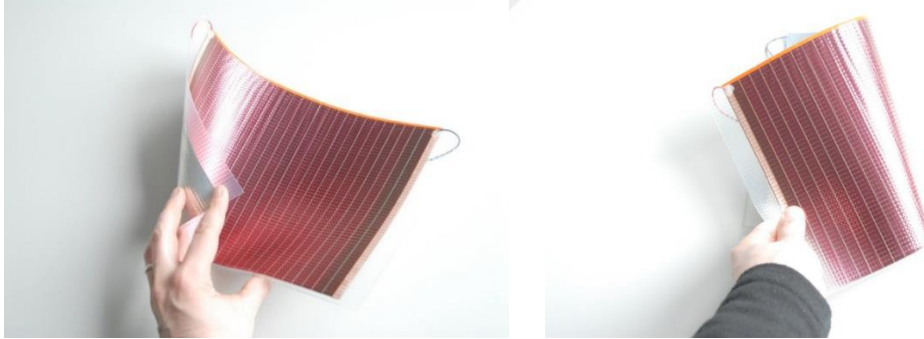
Origami yöntemi ile açılıp kapanabilen eşkenar dörtgen modüler formda kinetik bir yüzey şeklinde tasarlanmıştır. Cephede elektrik üretimi için, rüzgâr kaynaklı hareketlere yönelik fiber membran piezoelektrik aktivatörler, güneş enerjisine yönelik kompozit PV modüller bulunmaktadır. PV modülleri, aynı zamanda, binanın soğutma giderlerinde belirgin azalım sağlamak için tasarlanmıştır.



Şekil 4.34 (a) Blinking Sail Solar cephesi görseli (b) cephe modül hareketi [76]

- **Fotovoltaik ve ETFE Entegrasyonu**

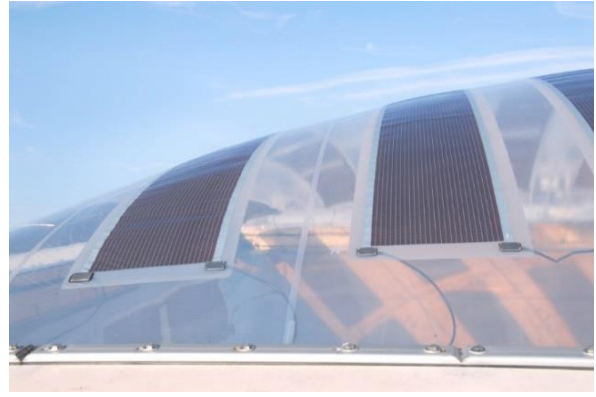
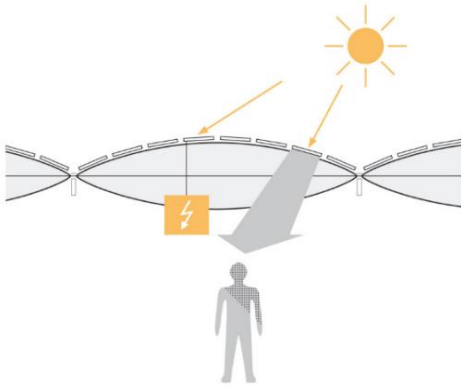
Floropolimer¹ (teflon) bazda yüksek performanslı membran ve film tabakası malzemeler oldukça yaygın bir kullanıma sahiptir. Günümüzde esnek film şeklindeki PV ler, ışık geçirgen membran PTFE (poli tetra-flouro-etilen) ve şeffaf film tabakası ETFE (ethyl-tetra-flouro-etilen) (Şekil 4.35) yapısına entegre edilir [145]. Uygulama sadece enerji sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda güneş enerjisi kazanımlarını kontrol etmeye de yardımcı olur.



Şekil 4.35 Amorf silikon (a-Si) PV film v4e lamine edilmiş esnek ETFE folyosu [145]

Üretilen PV rulolar; projenin ihtiyacına uygun uzunlukta kesilebilir, ETFE/PTFE tabakaların üstüne kaplanır. Laminasyon, fotovoltaik filmi mekanik darbeler ve hava koşullarından korur (Şekil 4.36).

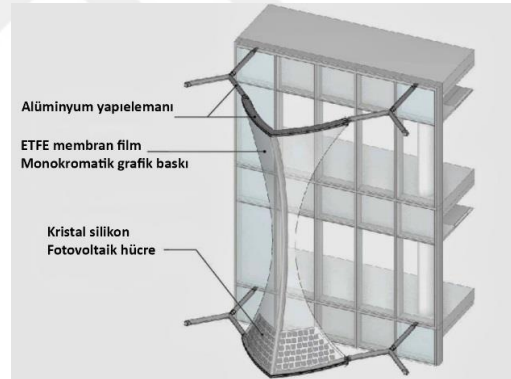
¹ Flor (F) ve karbon (C) atomlarından oluşan organik bir bileşiktir, fakat aynı zamanda oksijen veya hidrojen de içerebilir.



Şekil 4.36 ETFE membran folyo yapılarında esnek PV entegrasyonu [145]

U.S. Embassy (2018)

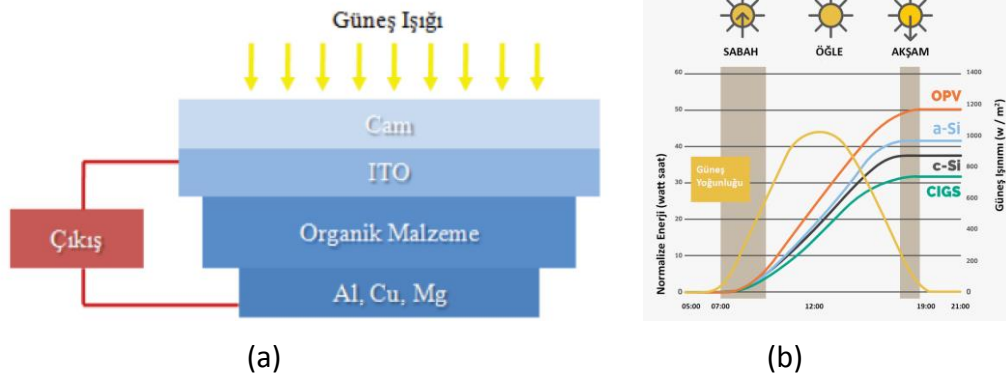
Kieran Timberlake'in 2013 yılında tasarladığı ETFE-PV cephe önerisidir. Cam giydirme cephenin dış kısmında tasarlanan çift cidar cephe, PV kristal hücreleri içeren ETFE film tabakası ile kaplanacaktır. ETFE, yastık şeklinde uygulanmadığı için; PV hücrelerin kullanımı, sistemin yapısal bütünlüğünü etkilemeyecektir. Uygulamada ise yalnızca ETFE kullanılmıştır, ETFE-PV entegrasyonu tasarım aşamasında kalmıştır.



Şekil 4.37 U.S. Embassy cephesi, ETFE üzerine PV entegrasyonu [146]

4.3.3 Organik Fotovoltaik (OPV) Sistem

Organik fotovoltaik (OPV) malzemeler karbon esaslıdır. OPV' nin çalışma prensibi standart PV' den oldukça farklıdır. Işık ışınları, bir ara yüzde olmayan organik katmanların kütlesinde emilir (Şekil 4.38). Organik kütlenin etkinliği daha yüksek sıcaklıklarda artar. PV' ye göre farklı malzemeler ile lamine edilerek, tasarıma göre daha farklı şekiller oluşturabilmektedir. Üretim sırasında düşük enerji tüketimi söz konusudur, karbon ayak izine katkıda bulunur [147].



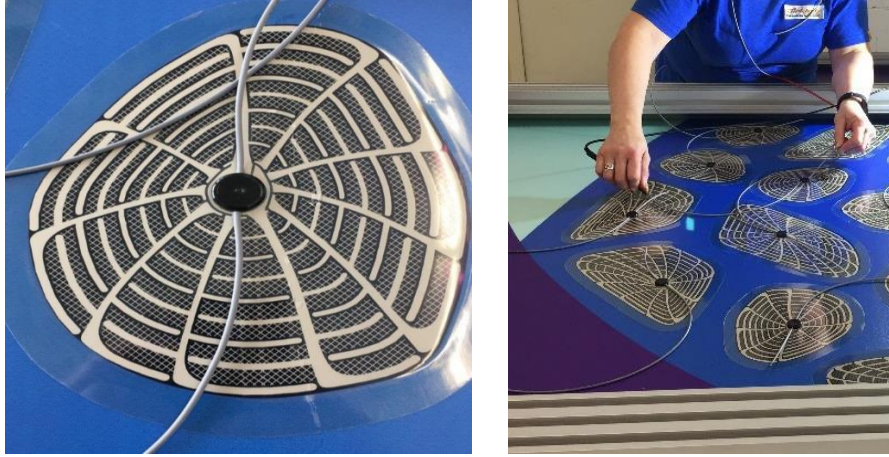
Şekil 4.38 (a) Tek katmanlı organik fotovoltaiik hücre [148], (b) normalize enerji performansı karşılaştırması [147]

MERCK KGaA trafo istasyonu binası (2019)

Almanya’da yer alan, ETFE üzerine organik fotovoltaiik (OPV) entegre edilmiş ilk cephe uygulamasıdır. Teknolojinin olanaklarını göstermesi beklenen pilot bir projedir. Mevcut trafo binasının etrafında uygulanmıştır. Alüminyum çerçeveli 64 membran ETFE modül, yapının etrafındaki ateş tuğlalarından yapılmış duvarın önünde bir 300 m² ‘lik perde duvar oluşturur, yüzeyde 1578 adet OPV modül bulunmaktadır. ETFE filminin dijital baskısının seçilen renkleri, şirketin kurumsal kimliğini izlemektedir. Cephe, ETFE-OPV sistemi sayesinde hafif, şeffaf, estetik bir sanat eserine dönüşür [149]. ETFE filmine üç farklı organik desende OPV elemanı uygulanmıştır (Şekil 4.39) [150].



Şekil 4.39 MERCK KGaA binası güneydoğu cephesi [149]



Şekil 4.40 Arka tarafa yapıştırılmış OPV modülleri ve bağlantıları [150]

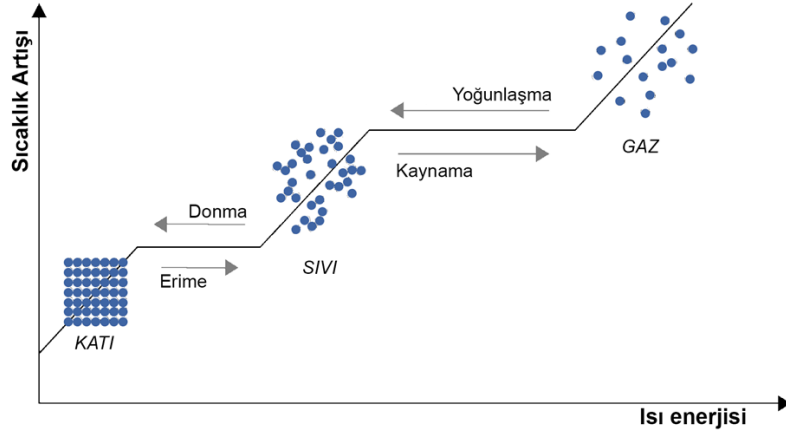
Çizelge 4.4, elektrik üreten malzeme içeren PV ve OPV teknolojilerinin kullanıldığı güncel uyarlanabilir cephe projeleri içermektedir. *Adaptive Solar (2011)* ve *Blinking Sail Solar (2016)* cepheleri uyarlama amacına yönelik tüm alt başlıkları taşımaktadır. Bu durum örnek cephe sistemlerini akılcı (*Intelligent*) ve gelişmiş cephe kategorisine dahil etmektedir. Tel örgü üzerine PV kurulum cepheye kinetik özellik kazandırırken, görsel performans sağlamaktadır. Hareket serbest veya origami yöntemi ile yapılmaktadır. *U.S. Embassy (2018)* ve *MERCK KGaA trafo istasyonu binası (2019)* cephe projeleri ETFE entegrasyonu ile benzer uyarlamalar sağlamaktadır.

Çizelge 4.4 EÜM uygulanan uyarlanabilir cephe sistemleri, (PV & OPV) ([4][59][73][76][142][146][149]den yararlanılarak)

Uyarlama & Amacı		Uyarlı sistem (PV & OPV)
Isıl kontrol ● İç ortam kalitesi ● Görsel perform. ● Enerji üretimi ● Akustik konfor ● Kullanıcı kontrolü ●		
	Adaptive Solar (2011) ●●●●●●● Akılcı (Intelligent)-Aktif- Kinetik- Duyarlı- Gelişmiş	 (PV Film+serbest hareket) -Hibrit akıllı malzeme davranışı -Aktivatör eleman -Cephe yüzey elemanı
	Blinking Sail Solar (2016) ●●●●●●● Akılcı (Intelligent)-Aktif- Kinetik- Duyarlı- Gelişmiş	 (PV Film+origami) -Hibrit akıllı malzeme davranışı -Aktivatör eleman -Cephe yüzey elemanı
	U.S. Embassy (2018) ●●●●● Akıllı (smart)-Aktif- Duyarlı	(ETFE+PV Film) -Pasif akıllı malzeme davranışı -Cephe yüzey elemanı
	MERCK KGaA trafo istasyonu binası (2019) ●●●●● Akıllı (smart)-Aktif- Duyarlı	(ETFE+OPV Film) -Pasif akıllı malzeme davranışı -Cephe yüzey elemanı

4.4 Faz Değiştiren Malzemeler (FDM)

Malzemeler; doğal ortamda katı, sıvı, gaz temel faz tiplerinde bulunmaktadır. Sıcaklık veya basınç değişimleri, malzemelerin fiziksel hallerinde değişimler yaratarak, farklı faz içerisinde bulunmasına neden olmaktadır, bu durum *faz değişikliği* olarak isimlendirilir (şekil 4.41).



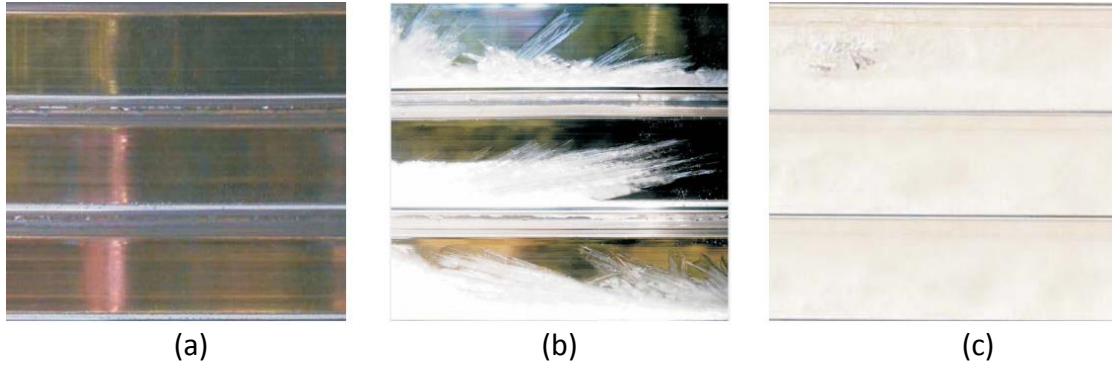
Şekil 4.41 Farklı sıcaklıklarda malzemelerin faz durumları [151]

Faz dönüşümü sırasında malzeme, ısıyı emerek saklar ve serbest bırakarak geri dönüşür. Faz değişikliği sırasında moleküller arasında arasındaki bağlarda uzaklaşma ya da yakınlaşma olmaktadır. Faz değiştiren malzemeler bozulma olmaksızın, sınırsız sayıda faz değişimine maruz kalabilir. Katı halden veya gaz halden sıvı hale geçiş gibi faz değişiklikleri belli sıcaklıklarda oluşmaktadır; bu durum malzemelerin belli alanlar ve hedefler için kullanılmasına yardımcı olur. NASA 1960'larda faz değiştiren akıllı malzemelerin ilk kullanıcıları arasında yer almıştır [89]. Son yıllarda mimarlık alanında da sıkça kullanılan faz değişim akıllı malzemeler organik, inorganik ve ötektik¹ yapıya sahiptir [151].

20-50° C'de eriyebilen malzemeler iç ortam uygulamaları için oldukça uygundur. Cephede kullanılan faz değişim malzemeleri, iç ortam sıcaklığı arttığında erime noktasına erişerek ısıyı iç yapıya hapseder. Faz değiştiren malzemelerinin kullanımı, iç ortamdaki sıcaklık dalgalanmalarının önlemesine yardımcı olmaktadır [151]. FDM,

¹ Faz diyagramı üzerinde mümkün olan maksimum sayıda fazın bir arada dengede olduğu noktaya ötektik adı verilir. Kristalleşen en son sıvı damlasının veya oluşacak ilk sıvı damlasının bileşimi olarak da tanımlanabilir.

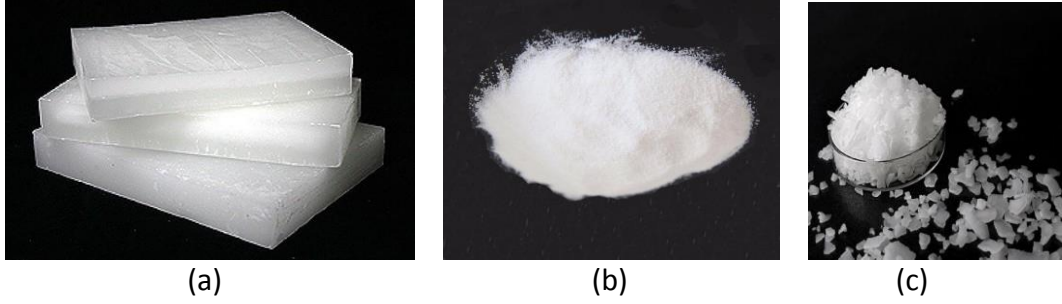
uygulanmış sistemlerde genellikle ara bir katmanda yer alır. Sıcaklık değişimine göre faz değiştirirken farklı görsel davranışlarda bulunur (Şekil 4.42).



Şekil 4.42 FDM nin cephede görsel davranışı (a) sıvı-şeffaf (b) donma (c)katı- opak, GlassXcrystal tuz hidrat [152][153].

Binalardaki uygulamalar için en yaygın kullanılan malzemeler parafin, yağ asidi ve uygun erime noktasına sahip tuzlardır [154]. Kokusuz ve renksiz olan parafin, $C_nH_{(2n+2)}$ formülünde petrolerin asil bir bileşiğidir. İlk defa 1829 yılında Carl Reichenbach tarafından odun katranından üretilmiştir. Parafin, kozmetikten eczacılığa; tekstil ürünlerinden, patlayıcı madde üretilmesine kadar geniş bir yelpazede kullanılan bir hidrokarbondur [155]. Stearik Asit ($C_{18}H_{36}O_2$); doğadaki en bilinen 18 karbonlu uzun zincirli alifatik¹ doymuş bir yağ asididir. Kremi beyaz toz şeklinde fiziksel özellik gösteren asit çoğu hayvan bitkiden elde edilen katı-sıvı yağlarda bulunur. Stearik asit ve bileşikleri, özellikle tuzları (stearatları) kimya sektöründe önemli bir yer tutmaktadır [156]. Tuzlu hidratlar, birçok alanda kullanılan önemli bir faz değiştiren malzeme grubudur. İnorganik bir tuz hidrat (hidratlı tuz veya hidrat), iyonları tarafından çok sayıda su molekülünün tutulduğu ve bu nedenle kristal kafesi içine alınmış bir iyonik bileşiktir. Hidratlanmış bir tuzun genel formülü ($M_xN_y.nH_2O$) 'dir. Bir hidratın kristallerinin içindeki su molekülleri çoğunlukla, tuzun pozitif yüklü metal iyonlarına (katyonlar) kovalent bağlar ve hidrojen bağları koordine eder [153][157] (Şekil 5.26).

¹ Yan zincirlerinde halkasal grup bulunmayan ve yan zincirleri düz olan amino asitler.



Şekil 4.43 FDM ilk durum, (a) parafin mumu (paraffin), (b) stearik asit (yağ asidi), (c) hidroksit (tuz hidrat) [158] [159] [160]

Çizelge 4.5’de Faz değıştiren malzemelerin kullanım biçimlerine karar vermek için yardımcı olan, avantaj ve dezavantajlarına değinilmiştir.

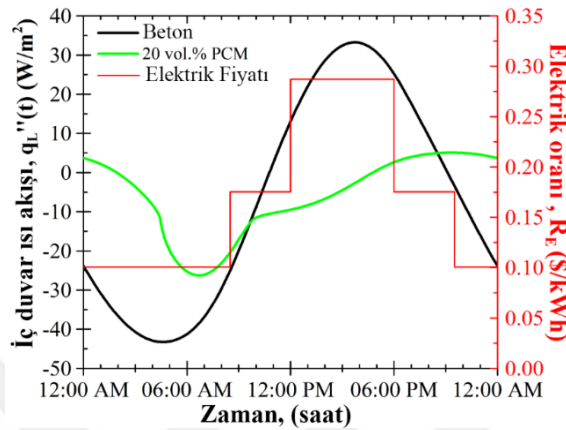
Çizelge 4.5 FDM avantajları ve sınırlamaları [154]

Faz Değişim Malzemeleri				
Organik		İnorganik	Ötektik	
Parafin	Yağ Asidi	Tuz Hidratları	Organik	İnorganik
Organik FDM		İnorganik FDM	Ötektik	
<ul style="list-style-type: none"> • Büyük sıcaklık aralıklarında bulunabilirlik • Uyumlu ergime • Kimyasal ve fiziksel stabilite • Yüksek füzyon ısısı • Kendi kendine çekirdeklenme özellikleri • Güvenli, reaktif olmayan geri dönüşüm <ul style="list-style-type: none"> ○ Düşük ısı iletkenliği ○ Düşük hacimsel gizli ısı depolama kapasitesi ○ Yanıcı 		<ul style="list-style-type: none"> • Yüksek hacimsel gizli ısı depolama kapasitesi • Yüksek füzyon ısısı • Yüksek ısı iletkenlik • Keskin erime noktası <ul style="list-style-type: none"> ○ Yanıcı değil ○ Aşındırıcı doğa ○ Çabuk ayrışır ○ Uyumsuz erime ○ Süper soğutma 	<ul style="list-style-type: none"> • Keskin erime noktası (madde saflık aralığı) • Volümetrik¹ ısı depolama yoğunluğu organik bileşiklerden daha yüksek • Avantajlar <ul style="list-style-type: none"> ○ Sınırlamalar 	

FDM’ nin ısı enerjisi bina duvarı yoluyla azaltma ve pik ısı yükü daha düşük bir elektrik oranı ile günün belli bir saatine kaydırma kabiliyetinin gösterimi Şekil 4.44 ‘de

¹ Hacim ölçmelerine dayanan analitik bir yöntem.

verilmiştir. Faz değişim malzemeleri içeren kompozit çimentolu malzemeler, binaların ısı ataletini ve dolayısıyla enerji verimliliğini arttırmanın bir yolu olarak önerilmiştir. FDM'ler, enerjiyi gizli ısı biçimde depoladıklarından, masif malzemelerden ayırt edilir. FDM'lerin uygulamaları binaların ekolojik ayak izlerinin azaltılmasına destek verir [161].



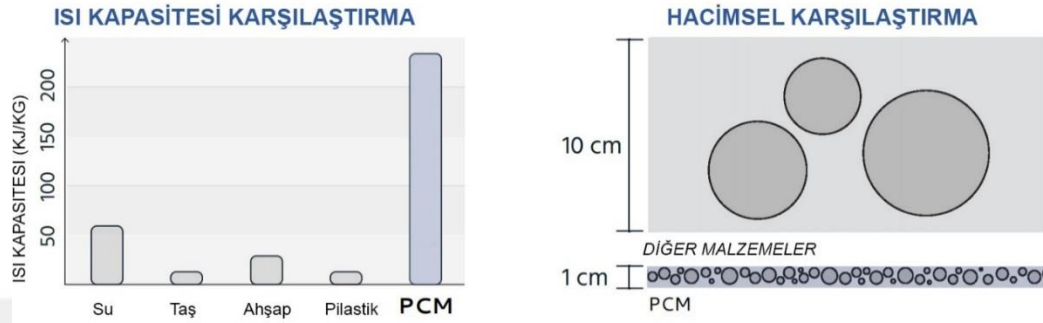
Şekil 4.44 FDM kullanılan bina duvarı ısı akışı ve zaman çizelgesi [161].

Çizelge 4.6, erime sıcaklıkları 40 ° C ila 120 ° C aralığında olan dört katı sıvı FDM kategorisini listeler. Çizelgeye bakıldığında inorganik metal ötektik FDM'lerin mimari kullanımlarda ilgi çekici olacağı anlaşılmaktadır. Temel dezavantajı ise, imalatın yüksek yoğunluklu ve ağır paket çözümleri ile sonuçlanmasıdır. Tuz hidratlar kullanımı, güvenlik konularına önem verilerek seçilmelidir [162].

Çizelge 4.6 Genel Katı-Sıvı FDM karakteristikleri [162]

Özellik	Organik Parafin	Organik Parafin olmayan	İnorganik Tuz Hidratları	İnorganik Metal Ötektik
Kimyasal bileşim				
h_f (kJ/kg) buharlaşma	230-290	120-240	170-340	30-90
h_{fv} ($[J/m^3] \times 10^6$)	190-240	140-430	250-660	300-800
ρ (kg/m^3)	~810	900-1800	900-2200	~8000
k ($W/m^\circ C$)	~0.25	~0.2	0.6-1.2	~20
Isıl Genleşme	Yüksek	Orta	Düşük	Düşük
Uyumlu Erime	Var	Orta	Düşük	Var
Aşırı Soğuma	Yok	Yok	Çoğu	Yok
Korozyon	Düşük	Bazıları	Çoğu	Bazıları
Toksosite	Yok	Bazıları	Çoğu	Bazıları

FDM, diğer geleneksel malzemelerle karşılaştırıldığında, ısı depolama açısından oldukça avantajlı durumdadır. Bu avantaja hacimsel farklılık da eklendiğinde, uyarlanabilir cephe mimarisinde oldukça verimli sistemler oluşturulabileceği öngörülebilir (Şekil 4.45). Son zamanlarda, birçok şeffaf cephe bileşenlerinde FDM kullanma eğiliminin arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.45 FDM 'nin (KJ/KG) ısı kapasitesi ve hacim yönü ile karşılaştırılması [152]

Senior Residence, Domat/Ems (CH), (2004)

Enerji depolama cephelerinin ilginç bir örneği, Ebnat-Kappen'deki (İsviçre) Dietrich Schwarz'ın, İsviçre'de, enerji depolamak için güneş ışığını ve PCM malzemesini yansıtmak için prizmanın kullanıldığı "Kıdemli Vatandaşlar Dairesi" binasıdır. Bu gizli ısı depolama cam cephesinin şarj durumu, doğrudan tuz hidratın farklı fazları tarafından belirlenen optik görünüşünden görülebilir. İç kısmın sabit sıcaklığını (ısı konfor) koruyarak, bir yapıyı ısıtmak veya soğutmak için gereken enerji azalır ve aynı zamanda doğal çevreyi etkileyen zararlı gaz emisyonları azalır [163][164].

Şeffaf polikarbonat kaplarda ve dirençli erimiş camda hermetik olarak depolanan faz değiştirici malzemelerle (potasyum- klorür- heksahidrat ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) cam sistemleri $U = 1.2 \text{ W / m}^2 \text{ K}$ ve $U = 0.48 \text{ W / m}^2 \text{ K}$ değerine ulaşacaktır. 26–28 ° C arasında, gizli ısı saklama kapları, sıcaklıktaki günlük ve yıllık salınımlara denge sağlar, spektrumun görünür kısmından geçer ve kızılötesi tayfı biriktirir (Şekil 4.46).

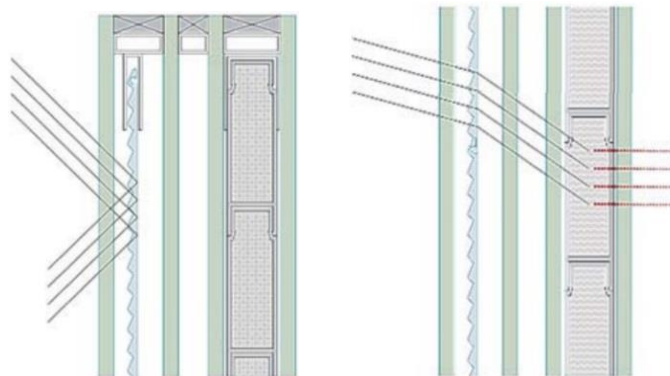


Şekil 4.46 Senior Residence cephesi [164]

Çalışma prensibi:

Yaz aylarında, insidans açısı 40° 'den büyük olduğunda, termopanın ilk paketine entegre edilmiş yansıtıcı tabaka güneş ışınlarını yansıtır. Ölçümler: çevredeki $14-30^\circ\text{C}$ arasındaki yüzeyde $23-27^\circ\text{C}$. Güneş geçirgenliği (g) %6-9 arasında kalır, PCM bileşenleri, iç mekânın aşırı ısınmasına izin vermezken, güneş enerjisi biriktirmek için bir ortam olarak kullanılır. $U = 0,48 \text{ W / m}^2\text{K}$;

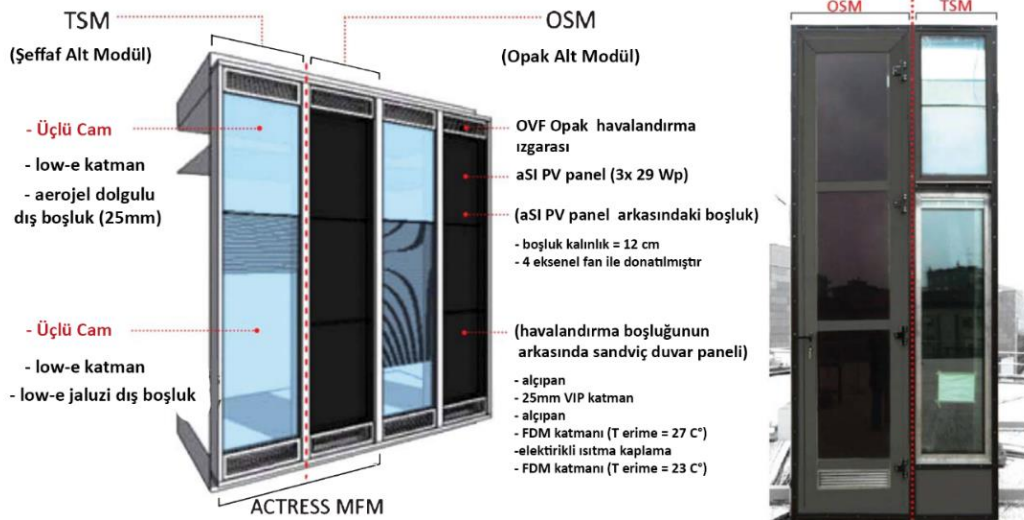
Kışın, insidans açısı 35° 'den düşük olduğunda ise, termopanın ilk paketine entegre edilmiş yansıtıcı katman güneş ışınlarını yansıtmaz. Ölçümler: çevredeki -8 ila 4°C arasındaki yüzeyde $23-35^\circ\text{C}$. Güneş geçirgenliği (g), %33-35 aralığında kalır; bu, PCM yoluyla biriktirilen ve içeriye doğru yayılan önemli güneş ısı kazanımlarını sağlar. $U = 0,48 \text{ W / m}^2\text{K}$.



Şekil 4.47 Senior Residence cephe sistemi [164]

ACTRESS (MFM), (2019)

ACTRESS (MFM), 1.5m x 3,5m boyutlarında, güneşe duyarlı, prefabrik bir ünite olarak tasarlanmıştır. MFM' nin amacı, değişen çevresel koşullara ve kullanıcıların gereksinimlerine uyum sağlamaktır. Enerji ve çevresel performansı en üst düzeye çıkarmak için diğer bina ekipmanlarıyla etkileşime giren farklı bileşenlerden oluşur. İki farklı alt sistemden yapılmıştır. Şeffaf Alt Modül (TSM) ve Opak Alt Modül (OSM). MFM prototipleri saydam ve opak yüzeyler arasında farklı bir denge kurar. Şeffaf Alt Modül (TSM) üçlü cam sistemden oluşur. Low-e¹ katmanı ve farklı malzemeden dolgu boşluk bu modülde yer alır. TSM modülü giren güneş ısı kazancını en üst seviyeye çıkarırken parlamayı önler. Opak Alt Modül (OSM), binanın bulunduğu yere bağlı olarak hava ihtiyacı, ısıl tampon ve dış Hava Perdesi (OAC) cephesi olarak çalıştırılabilir. İki faz Faz Değişim Malzemesi (FDM) katmanı bulunur (Şekil 4.48). FDM katmanı ve PV güç üretimi arasındaki bağlantı kış mevsiminde ısınma amacıyla gündüzleri mevcut olan belirli bir miktarda enerjiyi depolamaktır. $M_{FDM} = 4\text{kg/m}^2$ miktarında kullanılacaksa, 1.67 m² PV yüzey tarafından üretilen enerjinin tamamı FDM katmanının gizli ısı kapasitesinde depolanabilir [165].

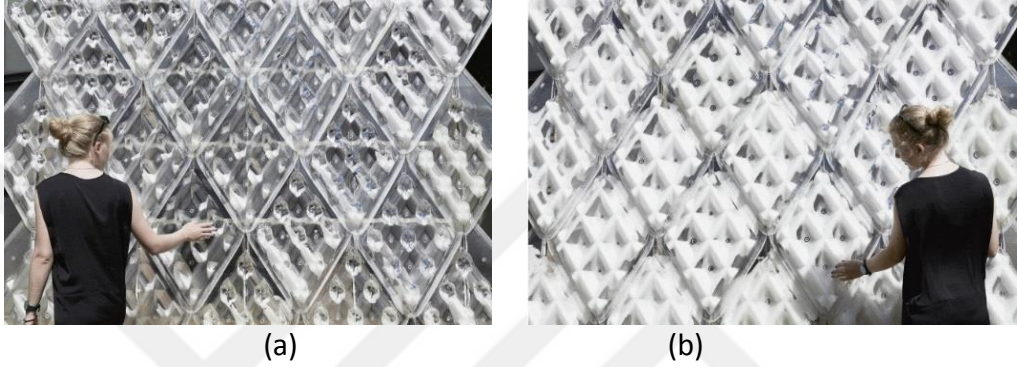


Şekil 4.48 ACTRESS modül katman detayları [166]

¹ Cam yüzeyinin metal veya metal oksit bir tabaka ile kaplanması ile elde edilen, ısıyı yansıtabilme kabiliyetine sahip sistem.

The broader joint, (2018)

Prototip Yuliya Sinke tarafından tasarlanmıştır. Projede FDM'nin şeffaf folyolar halinde cephede kullanımını öngörülmüştür. Sonlu bir eleman yöntemi kullanan mekanik model; geometri, yönlendirme, malzeme özellikleri, bağlam geometrisi, hava durumu, iklim ve test ortamının gerçek zamanlı sıcaklık dağılımını izleyen bir dizi algılayıcı bileşen içerir. Modüler bir yapıya sahip olan cephe önerisinde, gün ışığı yönelimine göre, FDM'nin katı-sıvı hal geçişleri mevcuttur (Şekil 4.49).



Şekil 4.49 The broader joint prototip görseli (a) sıvı hal, (b)katı hal [167]

Paranel ısı duyarlı cam sistem, (2018)

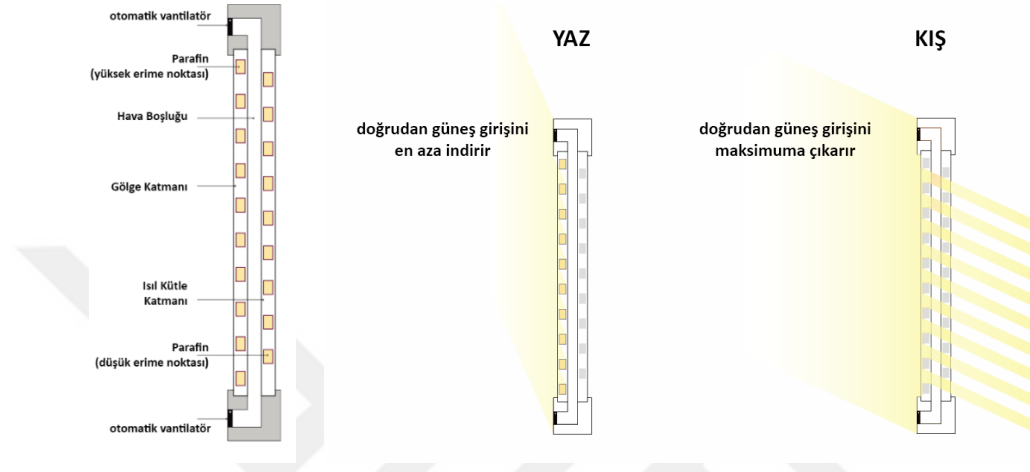
FDM'nin, binanın enerji performansının iyileştirilmesine katkıda bulunan, yenilikçi bir çözümünü temsil etmektedir. Prototip, geçici sıcaklık akışına uyum sağlayabilen, ısıya duyarlı şeffaf cephe tasarımına odaklanmaktadır (Şekil 4.50).



Şekil 4.50 Paranel ısı duyarlı cam sistemi prototip görseli [168]

FDM olarak parafin; borular içerisine yerleştirilerek, cam yüzeyde farklı geometrik desenler oluşturmaktadır. Homojen dağılımın aksine, güneş ışınlarının doğrudan geçiş

açıklıkları mevcuttur. Önerilen sistem, FDMlerin yaygın olarak kullanıldığı konvektif ısı değişimi haricinde, trombe¹ duvar işlevi görmektedir. Yaz aylarında gölgelendirme katmanı, binaya doğrudan güneş kaynaklı ısı girişini en aza indirmektedir (Şekil 5.33). Yalıtım katmanını olan hava boşluğu, sıcaklıkta önemli bir artışı engellemek için değişken ısıyı emer. Aşırı ısınma durumunda ise, sıcak hava tahliyesi için vantilatörler açılacaktır [168].











Şekil 4.51 Paranel ısı duyarlı cam sistemi prototip görseli [168]

FDM kullanılan uyarlanabilir cephe sistemleri Çizelge 4.7 'de uyarlama amacı, sistem elemanı, FDM çeşidi ve davranışı kalıplarına göre incelenmiştir. *The broader joint, (2018)*, projesi; enerji üretimi hariç, tüm uyarlama amaçlarına cevap vermektedir. Şişme hareketi ile kinetik uyarlama gerçekleşir. FDM örneklerin çoğunluğunda pasif akıllı malzeme davranışı göstermektedir. Tek enerji üretimi yapan uyarlanabilir cephe projesi, *ACTRESS (MFM), (2019)* 'dir. Ayrıca FDM bu sistemde hibrit akıllı malzeme davranışı gösterir. FDM çeşidi bazı projelerde açıklanmamıştır.

¹ Enerji etkin konutlarda, cam pencerenin hemen arkasına ısı yük oluşturacak malzemeden (tuğla, su, beton vb.) inşa edilen ve altında ve üstünde birer havalandırma deliği bulunan duvar.

Çizelge 4.7 FDM uygulanan uyarlanabilir cephe sistemleri
([4][59][73][164][166][167][168]den yararlanılarak)

Uyarlama & Amacı		Uyarlı sistem
Isıl kontrol ●	İç ortam kalitesi ●	Görsel perform. ●
Enerji üretimi ●	Akustik konfor ●	Kullanıcı kontrolü ●
 <p>Senior Residence, Domat/Ems (CH), (2004)</p> <p>● ● ●</p> <p>Akıllı (<i>Smart</i>)- Değişirilebilir- Aktif- Duyarlı</p>		 <p>(cam+tuz hidrat)</p> <p>-Pasif akıllı malzeme davranışı -Cephe dolgu elemanı</p>
 <p>ACTRESS (MFM), (2019)</p> <p>● ● ● ● ●</p> <p>Akıllı (<i>Intelligent</i>)- Aktif- Duyarlı- Gelişmiş</p>		 <p>(FDM+sandviç duvar paneli)</p> <p>-Hibrit akıllı malzeme davranışı -Enerji depo elemanı</p>
 <p>The broader joint, (2018)</p> <p>● ● ● ● ●</p> <p>Akıllı (<i>Intelligent</i>)- Aktif- Duyarlı- Gelişmiş-Kinetik-Değişebilir</p>		 <p>(FDM+şeffaf folyo) / (şişme)</p> <p>-Pasif akıllı malzeme dav. -Cephe dolgu katmanı</p>
 <p>Paranel ısı duyarlı cam sistem, (2018)</p> <p>● ● ●</p> <p>Akıllı (<i>Smart</i>)- Aktif- Duyarlı</p>		 <p>(parafin+boru)</p> <p>-Pasif akıllı malzeme dav. -Cephe cam ara elemanı</p>

4.5 Işık Yayan Malzemeler (IYM)

Uyarılmış bir atom veya molekül kararsızdır ve fazla enerjisini atarak temel hale dönme isteği duyar. Atom veya molekül temel enerji düzeyine dönerken, fazla enerjisinin tümünü veya bir kısmını ışık şeklinde atabilir. Bu durumda malzemeden ışık yayılımı gözlenir. Bu olaya genel olarak *lüminesans* (ışıldama) denir. Işık yayan akıllı malzemeler ise, bu hareketi tersine şekilde yapabilmektedir; elektrik enerjisi, kimyasal reaksiyon, sürtünme kuvveti gibi çeşitli uyarılar neden olabilir. Akıllı malzeme bu reaksiyonu aşağıdaki gibi farklı şekillerde vermektedir [36][170][189].

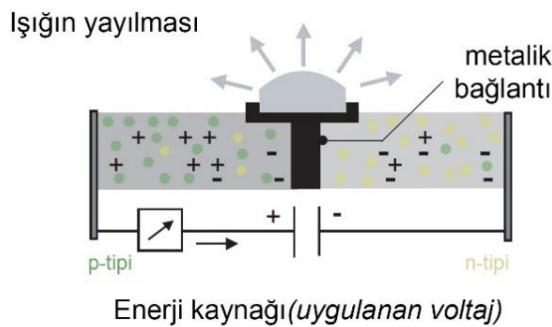
- *Biyolüminesans*: Ateşböcekleri, solucan kurtları ve birçok deniz canlısı gibi canlılar tarafından yapılmaktadır, kemolüminesansın alt kümesi özelliğidir.
- *Kemolüminesans*: Kimyasal bir reaksiyon yoluyla ışık yayılımı gerçekleşmektedir (Örneğin, cadılar bayramı sırasında çocuklar tarafından kullanılan çubuklar). Çevreleyen ortamdaki sıcaklık artışı, reaksiyon süresini azaltır, ayrıca ışık çıkış şiddetinde bir artış olur. Sıcaklığın azalması ise ışık çıkışını azaltmaktadır.
- *Elektrolüminesans*: Yarı iletken davranışıyla gerçekleşmektedir. Örneğin elektronların fosfor boyunca hareket etmesi yabancı maddelere çarpmasına neden olur. Ortaya çıkan sıçramalar, ışıldama oluşumuna neden olur. Oluşan renk, aktif iyonları oluşturan ve saf olmayan malzemenin türüne bağlıdır. Yarı iletkenler, Lazerler ve LED'ler elektrolüminesans fenomene dahil edilmektedir. Yukarıda belirtildiği gibi, renkler kullanım için seçilen aktif iyonlara bağlıdır. Ancak çok ucuz sistemlerde, çeşitliliği sağlamak için basit renkli filtreler kullanılmaktadır.
- *Fotolüminesans*: Uyarılma, atom veya moleküllerin fotonları emmesi ile oluşur. Tipik flüoresan lambalar foto ışıldama etkiye dayanmaktadır. Lambanın içi, bir ışımaya deşarjından kaynaklanan ultraviyole cıva radyasyonu ile uyarılan bir fosforla kaplanır.

- *Röntgenölüminesans*: X-ışınları¹ kullanılarak parlama durumu gerçekleşmektedir. Fenomen için günlük kullanımda lazer kısaltması benimsenmiştir. Farklı uyarma yöntemlerine dayanan ve farklı malzemeler kullanan birçok lazer türü vardır.
- *Sonolüminesans*: Işık yayılımı enerjik ses dalgalarının sıvılardan geçirilmesi ile elde edilir.
- *Termolüminesans*: Fotonlar sıcaklık sayesinde yayılım göstermektedir.
- *Tribolüminesans*: Kristalleri ovalayarak, çizerek veya fiziksel olarak deforme ederek yapılır [169][170].

Lüminesans, yayılan ışığa dayalı farklı olayları tanımlamak için kullanılan genel bir terimdir. Yayılma anında gerçekleşir ise floresan terimi kullanılmaktadır. Birkaç mikro saniye veya milisaniye yavaşlarsa veya geciktirilirse, fosforesans terimi kullanılır. Uyarılma ortadan kalkınca floresans olayı, 10^{-10} - 10^{-6} s sürer; fosforesans ise, 10^{-6} - 10^2 s sürmektedir [170].

4.5.1 LED

LED'ler genel olarak PV yarı iletken olayın tersine çalışmaktadırlar. LED'lerde kullanılan yarı iletken maddeler, genellikle, galyum arsenik (GaAs), galyum arsenik fosfat (GaAsP) veya galyum fosfattır (GaP) [171].



Şekil 4.52 LED çalışma prensibi [36]

LED'lerin çalışması elektrik enerjisinin optik ışığa dönüştürülmesi ilkesine dayanmaktadır¹.LED'lerin ticari olarak en bilineni elektronik devrelerde sıkça kullanılan

¹ X ışınları elektromanyetik dalgadır.

5mm LED'lerdir (Şekil 4.53). Kullanım alanlarına göre şerit veya levha şeklinde kullanılmaktadır. Kırmızı, yeşil ve mavi renklerde ışık yayabilen LED'lerin tek bir pakette birleştirilmiş haline RGB LED denir. Bu üç renk belli oranlarda karıştırılarak farklı renk çeşitleri oluşturulmaktadır [172].



Şekil 4.53 LED görseli, (a) pil, (b) şerit [173][174]

LED'lerin farklı alanlarda kullanımı değerlendirildiğinde birçok avantajı olduğu gibi bazı dezavantajları da görülmüştür.

Çizelge 4.8 LED kullanımı değerlendirmesi [175]

Avantajları	Dezavantajları
<ul style="list-style-type: none"> ○ Çok az enerji tüketir. ○ Uzun ömürlüdür. ○ Isıl ve mekanik darbelere karşı dayanıklıdır. ○ Işığı direk olarak yayar, bu nedenle verimlidir. ○ Kızılötesi, UV radyasyonu yoktur, çevresel zararları yoktur. ○ Zararlı gaz barındırmadığı için güvenlidir. ○ Yanma veya çarpılma tehlikesi olmadan istenildiğinde dokunulabilir. ○ Farklı renk seçenekleri ile geniş kullanım alanları bulunmaktadır. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Normal kullanılan lambaların aksine nominal akım değerlerinde çalışır. ● Lambalar gibi yönlü ışık olacak şekilde kullanılması için, ekstradan filtre veya optik tasarım gerektirir.

¹ LED'ler tek bir dalga boyuna sahiptir, monokromatik bir malzemedir. Şekil 3.34'teki görseldeki gibi LED'e enerji uygulandığı zaman n-tipi bölgedeki elektronlar yarı iletken yüzeyden geçerek p-tipi maddedeki oyuklarla birleşir. Elektronlar bu oyuklar ile birleşirken ısı enerjisi ışık enerjisine dönüşmektedir [175].

Chanel Ginza Medya binası (2004)

Cephesi, etkileşimli bir markalaşma yöntemine öncülük etmek için, mimar Peter Marino tarafından Tokyo'da tasarlanmıştır. LED teknolojisinin cam duvara entegrasyonunun ilk mimari örneği olma özelliğini taşımaktadır. Cephede 23.000'in üzerinde ayrı ayrı adreslenebilir LED kullanımı mevcuttur. Sade ışığın örneği olan cepheye ulaşmak için, tek renkli LED'ler kullanılmıştır. LED'lerin yerleştirildiği her bir armatür, ~5cm uzunluğunda, 5cm çapında hafif alüminyumdan üretilmiştir. Cephede aynı zamanda elektro kromatik cam giydirme uygulanmıştır. Ek olarak, 1.120 metrekairelik bilgisayarla çalışan branda panjurları, geceleri monokrom ekrana vurgu yapan video armatürler için siyah bir fon sağlamaktadır [176] [177].



Şekil 4.54 Chanel Ginza Medya cephesi [178]

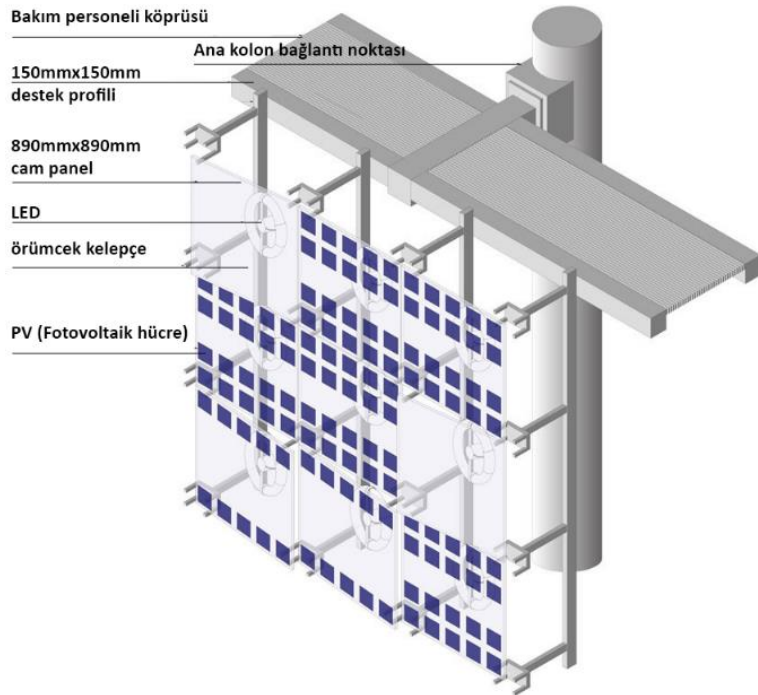
GreenPix Zero Energy Medya Duvarı (2008)

Mimar Simone Giostra tarafından tasarlanan cephe, Pekin'deki eğlence kompleksinin cam perde duvarını oluşturur. Çin'de PV sisteme entegre ilk LED cephe uygulamasıdır; dünyanın en büyük renkli LED ekranıdır (Şekil 3.36). Ekran 2.292 renkli (RGB) LED ışık noktalarından oluşmaktadır. 2200 m² monitör ile karşılaştırılabilmektedir [179][180].



Şekil 4.55 GreenPix Zero Energy Medya Duvarı cephesi [179][180]

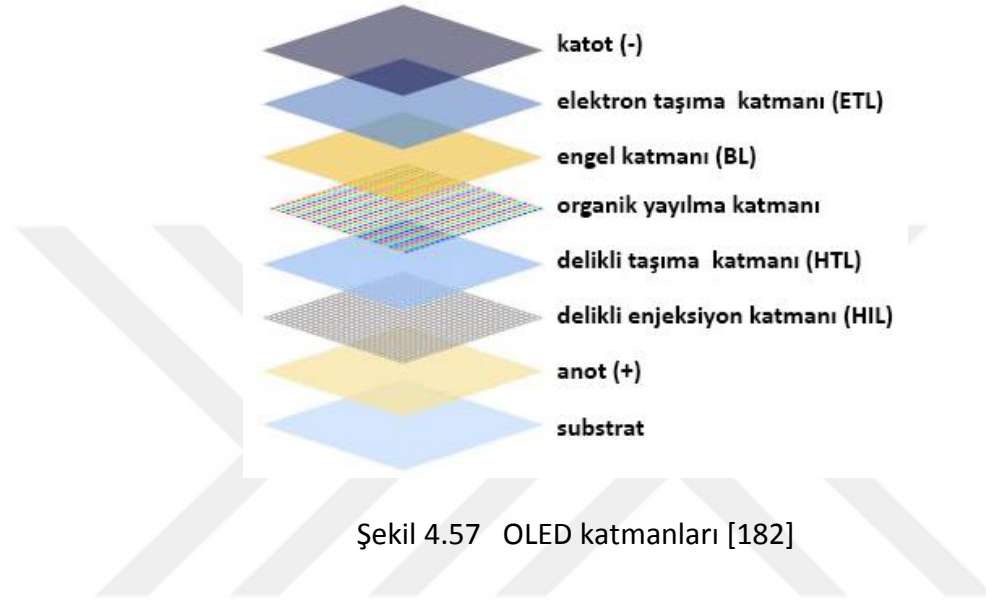
Pekin’de cephelerini reklamlarla kaplayan geleneksel cephelerin aksine, GreenPix Zero Energy Medya ekranı, karbon ayak izini desteklemektedir. Ekran çözünürlüğü düşük tutulmaktadır. LED-PV entegrasyonu ile (Şekil 4.56) gündüz elde edilen elektrik enerjisi, ilave bir enerji gereksinimi olmadan, gece aydınlatma için kullanılmaktadır.



Şekil 4.56 GreenPix Zero Energy Medya Duvarı LED-PV cephe detayı [181]

4.5.2 OLED

OLED sisteminde ana bileşen, elektrik uygulandığında ışık yayan organik (karbon bazlı) bir malzemedir. OLED, geleneksel diyotlara ve LED'e benzer şekilde çalışmaktadır¹. Basit bir OLED, altı farklı katmandan oluşmaktadır; en üstte ve en altta, koruyucu cam veya plastik tabakalar bulunmaktadır (Şekil 4.57). OLED ince ve esnek bir yapıdadır, hızlı şekilde yanıt verir [182][183].



Şekil 4.57 OLED katmanları [182]

Aliasing, OLED türbini (2015)

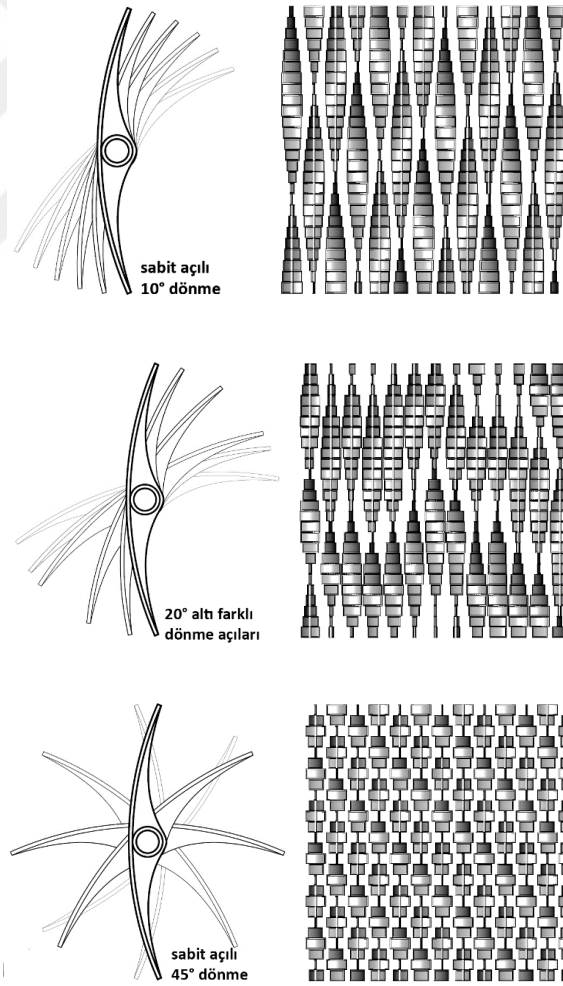
OLED teknolojisinin kullanıldığı, rüzgâr türbini tasarımı ile çalışan bir cephe önerisidir. Türbin bıçakları olarak kullanılan OLED modülleri, rüzgâr ile çalışan sürdürülebilir bir reklam panosu oluşturmaktadır. OLED'ler, düşey doğrultuda üst üste yerleştirilmiştir. Aliasing, aynı zamanda iç mekânda bölme ve ortam aydınlatması sağlamak için, elektrik jeneratörleri olmadan monte edilebilmektedir [184] (Şekil 4.58).

¹ Elektronları iletmek için yarı iletken tabakalar kullanmak yerine, organik moleküller kullanır. Geleneksel OLED, ışık üretmek için cam üzerine biriken küçük organik molekülleri kullanır. Modern OLED cihazlarında, daha verimli ve dayanıklı hale getirmek için daha fazla katman kullanılır, ancak temel işlev aynı kalır. Diğer OLED tipleri ise, büyük polimer moleküller kullanır.



Şekil 4.58 Aliasing OLED Türbin 3B görseli [184]

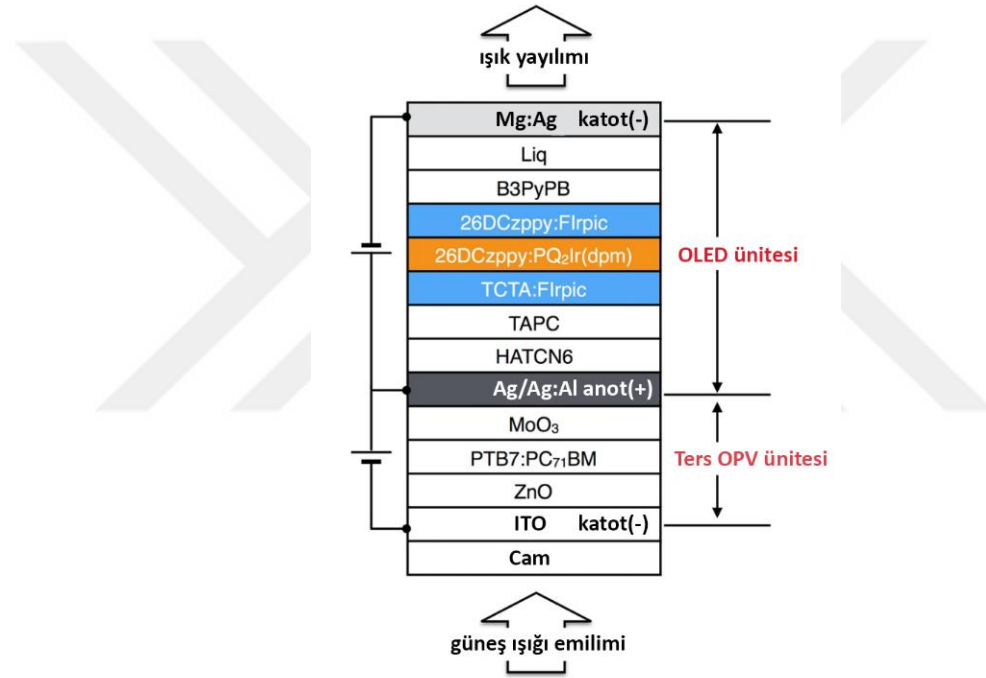
Her OLED modülü arasındaki açı farkı, farklı bir deseni tanımlar (Şekil 4.59). Model ekran açılmadığında veya rüzgâr olmadığında da görsel bir ilgi yaratır. Desen panelleri, ışık yayma amaçlı fonksiyonel kalıplardır. Aynı zamanda, iç veya dış kullanımda mimari kimlik yaratılmasına katkı sağlamaktadır.



Şekil 4.59 Aliasing OLED Türbin çalışma prensibi [184]

4.5.3 OLED- OPV

Organik LED teknolojisi ve organik fotovoltaik teknolojinin (OPV) birbirine entegrasyonu ile oluşan bir sistem olarak tanımlanır. Çift katmanlı cihazı elde etmek için, ters şekilde konumlandırılmış OPV, gümüş (Ag) katkı alüminyum (Al) anot (+) ara bağlantı ve üst emisyon OLED üniteleri kullanılır (Şekil 4.60). OPV ünitesi, saydam ITO-kaplamalı cam tarafından gelen güneş ışığı ile aktive olur; aktive olan elektronlar OLED'in gümüş (Ag) katkı magnezyum (Mg) katoduna geçerek ışımayı gerçekleştirir. OPV-OLED elemanlarının başarılı bir şekilde entegrasyonu, elektrik üretimi ve ışık emisyonu işlevinin ayrışmasıyla sonuçlanır [185].



Şekil 4.60 OLED- OPV çalışma prensibi ve katmanları [185]

The Land cephe sistemi kurulumu (2018)

Merck ve iş birliği ortakları OledWorks, OPVIUS ve Kolon tarafından yeni bir cephe konsepti olarak açıklanmıştır. Cephe, OPV (organik fotovoltaik) ve OLED (organik ışık yayan diyot) teknolojilerini birleştirerek bir ilki gerçekleştirdi. Seul Bienali için Alman mimarlar Nikolaus Hirsch ve Michel Muller ile New York merkezli Taylandlı sanatçı Rirkrit Tiravanija, devam etmekte olan The Land projesinin yeni bir yapı bileşenini geliştirdi. Oryantal zarafeti, bütünlüğü ve sadeliği sembolize eden bir dizi 4 m uzunluğunda bambu tüp, profillere asıldı. Proje, çeşitli alanları ve süreleri içeren





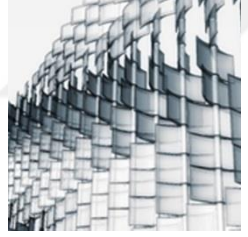

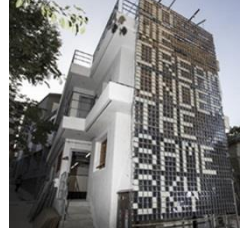

sürdürülebilir ve genişletilmiş bir yaşam döngüsüne dahil edilmiştir. Prototip, birçok noktada sergilendikten sonra Tayland'ın Chiangmai kenti yakınlarındaki 400 m²'lik bir bina cephesine monte edilmiştir. Taylandlı sanatçı etkileşim dili olarak mevcut özelliklere karşı Rirkrit Tiravanija'nın "Aynı gökyüzünün altında mı rüya görüyoruz" sözünü kullanmıştır (Şekil 4.61). Evrensel ve küresel bir kültürü benimseyerek; beraberlik, paylaşım, değişim ve deneme pratiğini teşvik etmektedir [186][187].



Şekil 4.61 The Land cephesi (OLED- OPV) [187]

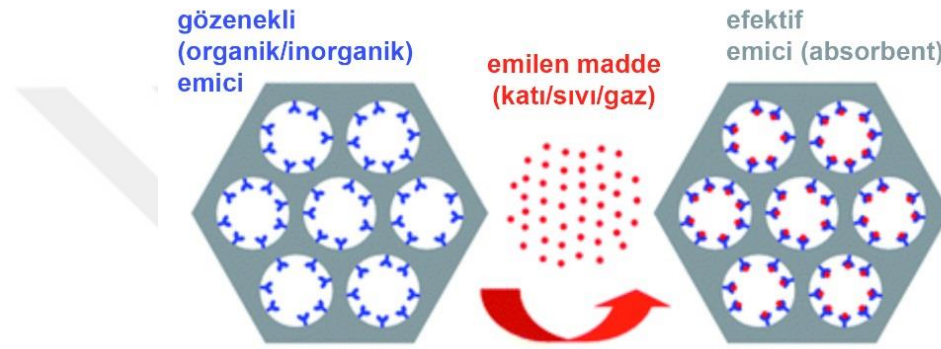
Işık yayan akıllı malzeme içeren uyarlanabilir cephe sistemlerinde PV veya OPV entegrasyonları enerji üretimi sağlamaktadır (Çizelge 4.9). *Aliasing, OLED türbini (2015)*, kinetik uyarlama özelliği ile diğer sistemlerden ayrılmaktadır. OLED desen panelleri uyarlama sistem hareketinde aktivasyon ve yüzey elemanıdır.

Çizelge 4.9 IYM uygulanan uyarlanabilir cephe sistemleri (LED)
([4][59][73][178][179][184][187]den yararlanılarak)

Uyarlama & Amacı		Uyarlı sistem elemanı
<p>Isıl kontrol ● İç ortam kalitesi ● Görsel perform. ●</p> <p>Enerji üretimi ● Akustik konfor ● Kullanıcı kontrolü ●</p>		<p>(LED çeşidi ve entegrasyonu)</p>
	<p>Chanel Ginza Medya binası (2004)</p>	 <p>(elektro kromatik cam+LED)</p> <p>-Cephe yüzey elemanı</p>
	<p>● ● ●</p>	
	<p>Akıllı (Smart)- Aktif- Etkileşimli (İnteraktif)- Değişirilebilir</p>	
	<p>GreenPix Zero Energy Medya Duvarı (2008)</p>	 <p>(cam+PV+LED)</p> <p>-Cephe yüzey elemanı</p>
	<p>● ● ● ●</p>	
	<p>Akıllı (Smart)- Aktif- Etkileşimli (İnteraktif)</p>	
	<p>Aliasing, OLED türbini (2015)</p>	 <p>(OLED panel türbin)</p> <p>-Aktivasyon elemanı -Cephe yüzey elemanı</p>
	<p>● ● ●</p>	
	<p>Akıllı (Smart)- Aktif- Etkileşimli (İnteraktif)- Kinetik</p>	
	<p>The Land cephe sistemi kurulumu (2018)</p>	 <p>(OLED + OPV)</p> <p>-Cephe yüzey elemanı</p>
	<p>● ● ● ●</p>	
	<p>Akıllı (Smart)- Aktif- Etkileşimli (İnteraktif)</p>	

4.6 Madde Alışverişi Yapan Malzemeler (MAYM)

Madde alışverişi yapan akıllı malzemeler; gaz, sıvı veya katı haldeki maddeleri molekül halinde kendine bağlama veya bu bağlantıyı kesme özelliğine sahiptir (Şekil 4.62). Bu tersine durum, fiziksel veya kimyasal tarzda olabilir. Ticari madde alışverişi yapan akıllı malzemeler, bileşenleri emmek için; sıcaklık değişimi, elektriksel etki, iyonize etki veya elektromanyetik alan etkisi gibi çevresel değişkenler tarafından uyarılabilir. Madde alışverişi yapan akıllı malzemeler, genel olarak organik ve inorganik malzemeler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [89][188].



Şekil 4.62 Madde alışverişi yapan akıllı malzeme çalışma şekli [189]

4.6.1 Aerojeller

Aerojel, gözenekli malzemeler arasında en düşük yoğunluğa (0,001 ile 0,5 g/cm³) sahip malzemedir, içerisinde 99% oranında hava bulundurur. Geri kalan kısım Grafen Aerojeldir. Bu nedenle malzeme çok hafiftir, bilinen en hafif katı maddedir, ama uçmaz. Ayrıca; arojeller, ışık geçirgenliği gösterir, alevi iletmez, karbon ayak izini azaltarak sürdürülebilirliğe katkıda bulunur [192]. Karbon Aerojel, Silika Aerojel, Alümina Aerojel gibi çeşitleri mevcuttur [190].



Şekil 4.63 Aerojel görseli [191]

Sözkonusu özellikleri nedeni ile, mimarlıkta yalıtım ve açıklık malzemesi olarak kullanılır. 20. yy. başlarında, Samuel S. Kistler tarafından geliştirilmiştir.

ICE House TM (2016)

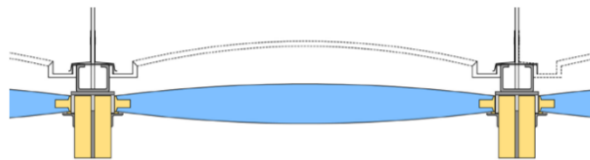
William Mc Donough tarafından küresel inovasyon ekonomisinin bir araya gelebileceği bir kongre merkezi olarak tasarlandı. Bina cephesi olumlu tasarım çerçevesine ve döngüsel ekonomiye atıfta bulunmak için tasarlanmıştır. Sürdürülebilir tasarım anlayışı ile tasarım; alüminyum yapısal çerçeve, polimer paneller ve yalıtım malzemesi olarak kullanılan aerojellerden oluşmaktadır [193].



Şekil 4.64 ICE House TM cephesi [193]

- **Aerojel- ETFE**

Doğal ışığın kullanılmasının önemli bir rol oynadığı ETFE membran yastıklarda, yarı saydam aerojel kullanımı uygun bir seçimdir. Aerojel dolgu, ETFE yastığın üst veya alt katmanına uygulanabilir. Gereken aerojel miktarı, ETFE katmanlar için kesim planına danışılarak belirlenir. ETFE folyo, nem difüzyonuna nispeten açıktır; az miktarda su buharının yalıtım seviyesine nüfuz etmesine izin verir. Ancak aerojelin hidrofobik özellikleri sayesinde, su granüller tarafından emilmez [194].



Şekil 4.65 Yarı saydam Aerojel dolu ETFE panelleri kesidi [195]

DFAB Empa Evi (2019), Modüler Araştırma ve İnovasyon Binası

Büyük ölçüde robotlar ve 3D yazıcılar ile yapılmış ilk evdir. Sürdürülebilirlik açısından; bu yenilik, tasarım özgürlüğünden ödün vermeden geleceğe atılmış önemli bir adımdır (Şekil 4.66) çift robotlu otomatik robotik kayar sistem, yapının ahşap çerçeve modüllerini oluşturmak için kullanan dijital bir prefabrikasyon işlemidir [196][197].



Şekil 4.66 Çift robot sistemi [199]

Üst cephede, yenilikçi bir malzeme olan aerojel dolgulu yarı saydam bir ETFE cephesi uygulanmıştır. ETFE cephesinin aerojel dolumu sayesinde, $U=0.165 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ısı iletim katsayısı değeri elde edilir. Bu malzeme, bina açıklıkları için oldukça kullanışlıdır, görsel bağlamda bina cephelerine katkıda bulunmaktadır [196][197].

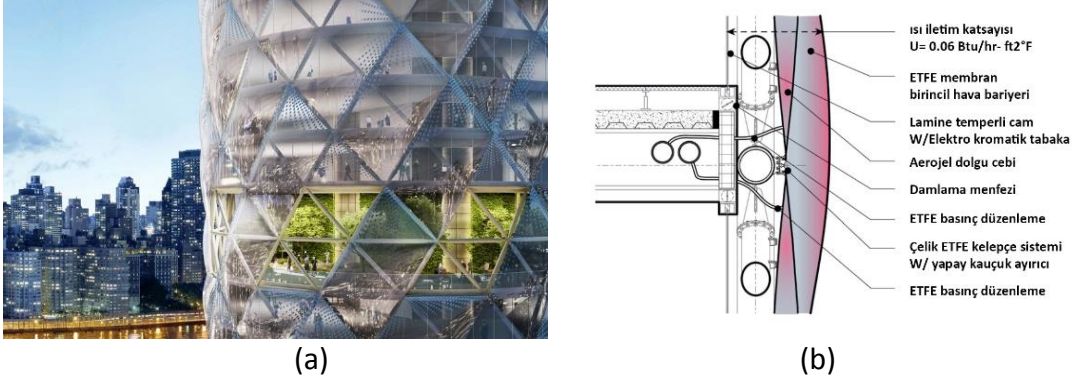


Şekil 4.67 DFAB Empa Evi cephesi [196][198]

X/O Skeleton Design Concept (2017)

Bir binanın somutlaşmış enerjisinin, kullanım ömrünün çok üstünde olabileceğini destekleyen proje, binaların ne kadar hafif olacağı sorusuna cevap aramaktadır. Diagrid sistem; bina cephesinde, yanal ve yerçekimi yüklerini verimli bir şekilde birleştiren,

optimize edilmiş bir yapısal biçimdir. “O” ise, ısı ve güneş kontrol katmanı olarak işlev gören nanogeller ve aerojel bazlı kompozit ETFE’nin dolgu panellerini temsil etmektedir.



Şekil 4.68 (a) X/O Skeleton Dizayn Konsepti, (b) ETFE- aerojel sistem detayı [200]

4.6.2 Hidrojel

Hidrojel; suda çözünmez, suyu bünyesinde tutarak şişme özelliği gösterir. Çok sayıda hidrofilik gruplar içeren ($-SO_3H$, $-COOH$, $-CONH_2$, $-OH$, $-NH_2$), üç boyutlu-ağ yapılı polimerdir. Su, malzemede hacim ve kütle artışına neden olur. Yumuşaklık, esneklik ve su tutabilme özelliği, canlı dokular ile büyük benzerlik göstermektedir.

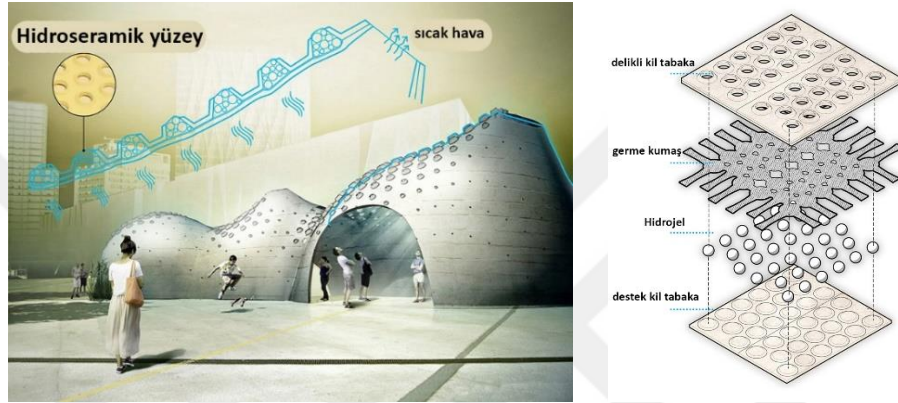


Şekil 4.69 Hidrojel [201]

1950’li yıllarda, ilk hidrojel bazlı yumuşak kontakt lensler hazırlanmıştır. 1960’larda ise hidrojellerin biyouyumluluğu ile ilgili çalışmalar yürütülmüştür. Hidrojeller, yaşamımızda birçok alanda önemli bir yer almaktadır. Yüksek maliyet dezavantajına rağmen, mimarlık alanındaki tasarımlarda hidrojel malzeme yer almaya başlamıştır [202].

Hydroceramic (2014)

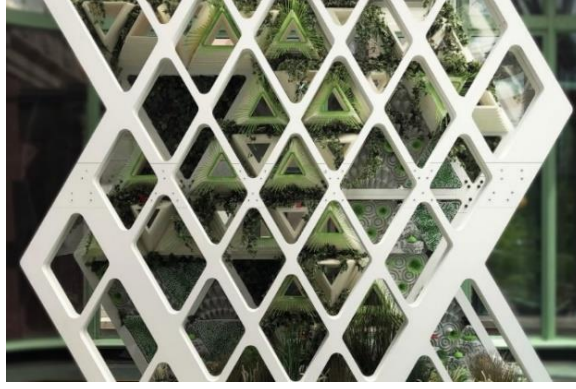
IAAC mimari stüdyo öğrencileri tarafından tasarlanmıştır, iç mekân hava kalitesini 6°C'ye kadar düşürebilen kompozit kil ile çalışır. Hydroceramic başlıklı projede, hidrojin kendi ağırlığının 500 katına kadar su emebilme yeteneğini kullanmışlardır. Kil tabakasının açıklıklarında yer alan hidrojel topları, buharlaşmanın gerçekleşmesi için hem sıcaklığı düşüren hem de çevresindeki havanın nemini artıran geniş bir yüzey alanı ortaya çıkarır. Yapılan analizler sonucunda öğrenciler, hidrojele eşlik edecek en iyi malzemenin, gözenekli yapısı sayesinde kil olduğunu belirlemişlerdir [203]



Şekil 4.70 Hydroceramic SKIN cephesi ve katman detayı [203]

Monarch Sanctuary (2019)

New York'da sekiz yeni ticari yapı katına uygulanması planlanan bir projedir. Bölgede yaşayan hükümdar kelebeği (*Danaus plexippus*) için yarı gözenekli bir üreme alanı sağlar. Yapı cephesi; insanlar, bitkiler ve kelebekler için bir arada yaşama biyomenidir. Çift cidar, cephe dış katmanı ve çapraz örgü çerçeve ile desteklenen ETFE membran örtüden oluşur (Şekil 4.71). ETFE katman, optimum nem seviyelerinin korunmasına yardımcı olmak için, hidrojel kabarcıklar ve alg keseleri bulundurur; keseler, hava ve bina atık suyunu temizler. Binanın; kentsel çevrenin, bitki yaşamı ve diğer canlılar dahil olmak üzere yeşil teknolojiler ile güçlendirilmesi, tasarım ve kentsel çevre için yeni olasılıkların aktarılması amaçlanmıştır [204][205].



Şekil 4.71 Monarch Sanctuary cephesi [204]

4.6.3 Algler

Algler, bitkilere benzemelerine rağmen, bitkilerle yakın akrabalığı olmayan suda yaşayan canlılardır. Dünyadaki fotosentetik oksijenin üçte ikisi su yosunları tarafından üretilir, geriye kalan kısmı ise bitkiler üretir. Bu nedenle su yosunları dünyada yaşamı için bir vazgeçilmezdir. Sera gazı emisyonunu azaltarak karbon ayak izini azaltmak için, son yıllarda mimaride kullanımları gözlenen algler, oldukça farklı ve estetik tasarımlara eşlik etmektedir [206][207].



Şekil 4.72 Alglerin doğal görünümü [208]

SymBIO2 Biofacades (2013)

Projelerinde, gerçek anlamda yaşayan mikro algleri yapı malzemesi olarak kullanan XTU mimarlık ofisi tarafından tasarlanmıştır. Mikro algler foto reaktörlerin cam ünitelerin ara boşluğunda bulunmaktadır. Işığa maruz kalan çift cidarlı ön cephe, dikey bir canlı mikro-organizma çiftliği görevi görür. Binadaki enerji performansını optimize eden ısı regülatör görevi görmektedir. Alg bazlı cephe sistemleri mimarisi fütüristik olarak

algılanmaktadır. Gün ışığı zamanına bağlı olarak az veya çok opak durumdadır, bu nedenle dinamik bir güneş gölgeleme cihazı olarak işlev görmektedir [209].



Şekil 4.73 SymbIO2 Biyo cephesi [210]

Urban Algae Canopy (2015)

Projesi ilk bio-dijital örtüyü sunmaktadır. Prototip; ağaçlara ve çimlere kıyasla, on kat daha verimli fotosentetik mikro alg organizmaların olağanüstü özelliklerine dayanmaktadır. Milano'da sunulan 1:1 ölçekli model, dünyanın ilk bio-dijital örtüsünü yapılandırmaktadır. Özel tasarlanmış üç kat ETFE kaplama sistemi içerisinde alg yetiştiriciliği, geleneksel ETFE kaplama sisteminin radikal şekilde yeni yorumunu temsil eder. ETFE yastıkların morfolojisi ve su ortamı, içinden geçtiği akışkanın dinamik davranışını kontrol eder [211].

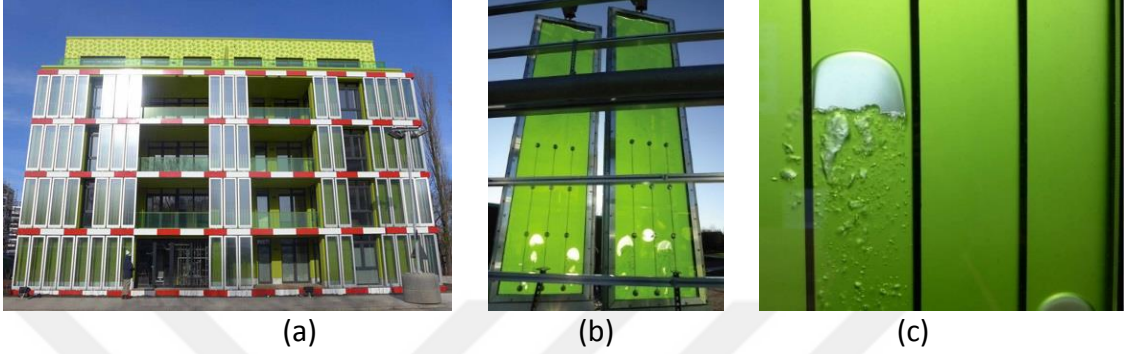


Şekil 4.74 Urban Algae Canopy prototipi [211]

The BIQ evi, SolarLeaf biyo cephesi (2013)

Arup proje firması tarafından tasarlandı. Cephe sistemi alg kullanım önerisini sunmuştur. İlk kez Hamburg'daki dört katlı konut binasının güney-batı ve güney-doğu cephelerine 2,5m x 0,7m boyutlarında paneller formunda yerleştirildi, 129 biyoreaktör

bulunan ikincil bir cephe oluşturuldu; paneller, dört cam katmandan oluşur. İç iki katman, su ve alg tutan 24 litrelik boşluğu; dış iki katman ise, ısı kaybını önleyen argon dolgulu yalıtım bariyerinden oluşmaktadır. Panellerin içerisinde bulunan algler, büyüyerek güneş enerjisini toplar ve ek bir ısı kaynağı sağlar. SolarLeaf, BIQ evindeki 15 yerleşim biriminin toplam ısı talebinin yaklaşık üçte birini sağlamaktadır [212][213].



Şekil 4.75 (a) the BIQ evi, (b) Solar leaf panelleri [212][213]


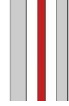

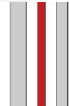
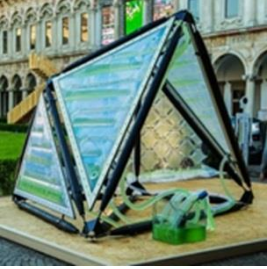
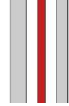

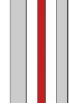
İnorganik madde alışverişi yapan malzeme içeren uyarlanabilir cephe sistemlerinde aerjel genel olarak dolgu malzemesi olarak cephe yüzey elemanlarına dahil edilmektedir (Çizelge 4.7). İncelenen örneklerde, *Hydroceramic (2014)* projesinde hidrojel farklı olarak birleşim ve cephe yüzey elemanı olarak kullanılmıştır. Hidrojel topların şişme hareketi uyarlı cepheye kinetik özellik kazandırmaktadır. Ayrıca iç ortam hava kalitesine doğrudan etki sağlar. Öznel malzeme özellikleri tüm örneklerde akustik konfora katkıda bulunmaktadır.

Çizelge 4.10'da organik madde alışverişi yapan akıllı malzeme kullanılan uyarlanabilir cephe sistemleri incelenmiştir. *Monarch Sanctuary (2019)*, örnek cephele arasında organik (alg) ve inorganik (hidrojel) madde alışverişi yapan akıllı malzeme içeren tek cephe. *Urban Algae Canopy (2015)*, projesi ile benzer özellikler taşımaktadır. Her ikisinde dolgu malzemesi olarak kullanılan malzeme ETFE ile kaplıdır. *The BIQ evi, SolarLeaf biyo cephesi (2013)*, cephe sistemi alg kullanımının akıllı sistem entegrasyonu ile tüm uyarılama amaçlarına cevap vermektedir.

Çizelge 4.10 İnorganik MAYM uygulanan uyarlanabilir cephe sistemleri ([4][59][73][193][196][200][203]den yararlanılarak)

Uyarlama & Amacı		Uyarlı sistem elemanı
Isıl kontrol ●	İç ortam kalitesi ●	Görsel perform. ●
Enerji üretimi ●	Akustik konfor ●	Kullanıcı kontrolü ●
		(hidrojel/aerojel)
	ICE House TM (2016)	 (polimer panel+aerojel) -Cephe yüzey dolgu elemanı
	● ● ●	
	Akıllı (Smart)- Duyarlı	
	DFAB Empa Evi (2019)	 (ETFE+aerojel) -Cephe yüzey dolgu elemanı
	● ● ●	
	Akıllı (Smart)- Duyarlı	
	X/O Skeleton Design Concept (2017)	 (ETFE+aerojel) -Cephe yüzey dolgu elemanı
	● ● ●	
	Akıllı (Smart)- Duyarlı	
	Hydroceramic (2014)	 (Kil+hidrojel) -Birleşim elemanı -Cephe yüzey elemanı
	● ● ● ●	
	Akıllı (Smart)- Duyarlı- Kinetik	

Çizelge 4.11 Organik MAYM uygulanan uyarlanabilir cephe sistemleri([4][59][73][204][210][211][212]den yararlanılarak)

Uyarlama & Amacı		Uyarlı sistem
Isıl kontrol ●	İç ortam kalitesi ●	Görsel perform. ●
Enerji üretimi ●	Akustik konfor ●	Kullanıcı kontrolü ●
	Monarch Sanctuary (2019) ●●●●	 (ETFE+hidrojel+alg) -Cephe yüzey dolgu elemanı
	SymbIO2 Biofacades (2013) ●●●	 (cam+alg) -Cephe yüzey dolgu elemanı
	Urban Algae Canopy (2015) ●●●	 (ETFE+alg) -Cephe yüzey dolgu elemanı
	the BIQ evi, SolarLeaf biyo cephesi (2013) ●●●●●●●	 (cam+argon+alg) -Cephe yüzey dolgu elemanı

4.7 Şekil Değiştiren Malzemeler (ŞDM)

Şekil değiştiren akıllı malzemeler (ŞDM); ışık, sıcaklık, basınç, elektrik alanı, manyetik alan veya bir kimyasal alanın etkisi ile şekilleri veya boyutlarını değiştirebilme yeteneğine sahiptir. Bir veya birden fazla uyarana cevap olarak, tersine şekil değiştirme özelliği gösterirler. Bazı örnekler; boyutlarını değiştirmeden şeklini değiştirebilirken, bazıları şekillerini koruyarak boyutlarını değiştirir; bazıları ise aynı anda her iki parametreyi de değiştirebilir. Şekil değiştiren akıllı malzemelerin deformasyonları farklı ilkelere dayandırılır. Malzeme bileşenlerinin dağılım düzeni ve temel geometrisi, deformasyon boyutu ve şekli üzerinde önemli rol oynar.

Şekil değiştiren malzemeler, tetikleyici uyarılarına göre şu şekilde sınıflandırılmıştır [89]:

- *Fotostriktif*: Işık etkisi (elektromanyetik enerji)
- *Termostriktif*: Sıcaklık etkisi (ısı enerjisi)
- *Piezoelektrik*: Basınç etkisi (mekanik enerji)
- *Elektroaktif*: Elektrik alan etkisi (elektrik enerjisi)
- *Manyetostriktif*: Manyetik alan etkisi (manyetik enerji)
- *Kemostriktif*: Kimyasal ortam etkisi (kimyasal enerji)

Günümüzde mimarlık alanında ilgi çeken akıllı malzemeler "termostriktif, piezoelektrik, elektroaktif ve kemostriktif" tiplerdir. Piezoelektrik malzemeler, aynı zamanda elektrik üreten akıllı malzemeler sınıfında yer almaktadır. Bu malzemelerin temin edilebilmeleri, uzun vadeli stabilizasyonları ve öngörü yetenekleri, pazar payı ve gelişme başarılarını arttırmaktadır. Günümüzde mevcut duyarlı cephe örnekleri ve prototiplerinde termobimetal, şekil değiştiren alaşım ve polimerler yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

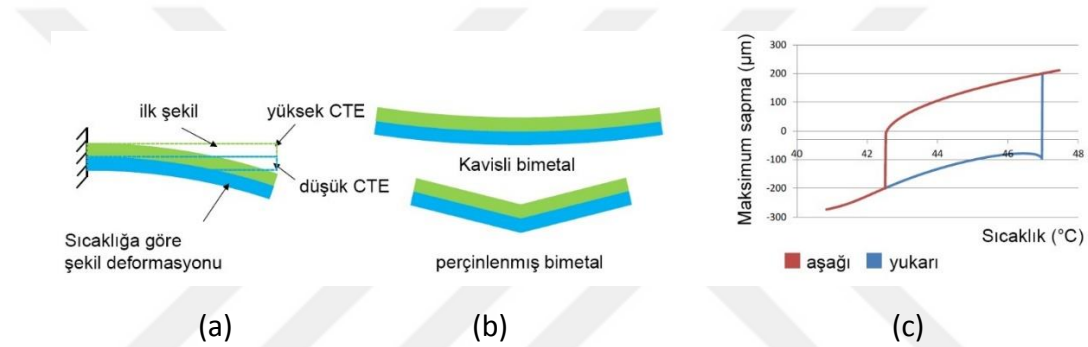
4.7.1 Termobimetal malzemeler

Termobimetal malzemeler (TBM), farklı ısı genleşme katsayılı (CTE) iki farklı metalin (demir, bakır vb) bir araya gelmesi ile oluşturulur; birleşimi kaynak, lehim veya perçin ile gerçekleştirilir. Metaller arasındaki CTE farkı, bimetallik şeritlerin ısıtıldığı veya

soğutulduğu durumda eğilmesini sağlar. Bu durumda ısı enerjisi, mekanik enerjiye dönüşerek istenilen hareketin oluşmasını sağlar. Termo bimetal; saat, termostat, termometre gibi günlük uygu-lamalarda kullanılır. Ayrıca, tersinirlik özelliği sayesinde elektrikli cihazlarda devre kesicidir [151][215][216].

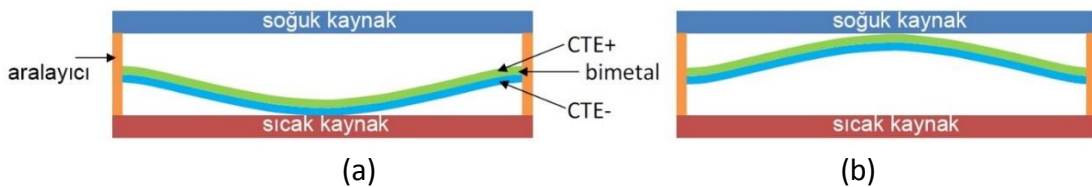
Yüksek güvenilirlik, kullanım kolaylığı, yüksek boyutsal doğruluk, tekrarlanabilirlik, etkili uygu-lama, küçük miktarlar ile test edilebilirlik gibi avantajlara sahiptir [217].

Bimetal işlevlerine göre farklı biçimlerde tasarlanır; CTE farkı ile, yassı bimetalik şeritler bimetal güç dönüştürücülere (transducer)¹ dönüşür. Kavisli veya perçinli bimetalik şeritler; güçlü ve doğrusal olmayan davranış sunarak, tersinir biçimde sıcaklığa göre iki pozisyon arasında gidip gelir (Şekil 4.76).



Şekil 4.76 (a) Konsol şerit bimetal, (b) perçinlenmiş bimetal, (c) döngü [215].

Bimetal tabanlı ısı motoru; üstte ve altta farklı ısı kaynaklarını kullanarak, serbest bimetal şeritin mekanik salınımına imkan sağlar. Bimetalde; yüksek CTE'ye sahip olan, düşük CTE'linin üzerinde bulunur. Bimetal, kavisli olarak oyuğa kenetlenir. Cihaz düşük etki durumunda iken; bimetal, alt plaka ile temas halindedir. Cihaz; sıcak bir kaynağa yerleştirildiğinde (Şekil 4.77), bimetal ısınarak mekanik elastik enerji toplar ve burkularak enerjinin boşalması ile üstteki plakaya temas eder ve orada soğur; sonra düşük durumuna geri dönerek döngüyü yeniden başlatır [215].



Şekil 4.77 Bimetal tabanlı ısı motoru, (a) düşük durum, (b) üst durum [215].

¹ Algılanan tüm bu enerjileri daha sonra kullanılmak üzere elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır.

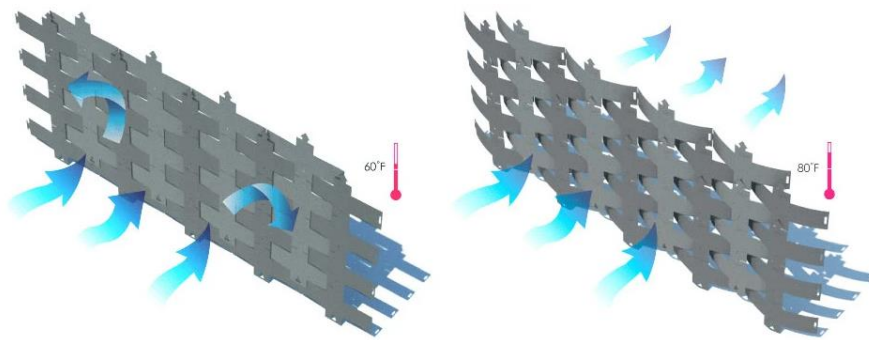
Son on yılda, dönüştürücü performansını iyileştirmek için çok sayıda deney yapılmıştır. Dönüştürücülerde; anlık hareket etkinlik karakteristiklerinin, geometri ve malzeme değişkenleri tarafından belirlendiği görülmüştür (Çizelge 4.12). Bimetalik şerit performansını optimize etmek için; bu değişkenleri tanımlamak, anlamak ve her değişkenin göreceli önemini belirlemek gerekmektedir [216].

Çizelge 4.12 Güç dönüştürücü üretiminde bimetal şerit özellikleri [216].

ASTM Tipi	TM2
Yüksek Genleşme Alaşım	Alaşımı P (%72 Mn, %18 Cu, %10 Ni)
Düşük Genleşme Alaşım	Alaşımı 10 (%36 Ni, Denge Fe)
Yoğunluk	7.61 g / cm ³
Sertlik Hv	210 ± 20 (Düşük Genleşme Tarafı) 220 ± 20 (Yüksek Genleşme Tarafı)
Elastisite modülü	Maks. 131 GPa
Yaklaşık Sıcaklık Aralığı	-20- +200 °C
Faydalı Sapma Sıcaklık Aralığı	-70- +260 °C
Tavsiye Edilen Maks. Sıcaklık	430 °C
Spesifik Eğrilik (10-93 °C)	39.1 x10 ⁻⁶ (mm / mm) / °C
Spesifik Sapma	20.6 x10 ⁻⁶ (mm / mm) / °C
Kalınlık	0,20 mm

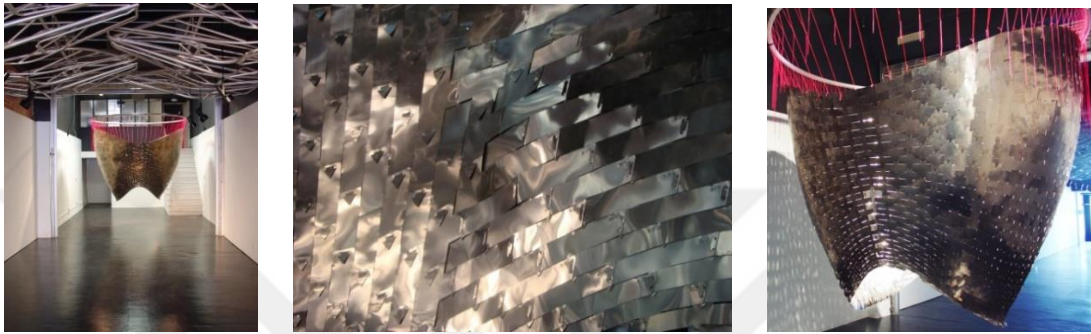
Armoured Corset (2010)

Binanın iç veya dış sıcaklık artışına, termo bimetal kullanımı ile, otomatik olarak havalandırma sağlayacak bir sistem önerisi geliştirilmiştir. Her bir metal karo, eğilerek ve cephe yüzeyindeki gözenekleri hareket ettirerek açıklıklar yaratır. Farklı CTE'li, iki tip, ince sac metal şeritler kullanılmıştır (Şekil 4.78). Malzemenin kapasitesini araştırmak için; çeşitli döşeme formları, Catia ve *ParaCloud* programlarında dijital olarak test edilerek modellenmiştir [218][69].



Şekil 4.78 Bimetal haç kolları hasır örgüsünün farklı sıcaklık davranışı [218].

WuHo Galerisinde (Hollywood, CA) sergilenen prototip dinamik şekli; her bir karonun farklı parametrik olarak değişimine izin vermektedir. Açıklık boyutları, örülmüş haç kollarının uzunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Metallerin farklı genleşme katsayıları ve çeşitli kalınlıklardaki kombinasyonları, çok çeşitli şekil değiştirme biçimlerine imkân sağlar¹. Şekil değiştirme miktarı; tabakanın boyutu, hava sıcaklığı, sıkıştırma şekli ve malzemenin kalınlığına bağlı olarak değişmektedir [69]²[218]. Analizler sonrası prototip olarak uygulanmıştır (Şekil 4.79).



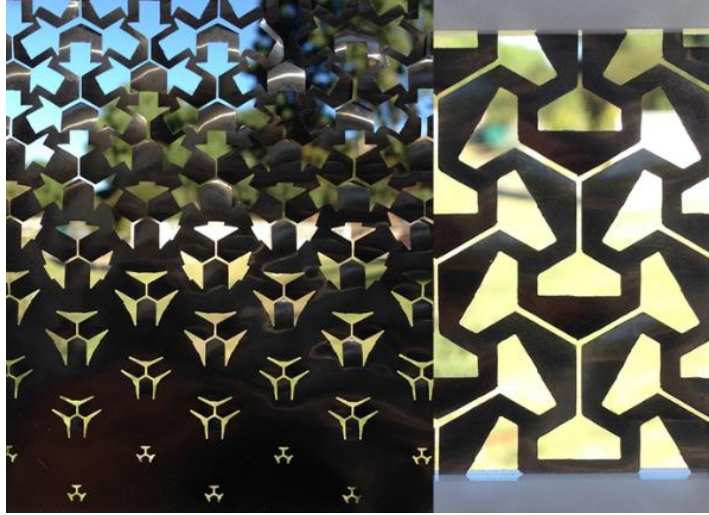
Şekil 4.79 Armoured Corset prototip görseli [218]

Glass Panel Shutter System

Araştırması devam eden bir projedir. Maksimum gün ışığı ve görüntü miktarını korumak, ayrıca binaya giren ışık miktarını kontrol etmek için, iki cam yüzeyi arasında bir panjur sistemi olarak tasarlanmıştır (Şekil 4.80). Termo bimetallerin dış ortam sıcaklığından faydalanarak, yüksek iletkenleri ile gösterdikleri tepki, cephe yüzeyi desenlerini oluşturur [220][221].

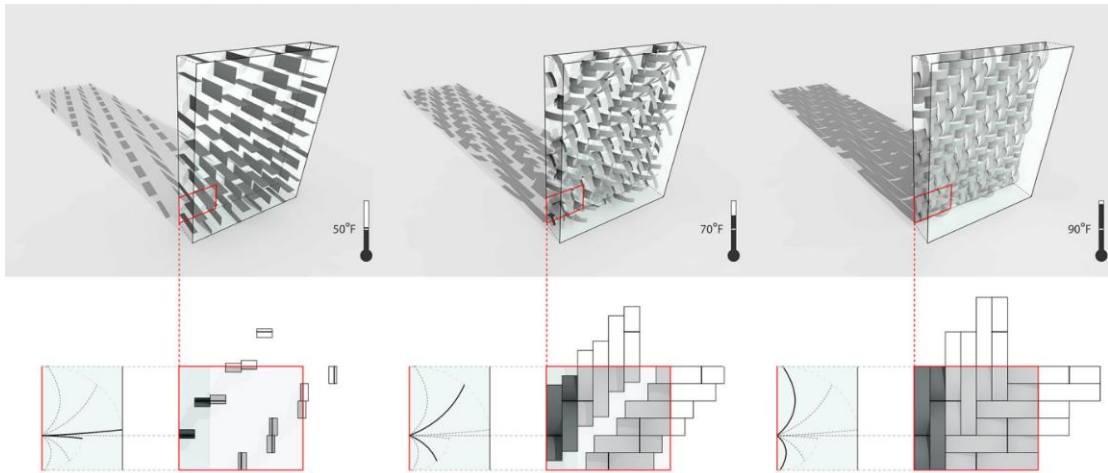
¹ Bu araştırma için ideal termo bimetal olan TM2-ASTM, "0°F -120°F" sıcaklık aralığında en yüksek şekil değiştirmeyi gösterir. Düşük genleşme özelliği için %64 Fe, %36 Ni, C ve Cr alaşımı; yüksek genleşme özelliği için %72 Mn, %18 Cu ve %10 Ni alaşımı uygulanabilir. Bimetal; disk, spiral vb şekillerde üretilir.

² Armoured Corset projesinde, bilgisayar modeli sayesinde; malzeme özellikleri, çevresel özellikler ve fiziksel etkiler dijital olarak kolaylıkla temsil edilmiştir. Ancak, parametrelerin sadece niceliksel özellikleri modellenemediği için; sürtünme, yerçekimi kuvvetleri ve malzeme kusurları gibi parametreler tanımlanamamıştır. Bu farklılık eşdeğer kuvvetler tanımlanarak giderilmeye çalışılmıştır (örneğin ağırlığa bağlı sürtünme kuvveti, çekme kuvveti ile temsil edilmiştir). Bu farklılık; yüzeyin 70°F yerine, 85°F'de kırılmasına neden olmuştur [69].



Şekil 4.80 Glass Panel Shutter cephe yüzey görseli [220]

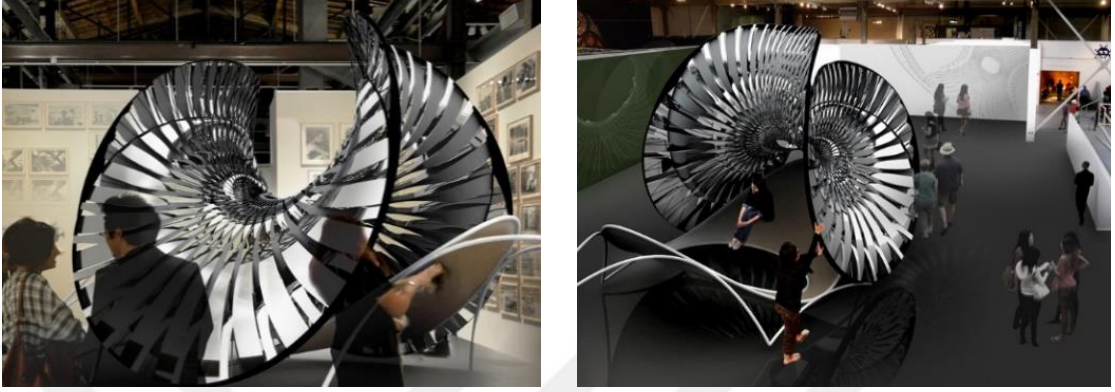
Sistemin optimal çalışmasını sağlamak için, termo bimalal yüzeydeki geometri ve desenler çok önemlidir. Değişkenler; konum, bina yönü, geometrik desen şekli, bağlam, iklim ve hedeflenen iç ortam sıcaklığı olup; doğru kalibre edilirse, binanın ısı kazancı azaltılarak, toplam enerji tasarrufuna önemli ölçüde katkıda bulunulacaktır. Güneş, camın dış yüzeyine girdiğinde, bimalal kıvrılır ve ışığın geçmesini engeller, manuel veya bilgisayarlı kontrole ihtiyaç duymaz [220][221].



Şekil 4.81 Glass Panel Shutter System sıcaklık ile cephe yüzeyi desen değişimi [221].

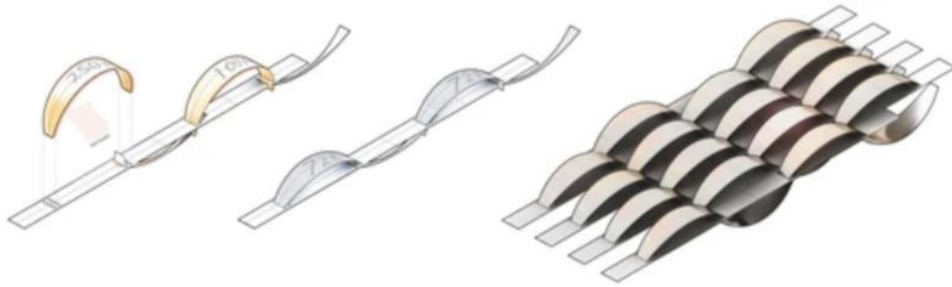
Blink (2013)

MoCA galerisinde, iç mekân sıcaklığına müdahale edilmesine izin verilmediği için; Blink tasarımında hem montaj hem de yapısal ön gerdirmeye işlemlerinde termo bimetallerden faydalanmıştır [218][221].



Şekil 4.82 Blink projesi 3B görselleştirmesi [221].

Kalın termo bimetaller elle bükülemediği için, ~250-300°F'ye kadar ısıtılarak, metalin kolayca kıvrılması ve konumlandırılması sağlanır. Önerilen sallanan pavyon, bu yüzeyi dış iskelet olarak kullanmaktadır; kurulum, bir kişi tarafından kolayca yapılmaktadır. Bu yüzeyin dayanıklılık, hafiflik ve uyarlanabilirlik özelliklerini göstermek için önerilen haddeleme¹; pavyonu, dinamik, çift eğimli hale getirmektedir [218][221].



Şekil 4.83 Blink projesi bimetal şerit örgü detayı 3B görselleştirmesi [218].

Bloom (2011)

Victoria dönemi kadın giyimine atfen, zamanı ve sıcaklığı endeksleyen güneş izleme aracı "Bloom"; malzeme deneyimini, yapısal yenilik ve yeni hesaplamalar ile çevresel

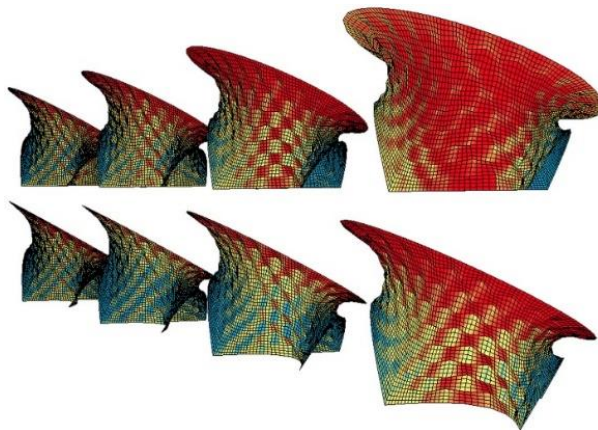
¹ Malzemeleri, eksenleri etrafında dönen iki silindir arasından geçirerek yapılan plastik şekil verme işlemine haddeleme denir [219].

olarak duyarlı bir forma sokmaktadır. Herhangi bir kontrol veya enerji olmadan ısındığında kıvrılan termo bimetel, sıcaklık yükseldikçe kabuk altındaki belirli bölgeleri gölgelendirir ve havalanmayı sağlar. Bina cephesinde kullanıldığında, klima bağımlılığını azaltarak, ada etkisini geciktireceği öngörülmektedir [38][218][220][221].



Şekil 4.84 Bloom projesi yerleşim fotoğrafı [220]

Uyarlanabilir hiperbolik paraboloid yüzey; birbirine benzemeyen, iki desenli, 14.000 adet termobimetel karo parçadan oluşmuştur. Her bir parça, dış ortam sıcaklığı 70°F'ın üstüne çıktığı zaman, kendiliğinden kıvrılmaktadır. Bazı alanlarda perçinli bağlantı sayısı artırılarak daha rijit hale getirilirken; diğer alanlarda paneller, hareketi arttırmak için bağlantılar arası daha geniştir. Kıvrılan paneller, parametrik tasarımın dijital üretim yeteneğine meydan okumaktadır. Bloom; gölgelik altındaki belirli alanları kendiliğinden gölgeleyebilen, havalandırabilen bir cephe sistemidir [220][221][218][38].

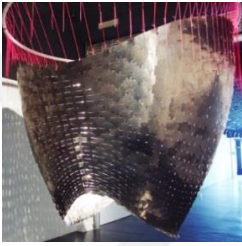
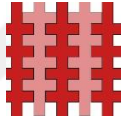
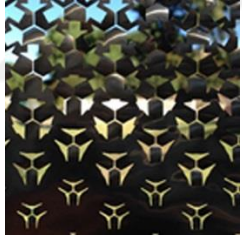
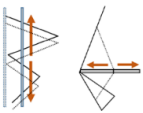

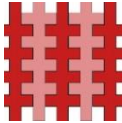

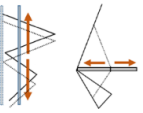


Şekil 4.85 Bloom güneş enerjisi analizi çalışması [221].

Çizelge 4.13'de incelenen örnek şekil hafızalı termobimetel malzeme içeren uyarlanabilir cephe sistemleri projeleri uygulama amacı bakımından benzerlik

göstermektedir. Uyarlı sistemin tüm elemanlarına dahil olarak pasif akıllı malzeme davranışı sergiler. *Armoured Corset (2010)* ve *Blink (2013)* cephe sistemlerinde termobimetal örgü şeritler kullanılmıştır. Örgü ağı sistemin 3 boyutlu hareketine olanak sağlamaktadır.

Çizelge 4.13 Termobimetal ŞDM uygulanan uyarlanabilir cephe sistemleri ([4][59][73][218][220][221]den yararlanılarak)

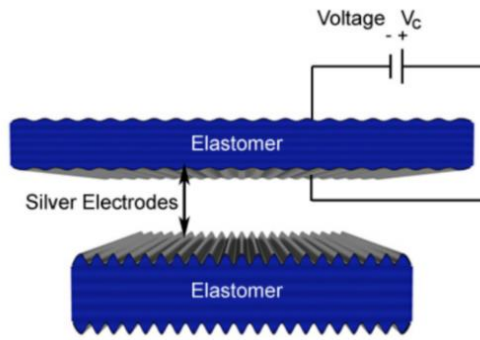
Uyarlama & Amacı		Uyarlı sistem
Isıl kontrol ●	İç ortam kalitesi ● Görsel perform. ●	-Pasif akıllı malzeme davranışı -Cephe yüzey elemanı -Aktivatör eleman -Birleşim elemanı
Enerji üretimi ●	Akustik konfor ● Kullanıcı kontrolü ●	
	Armoured Corset (2010) ● ● ● Akıllı (Smart)- Duyarlı- Aktif- Kinetik	 (termobimetal örgü şerit) -3B
	Glass Panel Shutter System ● ● ● Akıllı (Smart)- Duyarlı- Aktif- Kinetik	 (kapanma-açılma) -2B
	Blink (2013) ● ● ● Akıllı (Smart)- Duyarlı- Aktif- Kinetik	 (termobimetal örgü şerit) -3B
	Bloom (2011) ● ● ● Akıllı (Smart)- Duyarlı- Aktif- Kinetik	 (kapanma-açılma) -2B

4.7.2 Şekil Hafızalı Polimerler (ŞHP)

Şekil hafızası olan alaşım malzemelerine alternatif olarak; son zamanlarda, polimerlerin¹ de benzer etki verebilmesi için büyük çaba harcanmıştır. Polimerlerin birkaç farklı formda kolayca imal edilebileceği görülmüştür.

Şekil hafızalı polimerlerin (ŞHP), günlük yaşamda çeşitli uygulamaları mevcuttur; örneğin, akıllı kumaş, elektronik ya da ambalajlama filmi, ısıya duyarlı tüp, cep telefonu, akıllı tıbbi cihazlar, cerrahi implant ve uzay aracında kendiliğinden açılan güneş yelkenlerinde ŞHP kullanılır.

ŞHP, uygun uyarana maruz kaldığında, şeklini önceden tanımlanmış olarak A'dan B'ye değiştirebilir. B şekli ilk işlem adımı tarafından verilirken, A şekli programlama adı verilen bir işlem uygulanarak belirlenir. ŞHP'nin hareketi dolaylı ya da doğrudan uyarıcılarla desteklenebilir [95][227][228].

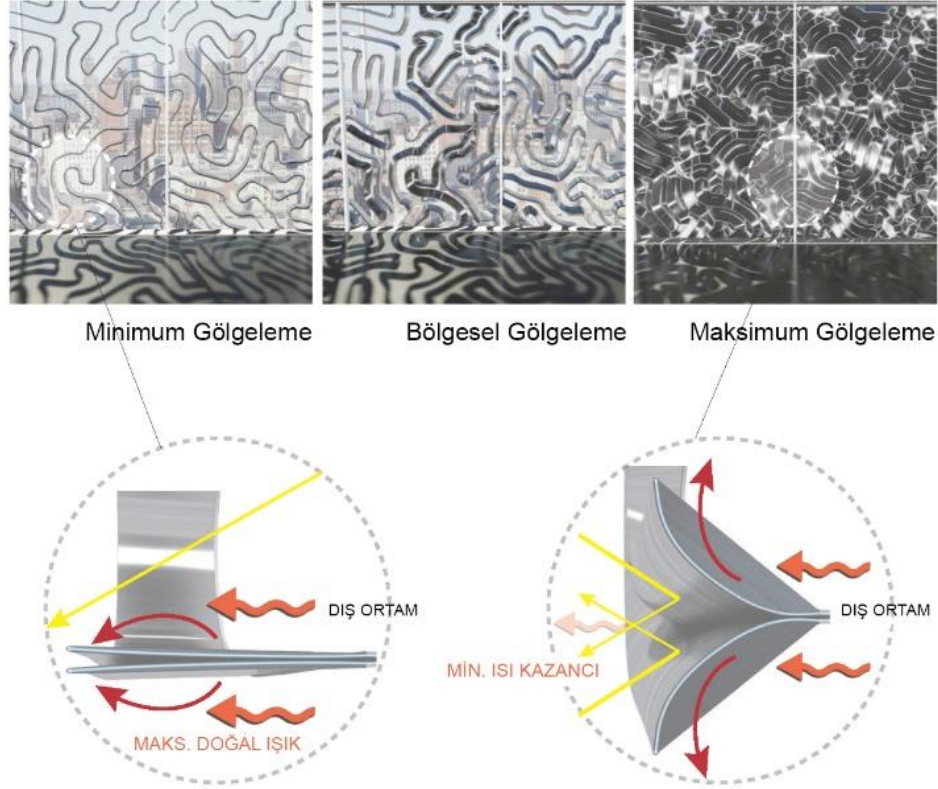


Şekil 4.86 Elektro aktif polimer (EAPs) [222].

Homeostatik cephe (2011)

Doğadan ilham alan tasarım, insanın kas sistemi gibi genişleyerek ve daralarak, iç mekan sıcaklığını düzenler. New York'lu Decker Yeadon firması; büyük yapılar için, iç mekan sıcaklığındaki değişikliklere cevaben otonom olarak açılan-kapanan çift cidarlı bir cam cephe sistemi tasarlamıştır. Halen prototip halindeki Homeostatik cephenin, geleneksel sistemlere göre, düşük güç tüketimi ve üstün hassasiyet avantajı mevcuttur, ayrıca giderek daha şeffaf hale gelen çağdaş mimariye fayda sağlamaktadır [222][223][224].

¹ Polimer, çok sayıda molekülün kimyasal bağlarla bir araya gelerek oluşturdukları yüksek molekül ağırlıklı bileşiklerdir.



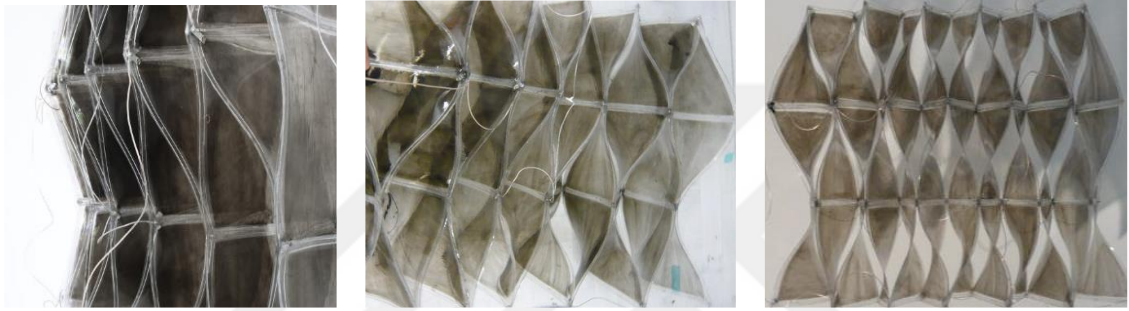
Şekil 4.87 Homeostatik cephe gölgeleme sistemi çalışma prensibi [225].

Ön cephedeki şeritler, esnek polimer göbeğe sarılı elastomerden oluşur. Elastomer üzerindeki gümüş kaplama, yüzeyine elektriksel bir yük dağıtır ve deforme olmasına neden olur; aynı zamanda, gün ışığını da her iki yönde yönlendirmek için yansır. Güneş ışığı binayı günün belli saatlerinde ısıttığında, şeridin yüzeyleri binanın içinde gölge oluşturmak için genişler. Sıcaklıklar düştüğünde, daha fazla ışığa izin vermek için büzülür. Projenin de adını aldığı doğada, bu tür bir kendini düzenleme hareketine, *homeostaz*¹ adı verilir. Malzeme montajı, tasarımın herhangi bir noktasında etkinleştirilebilir; böylece sistem, kullanıcıya gündüz aydınlatma koşullarında yüksek oranda kontrol sağlar [222][223][224].

¹ Vücudun dış ortama uyumunu ifade etmek için kullanılan *homeostaz* kavramı, hücre dışı gerçekleşen olaylar karşısında hücrenin kendi metabolizmasını koruma eğilimidir [229].

Shape Shift (2013)

Manuel Kretzer ve Zürich'teki ETH öğrencileri tarafından bir dinamik cephe prototipi geliştirildi. Projenin ana fikri; akıllı malzeme yoluyla, bileşenlerin çevreye uyarlanabildiği bir yüzey geliştirmektir. Dinamik mekânsal uygulamalar oluşturmak için, özel bir tür elektroaktif polimer olan dielektrik elastomerin kullanımı araştırıldı ve elektriğe yanıt olarak boyutlarını %380 değiştirebilen ŞHP 'nin bu projede kullanılmasına karar verildi. *Rhino* ve *Grasshopper* yazılımları ile parametrik modeller oluşturularak, çeşitli bileşen şekilleri araştırılmış ve CNC ile imalat yapılarak, prototip üretilmiştir [78][230][231].

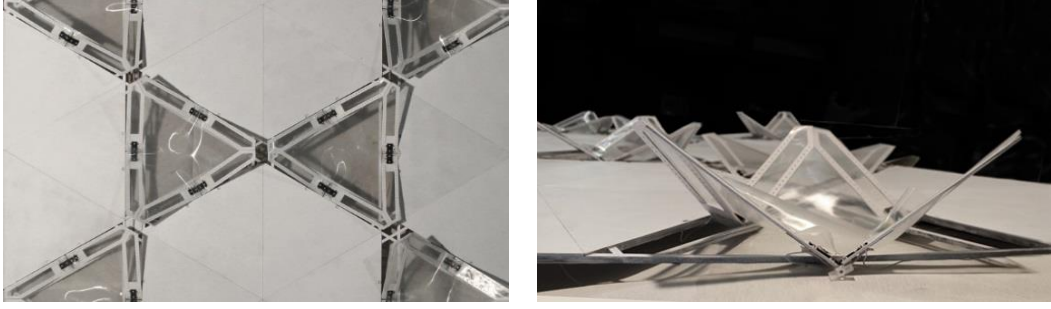


Şekil 4.88 Shape Shift prototipi [230].

Her bir eleman; çok ince ve esnek bir elastomer film tabakası olup, iki taraftan birer elektrot ile, esnek akrilik çerçevelere gerilerek tutturulmuştur. Birkaç kV'lık elektrik akımı bir elektrottan diğerine akar, bu da elastomer tabakanın kalınlık yönünde sıkışması ve düzlemsel biçimde genişlemesini sağlar. Film tabakası, esnek akrilik çerçeveye tutturulduğundan, çerçeve hareketi ile paralel şekilde gerilir veya büzülür. Ampirik tasarım sayesinde öğrenciler, akrilik çerçeveleri değiştirerek hareketi maksimize edilebilir, bu durumda üç boyutlu hareket sağlanabilir.

Response_able 2.0 (2015-2016)

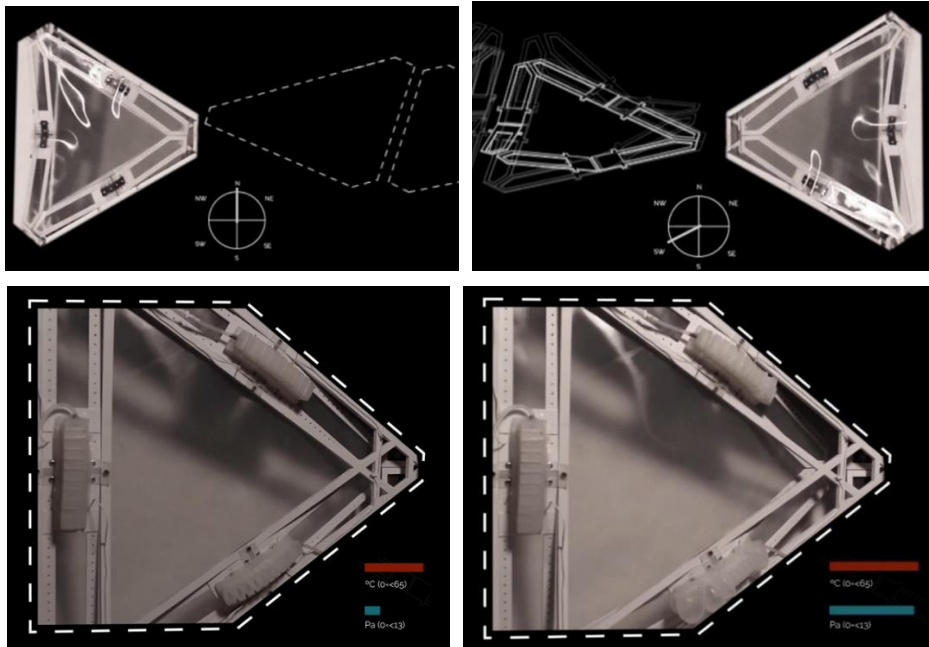
Kinetik mekanizmaların içine akıllı malzemelerin gömülü olduğu, uyarlanabilir bir sistem geliştirmek için tasarlanmıştır. Malzemelerin örnek çalışması için ŞHP kullanımı önerilmiştir. Rüzgâr verilerini depolayan ve kullanıcı kararlarına gerçek zamanlı tepki veren, önceden programlanmış bir ara yüz tasarım sistemidir. Kullanıcı, dönüşüm şeklini seçebilir. Ayrıca sistem, yeni çözümler önerebilmek için kendi ihtiyaçlarını belirleyebilmektedir [232][233].



Şekil 4.89 Response_able 2.0 prototip görseli [232].

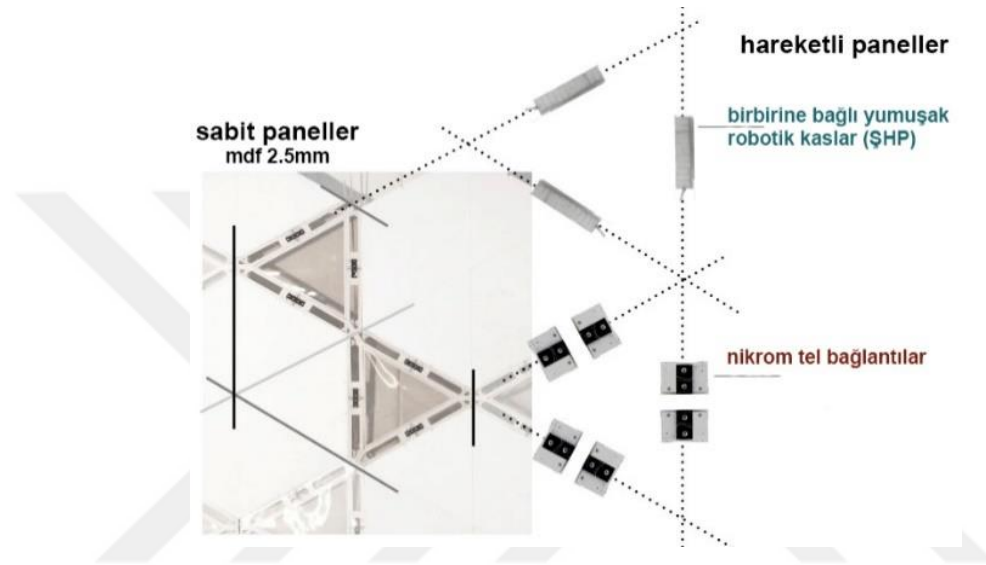
Tasarım süreci, mekânın örgütlenme çalışmasını içerir. Amaç, rüzgârı tüm yönleri ile karşılaya-bilmektir; eklemlerin uzayda düzenlenme şekli bu sistemi şekillendirmektedir. Aralarındaki boşluklar, sabit bileşenlerle doldurulurken; sistem, gerekli teknik ekipmanı barındıracak bir çerçeve ile desteklenmektedir.

Izgarayı örten üçgen panellerden biri sabittir, diğerleri ise rüzgâr akışına göre hareket etmektedir. Takılan tahta çubuklar, kas görevini gören ŞHP'nin çekip taşıyabileceği şekilde yeterli dayanıma sahip olmalıdır (50-50 cm'lik bir panel yüzeyi destekleyebilir ve kaldırabilir). Sabit paneller ahşaptır (mdf 2.5mm), adaptörler eklemlerden desteklenir ve silikon tabaka ile kaplanır. Panelin performansı, üçgen şeklinin kenarlarından ziyade panellerin açıları ile ilgilidir.



Şekil 4.90 Response_able 2.0 üçgen panel çalışma prensibi [234]

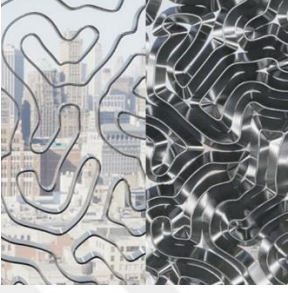
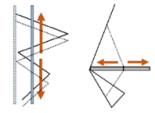
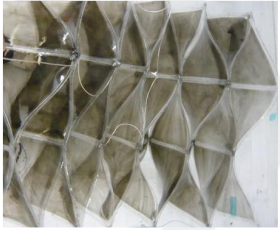
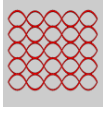
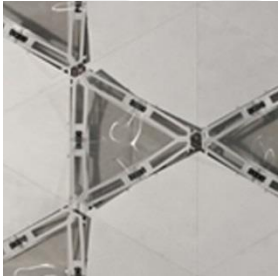

Rüzgâr belirli bir yönden geldiğinde, ara yüz panelleri açmak ve eklemleri etkinleştirmek için gerekli verileri sağlar, her panel ayrı ayrı çalışır. Büyük bir sisteme entegrasyonunda; rüzgârın, yüzeyin tüm alanına dahil edilmesine izin verir. Panellerin hareketi, ŞHP'ye sağlanan elektriğe bağlıdır. Her bir ŞHP, panelin her bir tarafını açmak için, çiftler halinde bağlanmış iki adet nikrom tel ile sarılıdır. ŞHP ısıtıldığında kaslar yardımıyla deforme olur, yumuşak robotik kas aktivasyonu ne olursa olsun ŞHP konumunu koruduğu için kapalı kalır.



Şekil 4.91 Response_able 2.0 prototip çalışma prensibi [233]

Çizelge 4.10'da SHP'nin uyarlanabilir cephe sistem entegrasyonu form, ısıtma yöntemi, malzeme davranışı, hareket şekli ve cephe elemanı alt başlıklarına göre incelenmiştir. *Response_able 2.0 (2015-2016)*, örneği tam bir uyarlanabilir sistem özelliği göstermektedir. ŞHP projede tüm cephe elemanlarına dahil olarak hibrit davranış gösterir. ŞHP örnek cephe sistemlerinde şerit, tel veya yay formlarında kas sistemine benzer hareketler yapmaktadır.

Çizelge 4.14 Şekil Hafızalı Polimerler uygulanan uyarlanabilir cephe sistemleri ([4][59][73][225][230][232]den yararlanılarak)

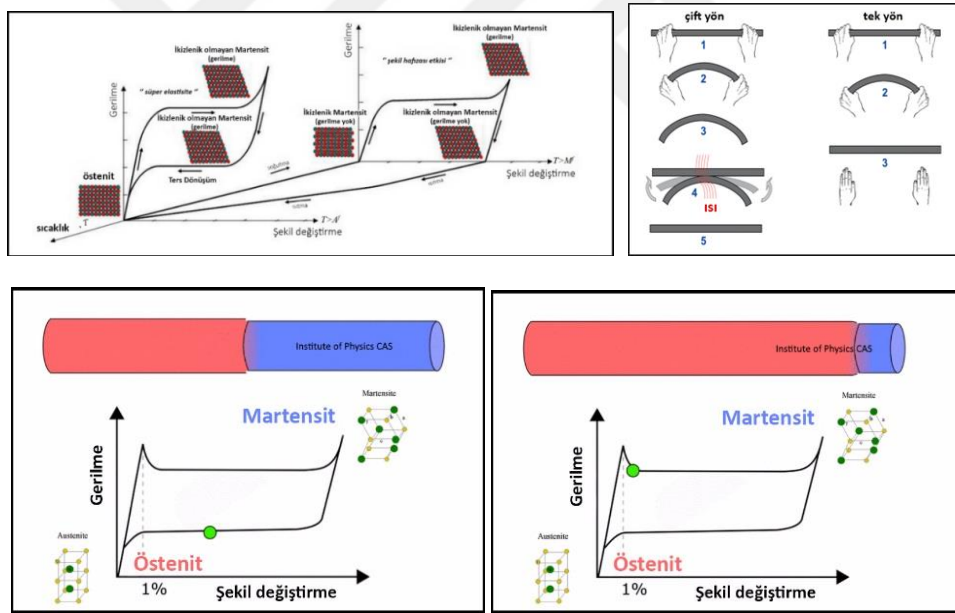
Uyarılma & Amacı		(ŞHP)	Uyarılı sistem
Isıl kontrol ● İç ortam kalitesi ● Görsel perform. ● Enerji üretimi ● Akustik konfor ● Kullanıcı kontrolü ●		-Form -Isıtma yönt. -Davranış	elemanı & hareketi (ŞHP)
	Homeostatik cephe (2011) ● ● ● ●	-şerit form	 (genişleme-daralma) -Cephe yüzey elemanı -Birleşim elemanı
	Biyomimetik/Biyo- Duyarlı- Aktif- Kinetik- Akıllı (<i>smart</i>)	-Isıl radyasyon	
		-pasif davranış	
	Shape Shift (2013) ● ● ● ●	-tel form	 (kasılma-gevşeme) -Cephe yüzey elemanı -Birleşim elemanı
	Biyomimetik/Biyo- Duyarlı- Aktif- Kinetik- Akıllı (<i>smart</i>)	-Akım geçerek	
		-aktif davranış	
	Response_able 2.0 (2015-2016) ● ● ● ● ●	-yay form	 (uzama-kısalma) -Cephe yüzey elemanı -Birleşim elemanı -Aktivatör elemanı
	Biyomimetik/Biyo- Duyarlı- Aktif- Kinetik-Akıllı (<i>Intelligent</i>)	-Akım geçerek -Isıl radyasyon	
		-Hibrit davranış	

4.7.3 Şekil Hafızalı Alaşımlar (ŞHA)

Adens Martens tarafından 1890'larda çelikte martensitin keşfi, gelecekteki şekil hafızalı alaşımların geliştirilmesi yönünde atılmış önemli bir adımdır. İlk şekil hafıza etkisi 1930'larda Au-Cd alaşımında gözlenmiş olsa da asıl önemli gelişme 1962'de, W. Buehler ve F. Wang'ın, Ni-Ti (*Nitinol*) alaşımı ile faz dönüşümü ve buna bağlı şekil hafızası etkisini bulması olmuştur. İleriki yıllarda şekil hafızalı yeni alaşım sistemleri de geliştirilmiştir ve araştırmalar devam etmektedir. ŞHA, günümüzde; bükülebilir gözlük

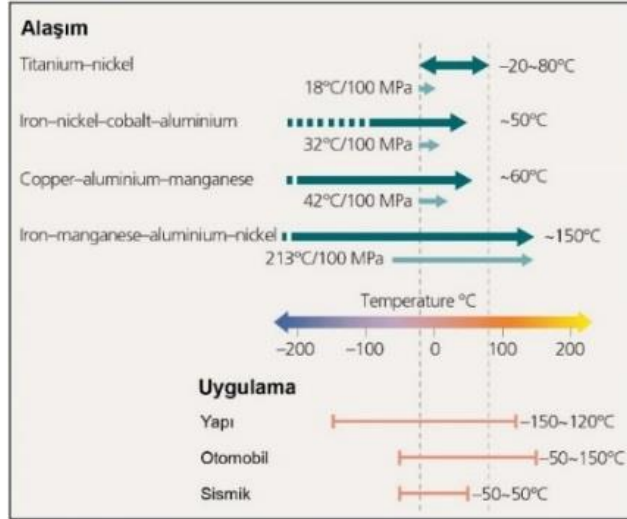
çerçeveleri, vücut ısısı ile doğru boyut ve şekilde genişleyen sıkıştırılmış formda tıbbi stentler, bilgisayarlardan diskleri çıkaran uyarıcılar gibi günlük uygulamalarda kullanılmaktadır [105][236].

ŞHA, farklı sıcaklık düzeylerinde farklı kristal fazlarda bulunabilir. Yüksek sıcaklıkta *östenit* fazda, düşük sıcaklıkta *martensit* fazda bulunur. Malzeme; östenit fazda iken kuvvetli, sert ve kübik yapıda; martensit fazda iken yumuşak, sünek ve rombik yapıdadır (Şekil 1). ŞHA, şekil hafızası ve süper elastisite özelliğine sahiptir. Şekil hafızası etkisi, alaşımların faz dönüşüm sıcaklıklarına kadar ısıtıldığında, ilk formlarına (östenit faz) dönebilme özelliğidir. Süper elastisite ise üzerine uygulanan yük kalktıktan sonra orjinal formuna geri dönme özelliğidir. ŞHA, iki farklı hareket türüne sahip olabilir. Malzemenin sadece ısıtılarak östenit faza geçmesi tek yönlü, ısıtma ile östenit faza geçip, tekrar soğutma ile martensit faza geçiş yapması ve bu iki şekil arasında ileri geri kayarak hareket etmesi çift yönlüdür [36].



Şekil 4.92 (a) Faz Dönüşümü, süper elastisite- şekil hafıza etkisi, (b) Şekil Hafıza alaşımları hareket türleri [237], (c) Gerilme-şekil değişim grafiği [238]

Farklı ŞHA tiplerinin, farklı dönüşüm sıcaklık aralıkları nedeniyle uygulama alanları farklıdır (Şekil 2). Örneğin, Al-Mn ve Fe-Ni-Co-Al tipi ŞHA'nın çalışma sıcaklığı -50°C 'den $+50^{\circ}\text{C}$ 'ye geniş bir aralığı kapsar, yapılarda sismik güçlendirme uygulamaları için uygundur [239].



Şekil 4.93 ŞHA, çalışma sıcaklığı ve uygulama alanı ilişkisi [239]

En yaygın ŞHA'lar; yüksek geri kazanılabilir şekildeğiştirme düzeyi (~%8), 500 MPa üzeri çekme dayanımı, yüksek biyo-uyumluluğu ve yüksek korozyon dayanımı ile Ni-Ti (*Nitinol*) alaşımlarıdır. Yüksek maliyetli¹ tel veya Nitinol'ün martensit ve ostenit fazdaki teknik büyüklükleri Çizelge 4.15 'da verilmiştir [240].

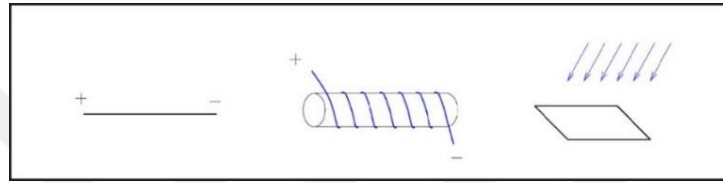
Çizelge 4.15 Nitinol Telin Teknik Özellikleri [240]

Özellik		Değer
Erime sıcaklığı (°C)		1300
Yoğunluk (g/cm ³)		6.45
Elektrik direnci (micro-ohm*cm)	Östenit	100
	Martenzit	72
Isıl genleşme (/°C)	Östenit	11*10 ⁻⁶
	Martenzit	6.6*10 ⁻⁶
Isıl iletkenlik (W/cm*°C)	Östenit	0.18
	Martenzit	0.85
Elastik modül (GPa)	Östenit	75 - 83
	Martenzit	28 - 41
Akma dayanımı (MPa)	Östenit	195 - 690
	Martenzit	70 - 140
Maksimum çekme dayanımı (MPa)		754 - 960
Dönüşüm sıcaklığı (°C)		(-100) – (+110)
Şekil hafıza şekildeğiştirmesi (%)		Maks. 8.5%

¹ Türkiye'de tel formu Nitinol'ün 1 m'si IPN 300 profilinin 1 m si ile benzer maliyettedir (~120 TL/m)

Temel olarak, ŞHA üç farklı yöntemle ısıtılabilir (Şekil 5.67)

- Elektrik akımı geçirmek: yalnızca küçük çaplı bir ŞHA teli veya yay kullanıldığında uygulanabilir, avantajı basit olmasıdır.
- ŞHA elemanı etrafına sarılmış yüksek dirençli bir tel veya bant içinden elektrik akımı geçirmek: ŞHA çubukları veya tüpleri için kullanılabilir.
- ŞHA elemanı ısı radyasyonuna maruz bırakmak: Ek ısıtma sistemi gerektirmeyen yöntemin en büyük dezavantajı esnek olmasıdır, yapıyı geri çekmek çok zor olabilir [241].

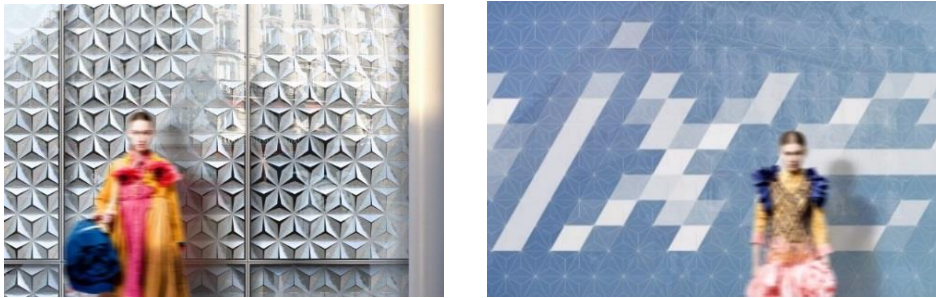


Şekil 4.94 ŞHA ısıtma yöntemleri [241]

Uyarlanabilir cepheler; birçok malzeme, bileşen ve sistemlerden oluşmaktadır. ŞHA'nın uyarlanabilir cephe tasarımındaki öncü uygulamaları, yepyeni bir bina tasarımı ve kullanımı paradigmasına yol açmıştır. Düşük aktivasyon enerjisi ve değişen koşullara doğrudan cevap verebilme yetenekleri, onları uyarlanabilir yapı bileşeni konusunda tercih edilebilir hale getirmektedir.

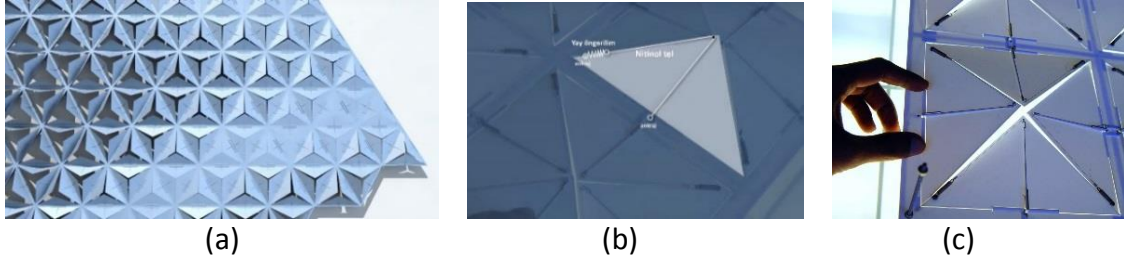
PixelSkin02 (2014)

Güncel mimari yüzeylerde günışığı kontrolü ve tabela kullanımı arasındaki çatışmaya bir cevap olarak, aydınlatma entegrasyonu ve gün ışığı kontrolünü gerçek zamanlı iletişim araçları ile sağlayan uyarlanabilir, interaktif ve elektrografik bir yüzeydir. Yüzey, elektromekanik olarak, düşük çözünürlüklü görüntüler ve videolar üreten saydam bir görsel alan oluşturur (Şekil 4) [242][243].



Şekil 4.95 PixelSkin02 elektrografik cephe görüntüsü [242][243]

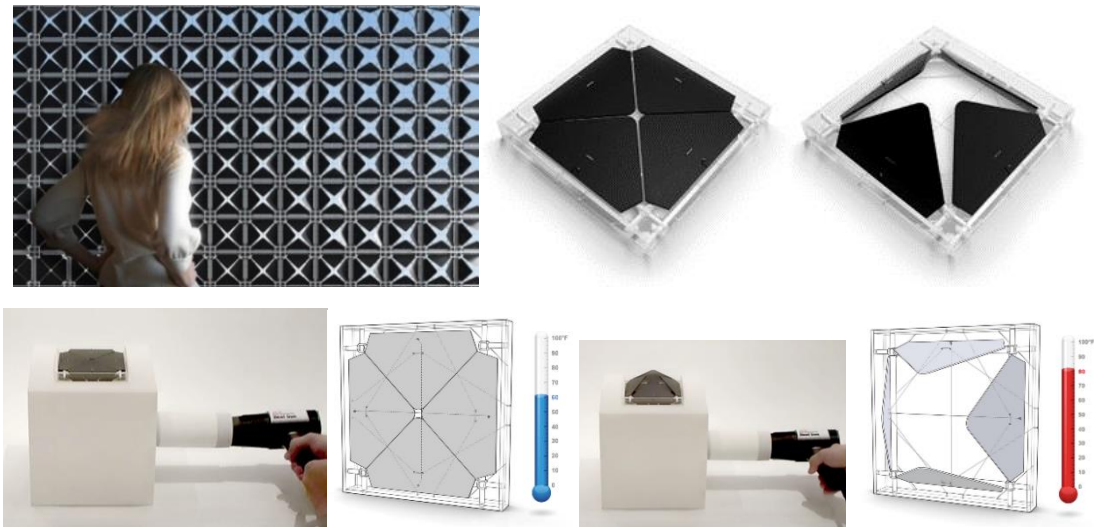
Her piksel karosu, 200mA ŞHA tellerinin aktive ettiği dört adet üçgen panelden oluşur. Çoklu Kontrol Tekniği, hareketli desenler ve görüntüler oluşturmak için piksel-karo koleksiyonunun kontrolünü sağlar. Yüzeze gömülü mikrodenetleyici konsollar; her panelin açılma düzeyini, saniyede yirmi kez, tamamen açık veya kapalı durum arasında, 255 ayrı konumda düzenler [242][243][244].



Şekil 4.96 (a) Çoklu kontrol, (b) sıcaklık farkına göre çalışma prensibi, (c) prototip [244]

The Air Flower (2013)

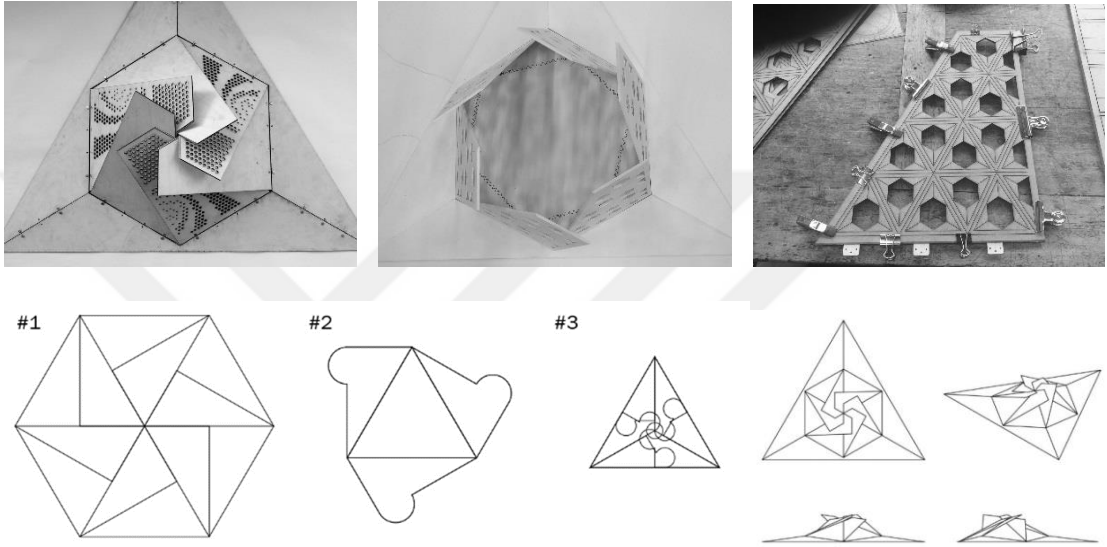
LIFT mimarlık tarafından sunulmuştur. Amacı, güç kaynağına gerek duymadan, iç ve dış hava akışını sağlayarak, iç ortam kalitesini dengede tutmaktır. Sarı çiğdem çiçeğinin doğadaki davranışından esinlenilmiş olup, ŞHA telleri vasıtası ile ısıl açıdan aktif bir havalandırma sistemidir. Prototipin sıcaklığı bir ısı tabancası ile 65°C'ye getirilir; bu etki, tellerin kısalması ve panellerin çiçek gibi açılmasına neden olur (Şekil 6). Sıcaklığın azalması ile teller genişlemeye başlar ve her paneli yavaşça kapalı konumuna geri çeker [242][245].



Şekil 4.97 The Air Flower prototip, sıcaklık ile panelin açılması deneyi [245]

TUB prototip (2016)

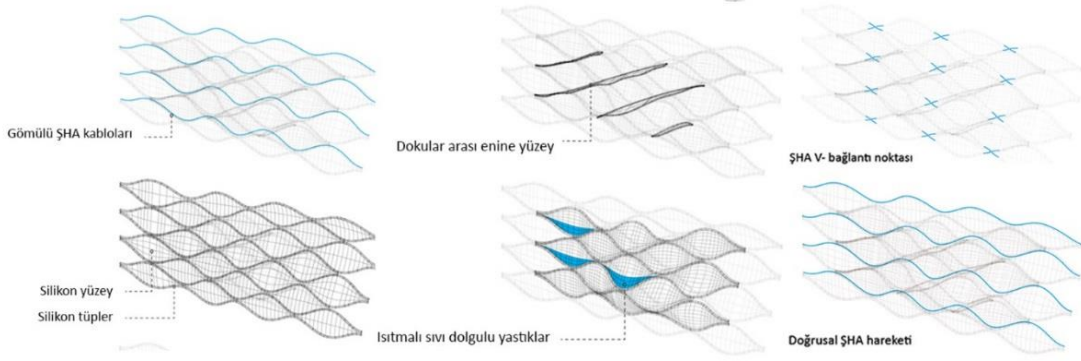
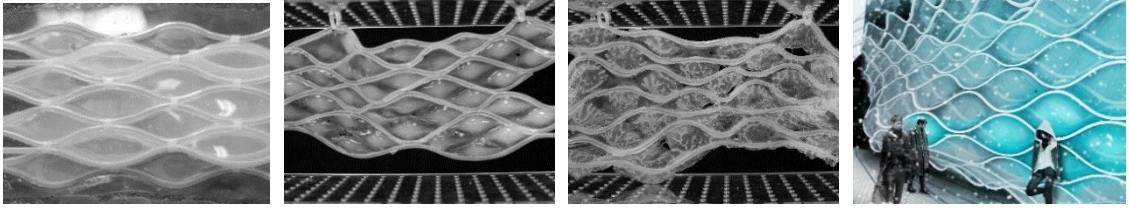
ŞHA'lar kullanılarak uyarlanabilir cephe sistemleri için bir gölgeleme sisteminin prototipi sunulmuştur. Prototip, ŞHA'ların cephe sistemlerinde kullanımına yönelik, ilham kaynağı olması amacıyla geliştirilmiştir. Tasarım formunda, paket katlama yöntemlerinden esinlenilmiştir. Açıklıklar altı kanattan oluşur, art arda her bir kanat birbir-lerine ŞHA telleri ile bağlıdır (Şekil 7). Ticari uygulama için, hafif metal veya biyoplastik malzeme kullanımı önerilmiştir [246]



Şekil 4.98 TUB modül, yüzey prototipleri ve tasarım aşaması [246]

Iconic SKIN (2012)

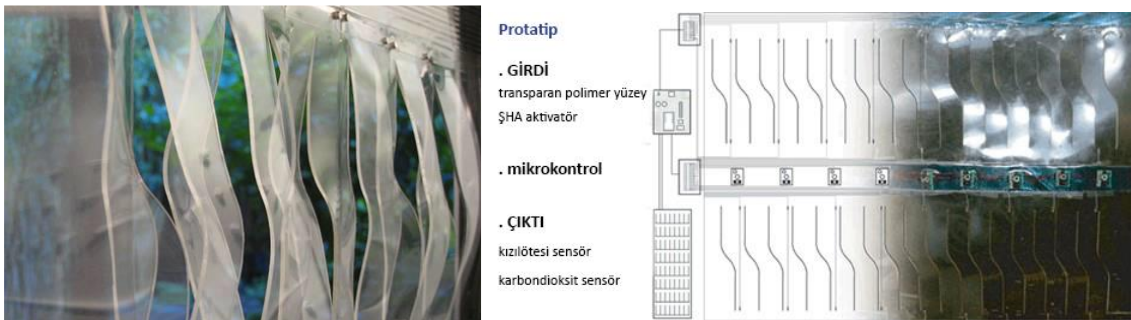
Mekânsal modülasyon ve çevresel uyarılara cevap verebilen uyarlanabilir bir kinetik yüzeyin küçük ölçekli prototipidir. Hafif ve kinetik ağ yüzeyi, elektrik akımı altında şeklini değiştiren gömülü ŞHA kafesi etrafında düzenlenir. Tel ağı kas benzeri hareketler ile yüzey dönüşümlerini kolaylaştırır. Tel ağı etrafında geliştirilen malzeme sisteminin sürekli bileşik yapısı içinde; kalınlığı, rijitliği ve geçirgenliği değişkendir. Uyarıcıların kafes boyunca stratejik yerleşimi ile, yüzey eğilip bükülerek biçim değiştirir [247].



Şekil 4.99 Hareketin hızı, derecesi ve yüzeyin rijitliği ile şeffaflığındaki değişimler [247]

Living Glass (2005)

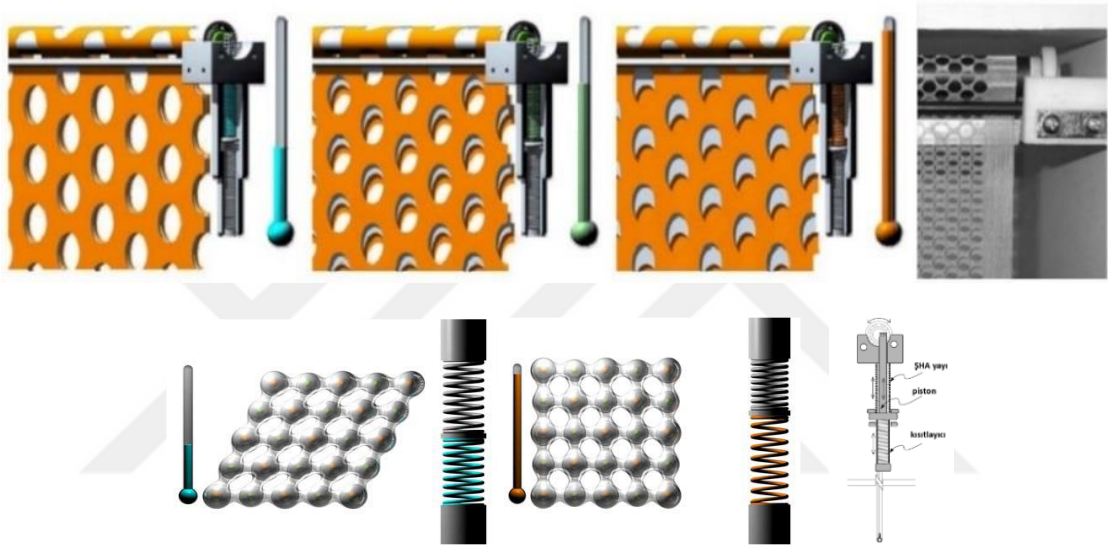
Elastik ŞHA'ların hareketi ile iç ortamdaki CO₂ seviyesinin kontrolü amacıyla S. Yang ve D. Benjamin tarafından geliştirilmiştir. Proje formu solungaçtan ilham alınarak tasarlanmıştır, ŞHA tellerinin arası polimer yüzey ile kaplanmıştır. CO₂ seviyesi arttığında elektriksel uyarı ile ŞHA telleri kısılır ve temiz havanın içeri akmasını sağlayacak yarıklar açılır (Şekil 9); sistem, CO₂ seviyesi dış ortama eşitlendiğinde normal haline getirilir [248].



Şekil 4.100 Hafif duyarlı cephe prototipinin çalışma biçimi [248]

Smart Screen (2009)

M.Decker ve P. Yeadon tarafından tasarlanan iç hava sıcaklığındaki değişiklikler sonucu otomatik olarak devreye giren bir gölgeleme tasarımıdır. Yenilikçi bir tasarım olan R-Faz ŞHA yayı, yalnızca iç ortam ısısındaki değişiklikler ile etkinleşir, bunun için herhangi bir güç kaynağı gerekli değildir.¹ Sistemde hem algılayıcı hem de motor işlevi olan R-Faz ŞHA yayının devrede olduğu sıcaklık aralığı 21-26°C'dir. Ortam sıcaklığının 21°C'nin altına veya 26°C'nin üstüne çıkması durumunda, R-Faz ŞHA'nın hareketi sınırlayıcılar ile engellenir [249].



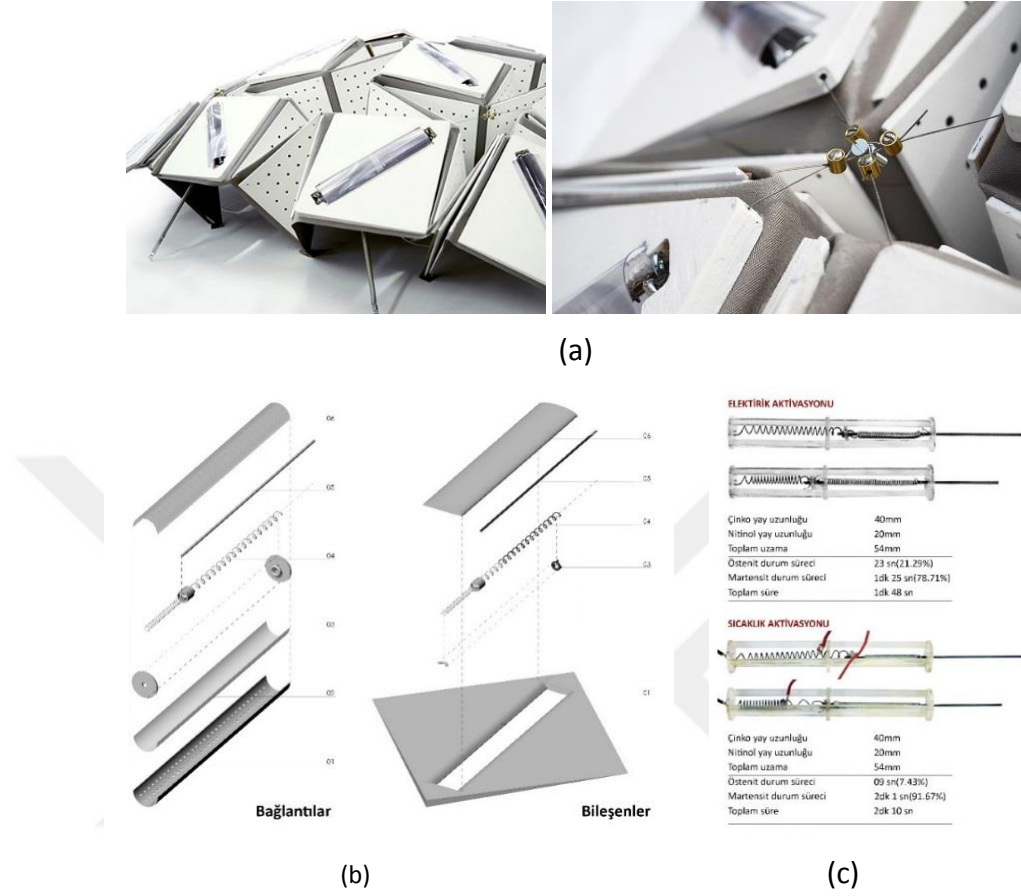
Şekil 4.101 Smart Screen, R-Faz ŞHA, sıcaklık değişim etkisi ve sınırlayıcılar [249]

SELF Adaptive Membrane (2015)

N. Gonzalez ve S. More tarafından, aktif performans ile pasif mimarlık stratejileri arasındaki boşluğu birleştiren, aynı zamanda sürdürülebilir bir geleceği şekillendirmek için geliştirilmiş yeni bir kendinden uyarlanabilir sistemdir (Şekil 5.74). Projenin amacı, mevcut mekanik iklimlendirme sistemlerine ihtiyaç göstermeyen, güneş ışınımına karşı cephe geometrisini değiştirebilen pasif bir sistem geliştirmektir. Sistemde, elektrik ile aktive edilen ŞHA Nitinol, çinko ile birlikte kullanılarak pasif bir kinetik motor sistemi

¹ %7 şekil değiştirme düzeyinin mümkün olduğu elektrik ile aktive olan klasik ŞHA'dan farklı olarak, burada şekil değiştirme %1 ile sınırlıdır.

geliştirilmiştir. Çinko yayının dış kuvveti Nitinol’u kısaltır ve genişletir, prototip “SmartScreen” projesinden ilham alınarak tasarlanmıştır [250][251].



Şekil 4.102 SELF Adaptive Membrane¹ çalışma prensibi [250][251]

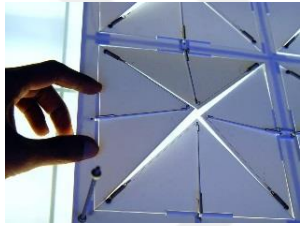
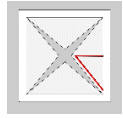


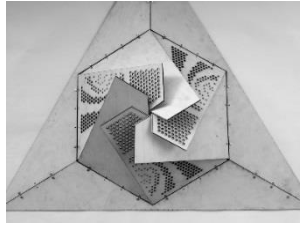
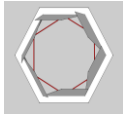
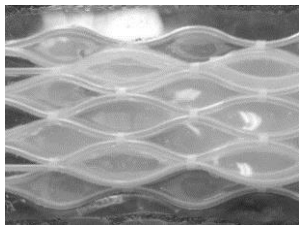
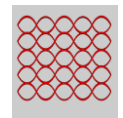
2 cm’lik Nitinol yaylar içeren kinetik 16 Nitinol eklemlerle 4 eklem kümesi eş zamanlı olarak modeli yeniden şekillendirir. Katlanır mozaik geometri içinde eklemler, sadece hacmi genişletmekle kalmaz, aynı zamanda yüzey alanını da genişletir. Sistem; hafif, yükleri eşit şekilde aktaracak ve diğer elemanlara birleşim ihtiyacını en aza indirecek şekilde tasarlanmıştır [250][251].

Bu bölümde Bölüm 4.7.3’de incelenen öncü uygulamalar çerçevesinde Çizelge 4.16’da bir sınıflandırma yapılmıştır; ŞHA’nın kullanım amacı/amaçları, uygulama şekli ve aktivasyon için kullanılan yöntem bir matris düzeninde incelenmiştir. ŞHA yay ve tel


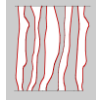




¹ a) prototip ve hareket sınırlayıcı bağlantı noktası b) 1-havalandırma için delikli boru, 2-yansıtıcı yüzey, 3-yaylar için bağlantı noktaları, 4-Nitinol ve çinko yayları, 5-mobil kol, 6-Doğrusal fresnel lens, c) Sıcaklık ve elektrik etkisine göre Nitinol ve çinko yayları uzunluk ve uzama süreleri

formlarda kullanılmıştır. *Iconic SKIN (2012)* ve *Living Glass (2005)*, projelerinde tel formda ŞHA doğrudan kasılma-gevşeme hareketleri yaparak kinetik cepheye katkıda bulunur. Açılıp kapanma hareketi yapan cephelerde genelde tel form ŞHA kullanılırken *TUB prototip (2016)*, projesi yay form kullanmıştır. ŞHA enerji üretimi dışında tüm uyarlama amaçlarına katkı sağlamaktadır.

Çizelge 4.16 Şekil Hafızalı Alaşım Uygulanan uyarlanabilir cephe sistemleri([4][59][73][241][242][245][246][247]den yararlanılarak)

Uyarlama & Amacı		(ŞHP)	Uyarlı sistem
Isıl kontrol ● İç ortam kalitesi ● Görsel perform. ● Enerji üretimi ● Akustik konfor ● Kullanıcı kontrolü ●		-Form -Isıtma yönt. -Davranış	
	Pixelskin02 (2014) ● ● Akıllı (<i>smart</i>)- Duyarlı- Etkileşimli (İnteraktif)	-tel form -Harici ısıtma -Isıl radyasyon -pasif davranış	 (açılma-kapanma) -Birleşim elemanı -Cephe yüzey elemanı
	The Air Flower (2013) ● ● ● Akıllı (<i>smart</i>)- Biyomimetik/Biyoloji ilham- Duyarlı Foto Kromatik Malzeme	-tel form -Harici ısıtma -Isıl radyasyon -pasif davranış	 (açılma-kapanma) - Aktivatör eleman
	TUB prototip (2016) ● ● Akıllı (<i>smart</i>)- Duyarlı- Kinetik Termo Kromatik Malzemeler	-yay form -Harici ısıtma -Isıl radyasyon -pasif davranış	 (açılma-kapanma) - Aktivatör eleman
	Iconic SKIN (2012) ● ● ● Akıllı (<i>intelligent</i>)- Biyomimetik/Biyoloji ilham- Duyarlı- Kinetik	-tel form -Akım geçerek -aktif davranış	 (kasılma-gevşeme) -Cephe yüzey elemanı -Birleşim elemanı

Çizelge 4.16 Şekil Hafızalı Alaşım Uygulanan uyarlanabilir cephe sistemleri (devamı)
([4][59][73][248][249][250]den yararlanılarak)

Uyarlama & Amacı		(ŞHP)	Uyarlı sistem
Isıl kontrol ●	İç ortam kalitesi ● Görsel perform. ●	-Form -Isıtma yönt. -Davranış	
Enerji üretimi ●	Akustik konfor ● Kullanıcı kontrolü ●		
	Living Glass (2005) ● ● ● ● Akılcı (<i>Intelligent</i>)- Biyomimetik/ Biyo ilham- Duyarlı- Kinetik	-tel form -Akım geçerek -Harici ısıtma -aktif davranış	 (serbest kasılma- gevşeme) -Cephe yüzey elemanı
	SmartScreen (2009) ● ● Akıllı (<i>smart</i>)- Biyomimetik/Biyo ilham- Duyarlı- Değiştirilebilir	-yay form -Isıl radyasyon -Hibrit davranış	 (uzama-kısalma) -Aktivatör elemanı
	SELF Adaptive Membrane (2015) ● ● ● ● Akıllı (<i>smart</i>)- Duyarlı- Değiştirilebilir	-yay form -Akım geçerek -Isıl radyasyon -Hibrit davranış	 (uzama-kısalma) -Cephe yüzey elemanı -Aktivatör elemanı -Birleşim elemanı

Akıllı malzemelerin kullanıldığı, uyarlanabilir cephe uygulamaları ve prototipleri oluşturulan matris ile çizelgeler halinde incelendiğinde uyarlama ve amacı daha net bir şekilde anlaşılmaktadır. Bu çalışma yöntemi ile akıllı malzeme içsel özelliklerinden uyarlanabilir cephe sistemi tasarımına doğru optimum düzeyde fayda sağlanabilir. Çalışmaldan çıkarılan sonuç ve öneriler daha net bir şekilde 5.Bölüm’de incelenecektir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada incelenen konulardan aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Uyarlanabilir cephe sistemlerinde ısı kontrol ve görsel performans en belirgin amaç olarak görülmektedir. Aynı anda kinetik, duyarlı, etkileşimli vb. etkileşimli davranış gösterebilmektedir.
- Çevirme veya dönme hareketi yapan uyarlı sistemler; aktivatör, birleşim veya cephe yüzey elemanı olarak görev yapabilmektedir.
- Uyarlanabilir cepheler tek veya birden fazla hareket şekli izleyebilir.
- 3 Boyutlu, şişme hareketi yapan cephe örnekleri araştırma ve literatürlerde de görülmeye başlasa da mevcut örnekleri henüz oldukça az durumdadır.
- Mikro ölçek uyarılama, çoğunlukla malzeme bazında uyarlanabilir cephe örneklerinde görülmektedir.
- Biyomimetik tasarım ile yapılan uyarlı sistemlerin, genel olarak akustik tasarıma destek sağladığı görülmektedir.
- Adezyon değiştiren malzeme örneği olarak TiO_2 'nin, enerji üretimi aktivasyonuna katkısı konusu henüz çok yeni uygulamalar arasındadır.
- Renk ve optik değiştiren malzemelerden, elektro kromatik malzemenin diğer malzemelerden farklı olarak, aktif akıllı malzeme davranışı ve kullanıcı kontrolü sağladığı görülmüştür.

- Elektrik üreten Piezoelektrik malzeme, yarılanabilir cephe uygulamasında fiber kablo formunda uygulanmıştır. Kasılma-gevşeme hareketi gösteren uyarlı cephe sistemleri elektrik üretimi hariç, tüm uyarılama amaçlarına karşılık vermektedir.
- Elektrik üreten malzeme içeren PV teknolojilerinin kullanıldığı uyarlanabilir cephe projeleri uyarılama amacına yönelik tüm alt başlıkları taşıyabilmektedir ve akılcı (Intelligent) ve gelişmiş cephe kategorisine dahil etmektedir.
- Tel örgü üzerine PV kurulum cepheye kinetik özellik kazandırırken, görsel performans sağlamaktadır.
- Son yıllarda ETFE-PV veya ETFE-OPV entegrasyonu ile cephelerde uyarlamalar çoğalmıştır.
- Faz Değişim Malzemesi kullanılan uyarlanabilir cephe sistemlerinde enerji üretimi hariç, tüm uyarılama amaçlarına cevap verebilen örnekler bulunmaktadır.
- Işık yayan akıllı malzeme içeren uyarlanabilir cephe sistemlerinde OLED, kinetik uyarılama özelliği göstermektedir.
- İnorganik madde alışverişi yapan malzeme içeren uyarlanabilir cephe sistemlerinde aerogel, genel olarak dolgu malzemesi olarak cephe yüzey elemanlarına dahil edilmektedir.
- Hidrojelin farklı formlarda kullanımı uyarlı cepheye kinetik özellik kazandırmaktadır. Ayrıca, öznal malzeme özellikleri, tüm örneklerde akustik konfora katkıda bulunmaktadır.
- Uyarlanabilir cephelerde organik (alg) ve inorganik (hidrojel) madde alışverişi yapan akıllı malzeme bir arada kullanılabilir, akılcı sistem entegrasyonu ile tüm uyarılama amaçlarına cevap verebilmektedir.
- Yaralanabilir cephede bimetal örgü ağı sistemi 3 boyutlu harekete katkı sağlamaktadır.
- ŞHP ve ŞHA cephe sistemlerinde şerit, tel veya yay formlarında kas sistemine benzer hareketler yapmaktadır.

- Uyarlanabilir sistemlerde ŞHP veya ŞHA kullanımı, enerji üretimi dışında tüm uyarlama amaçlarına katkı sağlamaktadır.
- Uyarlanabilir cephe sistemleri, diğer bir deyişle dinamik cephe uygulamaları, özellikle sıcak iklim bölgelerinde gittikçe önem kazanmaktadır. Küresel ısınmanın da gittikçe artış eğilimi gösterdiği ve fosil yakıta dayalı enerji kaynaklarında tasarruf gerekliliği düşünüldüğünde, güç kaynaklarına min. düzeyde ihtiyaç gösteren veya ihtiyaç göstermeyen akıllı malzemeler gelecek için önemli bir potansiyel taşımaktadır.
- Akıllı malzemeler cepheden kontrollü temiz hava alımından, ışık kontrolü veya değişken formlarda cephe tasarımına kadar, farklı alanlarda uygulama potansiyeli taşımaktadır. Bu amaca yönelik olarak mimari uygulamalar ve prototipler, gösteri ölçeğinde olsa da dikkat çekmektedir.
- Akıllı malzemelerin algılama, aktivatör ve kontrol etme işlevleri vardır. Uyarlanabilir cephe sistemi bileşenlerine alternatif olabilecektir.
- Teknolojik gelişmelere bağlı olarak, önümüzdeki yıllarda akıllı malzemeler ile birlikte farklı akıllı malzemeler de kullanılarak, binaların enerji verimliliğine önemli katkıların ekonomik biçimde sağlanabileceği öngörülebilir.

- [1] Möller, E., & Nungesser, H., (2015). "Adaptable Architecture by Frei Otto: a case study on the future viability of his visions and some forward ideas", Proceedings of IASS Annual Symposia, IASS 2015 Amsterdam Symposium: Future Visions – Historical Spatial Structures, 1-12.
- [2] Werner, C., De M., (2013). Transformable and transportable architecture: analysis of buildings components and strategies for Project design, Master thesis, Excuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona.
- [3] Loonen, R.C.G.M., Trcka, M., Costola, D., & Hensen, J.L.M. (2013). "Climate adaptive building shells: state-of-the-art and future challenges", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 25, 483-493. DOI: 10.1016/j.rser.2013.04.016
- [4] Loonen, R.C.G.M., Rico-Martinez, J.M., Favoino, F., Brzezicki, M., Menezo, C., La Ferla, G., & Aelenei, L.L., (2015). "Design for façade adaptability: Towards a unified and systematic characterization", In 10th Conference on Advanced Building Skins, 3-4 November 2015, Bern, Switzerland,1284-1294. Munich: Economic Forum.
- [5] Ferguson, S., Siddiqi, A., Lewis, K., & De Weck, O., (2007). "Flexible and reconfigurable systems: Nomenclature and review", ASME 2007 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, Las Vegas, Nevada, USA, 249-263.
- [6] Knaack, U., Klein, T., Bilow, M., & Auer, T., (2007). Façades: Principles of Construction, Published 2007 by Birkhäuser, Springer [distributor] in Basel, London. Written in English.
- [7] Kirkegaard, P.H., (2011). "Development and Evaluation of a Responsive Building Envelope Development and Evaluation of a Responsive Building Envelope", In International Adaptive Architecture Conference, Building Centre, 1–9. London.
- [8] De Boer, B.J., Bakker, L., van Oeffelen, E.C.M., Loonen, R.C.G.M., Costola, D. & Hensen, J.L.M., (2012). "Proceedings of the 8th Energy Forum on Solar Building Skins", 6-7 December 2012, Bressanone, Italy. Bressanone, 15-19.
- [9] Aelenei, D., Aelenei, L., & Pacheco Vieira, C., (2016). "Adaptive Façade: concept, applications, research questions", SHC 2015, International

- Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry, Energy Procedia, 91, 269-275.
- [10] Romano, R., & Sala, M., (2011). "Smart Skin Envelope. Integrazione architettonica di tecnologie dinamiche e innovative per il risparmio energetico", [Smart skin Envelope. Architectural integration of dynamic and innovative technologies for building energy saving], Florence: Florence University Press.
- [11] Romano, R., Aelenei, L., Aelenei, D., & Mazzucchelli, E., (2018). "What is an Adaptive Façade?" Analysis of Recent Terms and Definitions from an International Perspective. Journal of Façade Design & Engineering. Volume 6- Number 3.
- [12] Kolarevic, B., & Malkawi, A., (2005). Performative Architecture: Beyond Instrumentality, New York: Spon Press, 2005, 203–212.
- [13] Al Thobaiti, M.M., (2014). Intelligent and Adaptive Façade System: The Impact of Intelligent and Adaptive Façade on The Performance and Energy Efficiency of Buildings, Master's Thesis, University of Miami.
- [14] Zuk, W. & Clark, R.H., (1970). Kinetic architecture, New York: Van Nostrand Reinhold Company.
- [15] Coliseum arena görseli,
<http://www.thecolosseum.net/ita/architecture/novavelarium.htm> , (15 Mayıs 2018).
- [16] Koglin, T.L., (2003). Movable Bridge Engineering, New, Publisher: John Wiley & Sons Inc, New York, United States.
- [17] Leonardo da Vinci baskül köprü taslak çizimi,
<https://www.leonardodavinci.net/> , (15 Mayıs 2018).
- [18] King's Collage Chapel cephesi görseli,
<https://www.visitcambridge.org/things-to-do/kings-college-chapel-p128071>, (15 Mayıs 2018).
- [19] La Sainte Chapel cephesi görseli,
<https://tr.pinterest.com/pin/498281146243081030/?lp=true> , (15 Mayıs 2018).
- [20] Yu, M.L., (2014). Skins, Envelopes and Enclosures: Concept for designing building exterior, Images Publishing, Reference, 280 Pages ISBN 9780415899796- CAT# Y124706.
- [21] Fortmeyer, R.M., & Linn, C.D., (2014). Kinetic Architecture: Designs for Active Envelopes, Hardcover, 5 Mar 2014.
- [22] Klein, T., (2013). Integral Façade Construction: Towards a new product architecture for curtain walls, TU Delft, Architecture and the Built Environment, Online ISSN: 2214-7233, Print ISSN: 2212-3202, 1 June 2013.

- [23] Hardwick Hall cephesi görseli,
<https://www.visit-nottinghamshire.co.uk/things-to-do/hardwick-hall-p581361>
, (20 Mayıs 2018).
- [24] Crystal Palace cephesi görseli,
<https://www.arkitektuel.com/kristal-saray/> , (25 Mayıs 2018).
- [25] Palm House cephesi görseli,
<https://www.unicornwindows.co.uk/britains-finest-conservatory/> , (25 Mayıs 2018).
- [26] Maison du Peuple cephesi görseli,
<https://docomomoaustralia.com.au/dcmm/at-risk-france-sign-the-petition-maison-du-peuple-of-clichy-by-jean-prouve-eugene-beaudouin-marcel-lods-and-vladimir-bodiansky-clichy-france-1935-1939/> , (25 Mayıs 2018).
- [27] Maison Tropicale cephesi görseli,
<https://en.wikiarquitectura.com/building/maisons-tropicales/> , (25 Mayıs 2018).
- [28] Reliance Building cephesi görseli,
<http://www.architecture.org/learn/resources/buildings-of-chicago/building/reliance-building/> , (25 Mayıs 2018).
- [29] Steiff Toy Factory cephesi görseli,
<http://facadesconfidential.blogspot.com/2011/11/steiff-factory-and-birth-of-curtain.html> , (25 Mayıs 2018).
- [30] Suárez Fernández-Coronado, I. & González Bravo, R., (2010). "Flexible Building Skins: An Historical Perspective of Replaceable Panels Enclosures", 16th International Conference on, Open and Sustainable Building, Proceedings of the international conference jointly organized by CIB W104 – Open Building Implementation and TECNALIA, 187.
- [31] Maison Tropicale cephesi görseli,
<https://www.worldarchitecturenews.com/article/1500893/last-stop-new-york> , (25 Mayıs 2018)
- [32] İpek, Y., (2014). Hesaplamalı Tasarım Yaklaşımları: Bütünleşik Bir Tasarım Önerisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bilişim Anabilim Dalı Mimari Tasarımda Bilişim Programı, 9.
- [33] Mosa, R., (2018). Developing A Strategic Framework For The Design Of Adaptive Building Envelopes, Thesis, March 2018, Heriot-Watt University.
- [34] Velikov, K., & Thün, G., (2013). "Responsive Building Envelopes: Characteristics and Evolving Paradigms", Inbook: Design and Construction of High Performance Homes: Building Envelopes, Renewable Energies and Integrated Practice Edition: 1 Chapter: 1.3, Publisher: Routledge, Editors: FrancaTrubiano.
- [35] Wigginton, M., & Harris, J., (2002)., Intelligent Skins, Oxford: Elsevier Architectural Press, 7 March 2002.

- [36] Addington, M., & Schodek, D., (2005). *Smart Materials and Technologies for the Architecture and Design Professions*, Oxford: Elsevier Architectural Press, 1. Edition, 24 December 2004.
- [37] Schnädelbach, H., (2010). "Adaptive Architecture – A Conceptual Framework", Dip Arch M. Arch PhD, Mixed Reality Laboratory, Computer Science, University of Nottingham, Conference Paper, January 2010.
- [38] Aelenei, L., Aelenei, D., Romano, R., Mazzucchelli, E.S., Brzezicki, M. & Rico-Martinez, J.M., (2018). "Case Studies – Adaptive Facade Network", TU Delft open for the COST Action 1403 adaptive facade network.
- [39] Van Dijk, R., (2009). "Adaptables", An Adaptive Facade for the Future Faculty of Architecture at Delft University of Technology, Semester 1, 2008-2009.
- [40] Velasco, R., Brakke, A.P. & Chavarro, D., (2015). "Dynamic Façades and Computation: Towards an Inclusive Categorization of High Performance Kinetic Façade Systems", from book, *Computer- Aided Architectural Design Futures, The Next City- New Technologies and the Future of the Built Environment: 16th International Conference, CAAD Futures 2015, São Paulo, Brazil, July 8-10, 2015, 172-191.*
- [41] Turgut Çıkış, D.T, (2007). *The Evolution and Change of Building Facedes: A Research for Developing Alternative Composite Surface Materials*, Master of Science In Architecture, Engineering and Sciences of İzmir Institute of Technology, 21 June 2007.
- [42] Mahdavinejad, M., Bemanian, M., Abolvardi, G. & Khaksar, N., (2011). "The Strategies of Outspreading Smart Materials in Building Construction Industry in Developing Countries; Case Study: Iran", 2011 International Conference on Intelligent Building and Management, Proc. of CSIT vol.5, 2011, IACSIT Press, Singapore.
- [43] Akin, T., (2009). *Communication of Smart Materials: Bringing the Gap Between Material Innovation and Product Design*, Master of Science in Industrial Design Department, Middle East Technical University September 2009, 155 pages.
- [44] Shape shifting, Sharifi'Ha House cephesi görseli, <https://www.dezeen.com/2014/08/22/rotating-rooms-sharifi-ha-house-next-office-tehran-iran/> , (10 Mart 2019).
- [45] Children's Museum cephesi görseli, <https://www.rudybruneraward.org/wp-content/uploads/2007/01/03-Childrens-Museum-of-Pittsburgh-1.pdf> , (10 Mart 2019).
- [46] Ochoa, C.E. & Capeluto, I.G., (2008). "Strategic decision-making for intelligent buildings: Comparative impact of passive design strategies and active features in a hot climate", *Building and Environment*, 43 (11), 1829-1839.
- [47] Marysse, C., (2015-2016). *Structural Adaptive Façades*, Master of Science in Civil Engineering Academic, Ghent University, Ghent.

- [48] MEDYA-TIC binası cephesi görseli,
<https://www.archdaily.com/49150/media-tic-enric-ruiz-geli> , (15 Temmuz 2019).
- [49] Heusler, W. & Kadija, K., (2018). "Advanced design of complex façades", 220-233 | Received 26 Apr 2018, Accepted 25 Jun 2018, Published online: 17 Jul 2018 Download citation
<https://doi.org/10.1080/17508975.2018.1493979>
- [50] Kiefer Technic Showroom cephesi görseli,
<https://www.archdaily.com/89270/kiefer-technic-showroom-ernst-giselbrecht-partner> , (15 Temmuz 2019).
- [51] Badarnah, L. & Kadri, U., (2015). "A methodology for the generation of biomimetic design concepts", Article in Architectural Science Review · September 2015
- [52] Upadhyay, K. & Ansari, A.A., (2017). "Intelligent and Adaptive Façade System – The Impact on the Performance and Energy Efficiency of Buildings", Journal of Civil Engineering and Environmental Technology, Volume 4, Issue 3; April-June, 2017, pp: 295-300, Krishi Sanskriti Publications
- [53] Breathing Skins cephesi görseli,
<https://www.archdaily.com/789230/let-your-building-to-breathe-with-this-pneumatic-facade-technology> , (15 Haziran 2019).
- [54] Campus Kolding cephesi görseli,
<https://www.dezeen.com/2015/07/14/henning-larsen-syddansk-universitet-sdu-kolding-campus-building-denmark-green-standards-university/> , (15 Haziran 2019).
- [55] Al Bahar Towers cephesi görseli,
<https://www.archdaily.com/270592/al-bahar-towers-responsive-facade-aedas> , (15 Haziran 2019).
- [56] Kinetik hareket çeşitleri; sarma,
<https://tr.pinterest.com/pin/438678819927624838/>, (27 Mart 2019).
- [57] Kinetik hareket çeşitleri; kayma,
<https://www.archilovers.com/projects/208820/fosun-foundation.html#images> , (15 Haziran 2019).
- [58] Kinetik hareket çeşitleri; yükseltme veya alçaltma,
<https://yazdanistudioresearch.wordpress.com/2011/11/15/cj-rd-center-kinetic-facade/>, (27 Mart 2019).
- [59] Gosztonyi, S., (2018). "The Role of Geometry for Adaptability: Comparison of Shading Systems and Biological Role Models", Journal of Facade Design & Engineering, Special Issue Façade 2018 – Adaptive! Volume 6 / Number 3 / 2018
- [60] RMIT Design Hub cephesi görseli,
<https://www.archdaily.com/335620/rmit-design-hub-sean-godsell> , (27 Mart 2019).

- [61] Tovarovi'c, J.C., Ivanovi'c- Sekularac, J. & Sekularac, N., (2017), "Renovation of existing glass facade in order to implement energy efficiency and media facade", Faculty of Architecture University of Belgrade, 11000 Belgrade, Bulevar kralja Aleksandra 73/II, Serbia, Article in Energy and Buildings 152 · July 2017.
- [62] Eskenazi Hospital Parking Structure cephesi görseli, <https://www.archdaily.com/536756/parking-structure-art-facade-urbana> , (05 Aralık 2018).
- [63] Meagher, M., (2015). "Designing for change: The poetic potential of responsive architecture", *Frontiers of architectural Research*, 4, 159-165.
- [64] Brugnaro, G., Caini, M. & Paparella, R. (2014). "Energy saving through Building Envelope Innovation: Smart Skin Design", *Recent Advances in Urban Planning. Sustainable Development and Green Energy*, Computer Science Published 2014, 35-44.
- [65] The University of Cincinnati cephesi görseli, <https://flexfacades.com/projects/university-of-cincinnati-gardner-neuroscience-institute-ucgni/> , (05 Aralık 2018).
- [66] Monde Arabe binası cephesi görseli, <https://www.archdaily.com/162101/ad-classics-institut-du-monde-arabe-jean-nouvel> , (05 Kasım 2018).
- [67] Beevor, M., (2010). *Smart Building Envelopes*, (4th Year Project Report). University of Cambridge, Department of Engineering, Submitted: June 2010
- [68] Festo "Automation Center" cephesi görseli, <https://www.sbp.de/en/project/festo-automationcenter/> , (05 Kasım 2018).
- [69] Sung, D.K., (2010). "Skin Deep: Making Building Skins Breathe with Smart Thermobimetals", *Where Do You Stand?: Proceedings of the 2011 ACSA National Conference*, A. Perez- Gomez, A. Cormier, and A. Pedreteds., Washington, DC: ACSA Press, 145–152.
- [70] Klooster, T., (2009). *Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design*, Paperback: 184 pages, Publisher: Birkhäuser Architecture; 1 edition (June 30, 2009) ISBN-10: 3764388129, ISBN-13: 978-3764388126
- [71] Hoberman Associates & Happold, B. (2010). "Adaptive Building Initiative", Available at: [www. Adaptive buildings.com](http://www.Adaptivebuildings.com).
- [72] Vieira, C. (2015). "Dynamic Building Façade Solutions", *Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa*, 2015.
- [73] Omrany, H., Ghaffarianhoseini, A., Ghaffarianhoseini, A., Raahemifar, K. & Tookey, J., (2016). "Application of passive Wall systems for improving the energy efficiency in buildings: A comprehensive review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 62: 1252-1269.

- [74] Al-Obaidi, K. M., Ismail, M. A., Hussein, H. & Abdul Rahman, A. M., (2017). "Biomimetic Building Skins: An Adaptive Approach", *Renewable & Sustainable Energy Reviews*.
- [75] Pesenti, M., Masera, G., Fiorito, F. & Sauchelli, M., (2015). "Kinetic solar skin: a responsive folding technique", Article in *Energy Procedia* 70:661–672 · May 2015, DOI: 10.1016/j.egypro.2015.02.174
- [76] Cimmino, M.C., Miranda, R., Sicignano, E., Ferreira, A.J.M., Skelton, R.E., & Fraternali, F., (2016). "Composite solar façades and wind generators with tensegrity architecture", <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.09.0771359-8368/> © 2016 Elsevier Ltd. All rights reserved.
- [77] López, M., Rubio, R., Martín, S. & Ben, C., (2017). "How plants inspire façades. From plants to architecture: Biomimetic principles for the development of adaptive architectural envelopes", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 67: 692-703.
- [78] Dewidar, K.M., Mohamed, N.M., Ashour, Y.S., (2013). "Living Skins: A New Concept of Self Active Building Envelope Regulating Systems", Conference: SB 13 DubahiAt: Dubahi. United Arab emirates
- [79] Fiorito, F., Sauchelli, M., Arroyo, D., Pesenti, M., Imperadori, M., Masera, G. & Ranzi, G., (2016). "Shape morphing solar shadings: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- [80] El Ahmar, S.A.S., (2011)., *Biomimicry as a Tool for Sustainable Architectural Design, Towards Morphogenetic Architecture*, a Thesis, Presented to the Graduate School Faculty of Engineering, Alexandria University In Partial Fulfilment of the Requirements for the Degree Of Master of Science.
- [81] Lopez, M., Rubio, R., Martín, S., Croxford, B. & Jackson, R., (2015). "Active materials for adaptive architectural envelopes based on plant adaptation principles", *Journal of Facade Design and Engineering*. 3 (1): 27-38.
- [82] Hoefnagels, H.F., Wu, D., De With, G., & Ming, W., (2007). " Biomimetic Superhydrophobic and Highly Oleophobic Cotton Textiles", *Langmuir*. 23 (26): 13158- 13163, Publication Date: November 7, 2007 <https://doi.org/10.1021/la702174x>, Copyright © 2007 American Chemical Society
- [83] Chopra, I., & Sirohi, J., (2013). *Smart Structures Theory*, Cambridge University Press, Part of Cambridge Aerospace Series 1st Edition, ISBN-13: 978-0521866576, ISBN-10: 052186657X
- [84] Özcan, N., & Orhun, D., (2014). "Mimarlıkta Morfogenetik Tasarım ve Öncü Örnekler", *MİMARLIK- SAYI:376/2014*, <http://www.mimarlikdergisi.com/index.cfm?sayfa=mimarlik&DergiSayi=390&RecID=3354>

- [85] Stamhuis, C.T., (2015). Designing with Smart Materials: A Case presenting a Tactile Interface Disc for Intuitive Control of Light and Sound in Domestic environments, Netherlands: Delft University of Technology; Master of Science Integrated Product Design
- [86] Gharabaghi, M., (2016). "A review on electrochemical behavior of pyrite in the forth flotation process", Journal of Industrial and Engineering Chemistry, Dec., The Korean Society of Industrial and Engineering Chemistry, Oxford: Elsevier, UK.
- [87] Lelieveld, C., (2013). Smart materials for the realization of an adaptive building component, Netherlands: Delft University of Technology. Published PHD thesis; 2013.
- [88] Spencer JBF. & Nagarajaiah S., (2003). "State of the art of structural control", Journal of Structural Engineer, Published by the American Society of Civil Engineers, U.S. /Volume 129 Issue 7- July 2003
- [89] Ritter, A., (2007). Smart materials in architecture, interior architecture and design, Publisher Birkhauser, Boston, USA.
- [90] Abdullah, Y.S. & Al-Alwan, H.A.S. (2019). "Smart material systems and adaptiveness in architecture", Department of Architecture/College of Engineering, University of Baghdad, Baghdad, Iraq.
- [91] Gökay, O., (2018). 3. Sınıf tedavi ders notları, Ankara Üniversitesi, 2017-2018
- [92] Kohezyon tanımı, <https://fizikdersi.gen.tr/adezyon-kohezyon-nedir-tanim-ornekler/> , (05 Temmuz 2019).
- [93] Isıl Adesiv Akıllı Malzemeler tanımı, <https://www.aldemirltd.com/polymer> , (05 Temmuz 2019).
- [94] Bondioli, F., Niederh user, S., & Bondi, M., (2013). "Self-Cleaning and Antibacteric Ceramic Tile Surface", Article in International Journal of Applied Ceramic Technology · October 2013
- [95] akmaklı, B., Can, S.A, & Muraal, E., (2015). "Deprem ve Mimarlıkta Kullanılan Polimer Malzemeler", Uluslararası Burdur Deprem ve evre Sempozyumu7-9 May 2015, Mehmet Akif Ersoy University, Burdur-Türkiye
- [96] Titanyum dioksit (TiO₂) görseli, <https://pventerprises.co.in/products/titanium-dioxide-tio2/titanium-dioxide-rutile/> , (05 Temmuz 2019).
- [97] TiO₂ aktivite görseli, <http://photocat.net/wp/photocatalysis/> , (05 Temmuz 2019).
- [98] Su parçacıklarının açıları görseli, <https://inovatifkimyadergisi.com/sivilarin-islam-yetenekleri-ve-temas-acisi> , (05 Temmuz 2019).
- [99] Orhon, A.V., (2014). "Kendini Temizleyen Cephe Sistemleri", Dokuz Eylül University Conference Paper · June 2014.

- [100] Arkles, B., (2006). "Hydrophobicity, hydrophilicity and silane surface modification", Gelest Inc.
https://www.pcimag.com/ext/resources/PCI/Home/Files/PDFs/Virtual_Supplier_Brochures/Gelest_Additives.pdf , (10 Ağustos 2019).
- [101] TiO₂'nin erime noktası, <https://tdma.info/what-is-titanium-dioxide/#ref-12> , (05 Temmuz 2019).
- [102] TiO₂'nin ışık saçma kabiliyeti,
<http://www.acarchemicals.com/sayfalar.asp?LanguageID=1&cid=3&id=11&id2=1834> , (05 Temmuz 2019).
- [103] Benedix, R., Dehn, F., Quaas, J., & Orgass, M., (2000). "Application of Titanium Dioxide Photocatalysis to Create Self-Cleaning Building Materials", Article, in Luce 5(7) ·January 2000, Institut für Massivbau und Baustofftechnologie, Universität Leipzig, 157-166.
- [104] TiO₂ pigment üretim ölçekleri,
<http://www.solar.dicp.ac.cn/en/index.php?c=default&a=show&id=286> , (05 Temmuz 2019).
- [105] Şensan, Ö.S., (2009). Application of Smart Materials in Sustainable Architecture, A Thesis, Submitted to the Graduate School of Social Sciences of İzmir University of Economics.
- [106] TiO₂ Katkılı Membran, <https://www.tensaform.com/media/6997/tensaform-company-presentation.pdf> , (05 Temmuz 2019).
- [107] TiO₂ Katkılı Membran broşür, <https://www.makmax.com/business/tio2.html> , (05 Temmuz 2019).
- [108] TiO₂ içeren, PVC kaplı kumaş,
http://www.birdair.com/system/files/PurifyMesh30_Catalogue_March%202015.pdf , (05 Temmuz 2019).
- [109] Kral Fahd National Library görseli,
https://www.architectmagazine.com/technology/detail/gerber-architekten-unveils-both-form-and-function_o , (05 Temmuz 2019).
- [110] Manuel Gea Gonzalez Hastanesi görseli,
<https://www.theb1m.com/video/what-are-smog-eating-buildings> , (05 Haziran 2019).
- [111] Manuel Gea Gonzalez Hastanesi görseli, <https://gizmodo.com/5-smart-building-skins-that-breathe-farm-energy-and-g-1254091559> , (05 Temmuz 2019).
- [112] Palazzo Italia (Milan Expo Binası) görseli,
<https://www.aljazeera.com/programmes/earthrise/2017/05/italy-pollution-eating-cement-170523134728274.html> , (05 Haziran 2019).
- [113] Palazzo Italia (Milan Expo Binası) görseli,
<https://www.dezeen.com/2014/05/13/italy-milan-expo-pavilion-nemesi-air-cleaning-facade/> , (20 Temmuz 2019).

- [114] Bertram and Judith Kohl Binası görseli, <https://www.archdaily.com/442453/the-bertram-and-judith-kohl-building-westlake-reed-leskosky> , (20 Temmuz 2019).
- [115] Koo, H.J., & Velez, O.V., (2013). "Regenerable Photovoltaic Devices with a Hydrogel-Embedded Microvascular", Department of Chemical & Biomolecular Engineering, North Carolina State University, Raleigh, NC 27695-7905, USA.
- [116] Foto Kromatik Cam görseli, <http://www.kimyasalgelismeler.com/hayatin-icinden/bunlari-biliyor-musunuz/kolomatik-fotokromik-camlar.html> , (25 Temmuz 2019).
- [117] Fotokimyasal reaksiyon tanımı, <https://archihunger.wordpress.com/tag/chromatic-glass/> , (15 Eylül 2019).
- [118] fotokimyasal reaksiyon tanımı, <https://www.cantifix.co.uk/blog/what-is-switchable-glass-and-how-does-it-work/> , (15 Eylül 2019).
- [119] Foto Kromatik film kaplı cam değişimi görseli, <https://www.amazon.com/HOHOFILM-X20-Photochromic-Window-Film/dp/B07SHRVCFV> , (15 Eylül 2019).
- [120] Prairiefire Museum açıklama, <https://archpaper.com/2017/09/fiery-natural-history-museum-integrates-color-shifting-materials/#gallery-0-slide-0> , (15 Eylül 2019).
- [121] Prairiefire Müzesi cephesi görseli, <http://www.vernerjohnson.com/portfolio/prairiefire/> , (15 Eylül 2019).
- [122] Foto Kromatik pigment tanımı, <http://www.smarol.com/pdf/Photochromic%20pigment.pdf> , (15 Eylül 2019).
- [123] Foto Kromatik pigment renk değişim görseli, <https://www.sfxco.uk/products/sfxco-photochromic-sun-sensitive-reversible-pigment> , (05 Eylül 2019).
- [124] Chromatic Skins görseli, <http://materiability.com/portfolio/chromatic-skins/> , (15 Eylül 2019).
- [125] Kiria, P., Hyettb, G., & Binionsa, R., (2010). "Solid state thermochromic materials", University College London, Review Article, Accepted: 07 Aug 2010.
- [126] VO₂ davranışı, <https://www.sciencealert.com/physicists-have-found-a-metal-that-conducts-electricity-but-not-heat> , (05 Ağustos 2019).
- [127] Termo kromatik duyarlı cephe ön modeli, <http://portfolios.risd.edu/gallery/32425181/THERMOCHROMIC-RESPONSIVE-ARCHITECTURE> , (05 Ağustos 2019).
- [128] Pneumatic cephe görseli, <http://andrzejzarzycki.com/pneumatic-facade/> , (05 Ağustos 2019).
- [129] Elektro kromatik cam katmanları ve çalışma şekli görseli, <https://home.howstuffworks.com/home-improvement/construction/green/smart-window4.htm> , (05 Haziran 2019).

- [130] elektro kromatik cam tanımı, <https://www.glassmanufacturerchina.com/products/Electrically-switchable-smart-glass-4-4-PDLC-switchable-glass-manufacturers.html#.XKKOE1UzYuU> , (05 Haziran 2019).
- [131] elektro kromatik cam çalışma prensibi, <http://www.spdcontrolsystems.com/spdglass.htm> , (05 Haziran 2019).
- [132] Dirty Habit Restoranı görseli, <https://www.sageglass.com/en/article/what-electrochromic-glass> , (05 Ağustos 2019).
- [133] Gee, S., Johnson, B., & Smith, A.L., (2018). "Optimizing electrospinning parameters for piezoelectric PVDF nanofiber membranes", Journal of Membrane Science Volume 563, 1 October 2018, 804-812.
- [134] Piezoelektrik Membranlar tanımı ve görseli, <https://viterbischool.usc.edu/news/2018/10/piezoelectric-membranes-for-water-filtration/> , (05 Ağustos 2019).
- [135] Loonen, R.C.G.M. (2010). "Overview of 100 climate adaptive buildings shells", Eindhoven: Eindhoven University of Technology.
- [136] Badarnah, L., & Knaack, U., (2007.) "Bio-Inspired Ventilating System for Building Envelopes", Conference Paper · November 2007
- [137] Strawscraper Stockholm gökdeleni açıklama ve görselleri, <https://belatchew.com/en/projekt/strawscraper/> , (25 Nisan 2019).
- [138] Fuzz.Box konut binası görseli, <https://www.e-architect.co.uk/amsterdam/borneo-photos> , (25 Nisan 2019).
- [139] BIPV sistem elemanları görseli, <https://www.wbdg.org/resources/building-integrated-photovoltaics-bipv> , (25 Nisan 2019).
- [140] Ticari PV modülü teknolojisi, <https://www.greenmatch.co.uk/blog/2015/09/types-of-solar-panels> , (25 Nisan 2019).
- [141] Güneş paneli çeşitleri, <https://mysolarquotes.co.nz/about-solar-power/residential/choosing-solar-panels/> , (25 Nisan 2019).
- [142] Schlueter, A., Begle, M., Caranovic, S., Hofer, J., Jayathissa, P., Lydon, G., Nagy, Z., Rossi, D., & Svetozarevic, B., (2015). "The Adaptive Solar Facade: From concept to prototypes", Academic Journal OECD Field of Science, Frontiers of Architectural Research 2015, Civil engineering
- [143] Adaptive Solar cephesi görseli, <http://www.systems.arch.ethz.ch/research/active-and-adaptive-components/asf-adaptive-solar-facade.html> , (25 Mart 2019).
- [144] Hidrofobik tanımı, <https://www.biyolojigunlugu.com/index.php?/topic/2311/> , (25 Ocak 2019).
- [145] Cremers, J.M., & Lausch, F., (2009). "Flexible Photovoltaics Integrated in Translucent PTFE/Glass and Transparent ETFE Membrane Structures"

- Conference: 5th User Forum Thin-Film Photovoltaics (OTTI), Jan. 26th-27th, 2009, Würzburg
- [146] U.S. Embassy cephesi görseli, <https://www.arch2o.com/american-embassy-london-kieran-timberlake/> , (25 Nisan 2019).
- [147] Organik fotovoltaik hücre normalize enerji performansı karşılaştırması, <http://www.opvius.com/en/lab.html> , (25 Nisan 2019).
- [148] Akman, E., Akin, S., Karanfil, G., & Sönmezoğlu, S., (2013). "Organik Güneş Pilleri", Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi Cilt:14 Sayı:1 Haziran201, 1-30.
- [149] MERCK KgaA binası güneydoğu cephesi görseli, <http://www.opvius.com/first-energy-efficient-facade.html> , (25 Nisan 2019).
- [150] Moritz, K., (2019). "Building Integrated Photovoltaic (BIPV) applications with ETFE-Films", Politecnico di Milano, Milan, Italy, Proceedings of the TensiNet Symposium 2019.
- [151] Modin, H., (2014). Adaptive building envelopes, Chalmers University of Technology, Master of Science Thesis in the Master's Programme Architecture and Engineering, 29–31.
- [152] Solarino, L., (2018). Climate responsive facade system with translucent phase change materials, Delft University of Technology, Master thesis presentation.
- [153] FDM nin cephede görsel davranışı, https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/hdz_pdf/0812_ph-summerschool_11_04_ph_and_pcms.pdf?m=1469660235 , (05 Mayıs 2019).
- [154] Sharmaa, S., Tahir, A.A., Reddy, K.S., & Mallicka, T.K., (2016). "Performance enhancement of a Building- Integrated Concentrating Photovoltaic system using phase change material", Article in Solar Energy Materials and Solar Cells · May 2016.
- [155] Parafin formülü, <https://www.bilgiustam.com/parafin-nedir-kullanim-alanlari-nelerdir-parafin-banyolari-ne-icin-kullanilir/> , (05 Mayıs 2019).
- [156] Stearik asit formülü, <http://polivin.com.tr/urun/stearik-asit-butun-tipleri-73> , (05 Mayıs 2019).
- [157] Onder, E., Sarier, & N., (2015). "Functional Finishes for Textiles", Improving Comfort, Performance and Protection Woodhead Publishing Series in Textiles, 2015, 17-98.
- [158] Parafin mumu görseli, <https://www.indiamart.com/proddetail/paraffin-wax-17087586788.html> , (05 Mayıs 2019).
- [159] Stearik asit görseli, <https://www.stanfordchem.com/stearic-acid.html> , (05 Mayıs 2019).
- [160] Hidroksit görseli, <https://www.bachari.gr/en/natural-oils-4800/natural-oils-334/caustic-soda-sodium-hydroxide-naoh-1kg-3484> , (05 Mayıs 2019).

- [161] FDM kullanılan bina duvarı ısı akışı ve zaman çizelgesi, <https://www.seas.ucla.edu/~pilon/PCMIntro.html> , (05 Mart 2019).
- [162] Wilson, J., Ph.D., (2005). "Phase Change Material Thermal Properties", Site Article, <https://www.electronics-cooling.com/2005/05/phase-change-material-thermal-properties/#>
- [163] Timmeren, A.V., (2009). "Climate integrated Design (Climate iD) of building Skins: Green Building Innovation", Conference: BVA / FAC Symposium 'De Levende Gevel'At: Brugge, Belgium.
- [164] Amira Salihbegović, A., & Salihbegović, A., (2015). "Interactive Building Structures as Thermal Storage of Solar Energy", Conference: The 2nd International Conference with Exhibition S. ARCH 19-20 May 2015, Budva, Montenegro; ENVIRONMENT AND ARCHITECTURE.
- [165] Favoino, F., (2015)."Assessing the performance of an advanced integrated facade by means of simulation: The ACTRESS facade case study", Journal of Facade Design and Engineering 3 (2015) 105–127.
- [166] Perino, M., & Serra, V., (2015). "Switching from static to adaptable and dynamic building envelopes: A paradigm shift for the energy efficiency in buildings", Department of Energy, Politecnico di Torino, Corso Duca degli Abruzzi 24, Torino, Italy, Journal of Facade Design and Engineering 3 (2015) 143–163.
- [167] The broader joint prototip görseli, <https://yuliyasinke.com/Phase-Change-Material-for-facades> , (10 Mart 2019).
- [168] Paranel, A Thermo- Responsive Glazing System, <http://www.iaacblog.com/programs/paranel-phase-change-material-glazing/> , (10 Mart 2019).
- [169] Lüminesans (ışıldama) reaksiyonu, http://web.hitit.edu.tr/dersnotlari/gokcemerey_13.10.2015_007A.pdf , (10 Mart 2019).
- [170] Lüminesans (ışıldama) reaksiyonu, <https://www.explainthatstuff.com/luminescence.html> , (10 Mart 2019).
- [171] LED' tanım, <http://www.deled.com.tr/led-aydinlatma/2-led-nasil-calisir.aspx> , (10 Mayıs 2019).
- [172] LED'lerin ticari kullanımı, <https://maker.robotistan.com/led/> , (10 Mayıs 2019).
- [173] LED görseli, <https://www.superbrightleds.com/moreinfo/through-hole/rgb-fast-color-changing-led-2/1041/2504/> , (10 Mayıs 2019).
- [174] LED görseli, <http://www.izmirledreklam.com/v2/index.php/hizmetlerimiz/led-ueruenler/serid-led> , (10 Mayıs 2019).
- [175] LED kullanımı değerlendirmesi, <https://electrolog.blog/2017/12/23/led-led-calisma-prensibi-ve-cesitleri/> , (10 Mayıs 2019).

- [176] Chanel Ginza Medya cephesi, <https://awards.mediaarchitecture.org/mab18/project/109>, (10 Haziran 2019).
- [177] Chanel Ginza Medya cephesi, <https://www.kiboworks.com/kibo-chanel-ginza-tokyo-media-facade.html>, (10 Haziran 2019).
- [178] Chanel Ginza Medya cephesi görseli, <https://designiwall.wordpress.com/2012/07/04/chanel-media-facade-tokyo-giappone/>, (10 Haziran 2019).
- [179] GreenPix Zero Energy Medya Duvarı, <https://www.treehugger.com/interior-design/in-beijing-worlds-largest-led-display-uses-solar-power.html>, (10 Haziran 2019).
- [180] GreenPix Zero Energy Medya Duvarı cephesi görseli, <https://www.dezeen.com/2008/05/07/greenpix-media-wall-by-simone-giostra-partners/>, (10 Haziran 2019).
- [181] GreenPix Zero Energy Medya Duvarı cephe detayı görseli, <https://www.archilovers.com/projects/7673/greenpix-zero-energy-media-wall.html>, (10 Haziran 2019).
- [182] OLED katmanları, <https://www.oled-info.com/oled-technology>, (10 Haziran 2019).
- [183] OLED sisteminde, <https://www.explainthatstuff.com/how-oleds-and-leps-work.html>, (10 Haziran 2019).
- [184] Aliasing OLED Türbin, <https://aoarchitect.us/2015/08/oled/>, (10 Haziran 2019).
- [185] Chiba, T., Kumagai, D., Udagawa, K., Watanabe, Y., & Kido, J., (2018). "Dual mode OPV-OLED device with photovoltaic and light-emitting functionalities", Scientific Reports volume 8, Article number: 11472 (2018) <https://www.nature.com/articles/s41598-018-29806-8>
- [186] The Land cephesi, <https://lightingsolutionsme.com/new-facade-concept-uses-advanced-opv-oled-technology/>, (10 Haziran 2019)
- [187] The Land cephesi, <http://www.koreaittimes.com/news/articleView.html?idxno=73521>, (10 Haziran 2019).
- [188] Parashar, K., (2015). Adsorption, presentation, Published on Feb 14, 2015, <https://www.slideshare.net/Kamyaparashar/adsorption-presentation-44669901>
- [189] Walcarius, A., & Louis Mercier, L., (2010). "Mesoporous organosilica adsorbents: nanoengineered materials for removal of organic and inorganic pollutants", Journal of Materials Chemistry, Issue 22, 2010, <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2010/jm/b924316j#!divAbstract>

- [190] Saraç, N., & Toplan, N., (2016). "Dünyanın En Hafif Katı Malzemesi: Aerojeller", Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, <https://metaldunyasi.com.tr/tr/guncel/69/dunyanin-en-hafif-kati-malzemesi-aerojeller.html>
- [191] Aerojel görseli, <https://www.kozanbilgi.net/aerojel.html>, (10 Haziran 2019)
- [192] Müjde Altın, M., & Aşıkoğlu, A., (2014). "Sürdürülebilir Yapılarda Aerojel Kullanımı " Teknik Makale, 123. Sayı, DEÜ Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü, http://www.yalitim.net/yayin/483/surdurulebilir-yapilarda-aerojel-kullanimi_14291.html#.XO2-GxYzYuU
- [193] ICE House TM cephesi görseli, <http://www.mcdonoughpartners.com/projects/icehouse/#big-image>, (10 Ocak 2019).
- [194] Cremers, J.M., (2010). "12-Textiles for insulation systems, control of solar gains and thermal losses and solar systems", Woodhead Publishing Series in Textiles 2010, 351-374, <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/tensile-structure>
- [195] Garbe, T., "Tents, Sails, and Shelter: Innovations in Textile Architecture", The University of Texas at Austin, II-Strategies Technology, https://soa.utexas.edu/sites/default/disk/technologies/technologies/09_03_fa_cremers_garbe_ml.pdf
- [196] DFAB Empa Evi, <https://seele.com/latest-news/etfe-with-aerogel-filling-by-seele-cover-enables-u-value-of-0165-wm2k/>, (20 Ocak 2019).
- [197] DFAB Empa Evi, <https://dfabhouse.ch/lightweight-translucent-facade/>, (20 Ocak 2019).
- [198] DFAB Empa Evi, <https://www.empa.ch/web/nest/digital-fabrication>, (20 Ocak 2019).
- [199] DFAB Empa Evi, <https://www.dwell.com/article/dfab-house-opens-in-switzerland-eth-zurich-6fe60aa6>, (20 Ocak 2019).
- [200] X/O Skeleton Design Concept, http://www.eypae.com/sites/default/files/pdf/EYP_Brochure_XO%20Skeleton.pdf, (20 Ocak 2019).
- [201] Hidrojel, <http://malzemebilimigunlugu.blogspot.com/2018/10/hidrojel-nedir-avantajlar-ve.html>, (19 Ocak 2019).
- [202] Hidrojel, <https://metininci.files.wordpress.com/2014/07/inovatif-kimya-dergisi-sayi-26.pdf>, (19 Ocak 2019).
- [203] Hydroceramic, <https://www.archdaily.com/590348/iaac-students-develop-a-passive-cooling-system-from-hydrogel-and-ceramic>, (25 Şubat 2019).
- [204] Monarch Sanctuary cephesi, https://www.architectmagazine.com/project-gallery/monarch-sanctuary-integrated-biodiversity-in-double-skin-facade_o, (25 Şubat 2019).

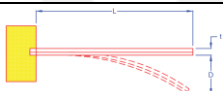
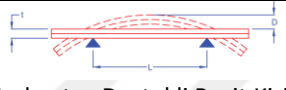

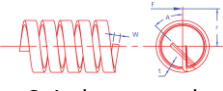
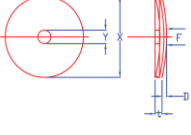
- [205] Monarch Sanctuary cephesi, <https://materialdistrict.com/article/building-facade-butterfly-sanctuary/> , (25 Şubat 2019)
- [206] Algler, <https://www.thefifthestate.com.au/columns/spinifex/19-reasons-why-algae-may-be-the-next-sustainable-building-technology/> ,(25 Ekim 2018).
- [207] Algler, <https://www.egitimsistem.com/dunya-atmosferindeki-oksijenin-yaklasik-70i-nerede-uretilir-58184h.htm>, (25 Ekim 2018).
- [208] Alglerin doğal görünümü, <https://www.livescience.com/54979-what-are-algae.html>, (25 Ekim 2018).
- [209] SymBIO2 Biyo cephesi, http://revistadisena.com/pdf/revistadisena_10_ISSN0718-8447_green-algae-responsive-architecture-design.pdf, (25 Nisan 2019).
- [210] SymBIO2 Biyo cephesi görseli, <http://www.sans-transition-magazine.info/une-biofacade-fete-ses-deux-ans-de-fonctionnement> , (25 Nisan 2019).
- [211] Urban Algae Canopy, https://www.domusweb.it/en/news/2014/04/30/urban_algae_canopy.html, (15 Agustos 2019).
- [212] the BIQ evi, <https://www.arup.com/projects/solar-leaf>, (15 Agustos 2019)
- [213] the BIQ evi, <https://www.fastcompany.com/3005162/splitterwerk-architects-biq-house> , (15 Agustos 2019).
- [214] Simbiyoz tanımı, <https://evrimagaci.org/ortak-yasam-simbiyoz-nedir-ve-nasil-evrimlesmistir-84> , (10 Ocak 2019).
- [215] Boisseau, S., Despesse, G., Monfray, S., Puscasu, O., & Skotnicki, T., (2013). "Semi-flexible bimetal-based thermal energy harvesters" Article in Smart Materials and Structures · January 2013
- [216] Çalışkan, A., Onat, A., (2016). "The Characterisation of Bimetal Disks Used for Thermostatic Control and Over-Temperature Protection", Sakarya University, Vocational School of Sakarya, 54188, Conference: International Science and Technology Conference ISTE2016At: VIENNA AUSTRIA
- [217] Bimetaller, https://www.emsclad.com/fileadmin/Data/Divisions/EMS/Header/Bimetals_EMS.pdf , (10 Mart 2019).
- [218] Blink projesi, Armoured Corset projesi, <https://www.dosu-arch.com> , (10 Mart 2019).
- [219] Haddemeleme tanımı, <http://www.muhandisalemi.com/haddemeleme-nedir-haddemeleme-gucu-hesabi/> , (10 Mayıs 2019).
- [220] Bloom projesi, Glass Panel Shutter, <https://specifier.com.au/human-skin-inspires-doris-kim-sungs-thermo-bimetals/>, (10 Mart 2019).
- [221] Bloom projesi, Blink projesi, <https://specifier.com.au/human-skin-inspires-doris-kim-sungs-thermo-bimetals/> , (10 Mart 2019).

- [222] Decker, M., (2013). "Emergent Futures: Nanotechnology and Emergent Materials in Architecture" New Jersey Institute of Technology, Conference Paper · January 2013.
- [223] Homeostatik cephe, <https://www.archdaily.com/tag/shape-memory-alloys> , (10 Şubat 2019).
- [224] Homeostatik cephe görseli, <https://www.conservationmagazine.org/2013/03/homeostatic-building-facade/> , (Şubat 2019).
- [225] He, F., (2017). Case Study Homeostatic Facade, Fall 2017 / Arch 410 Biomimicry & Parametric Design / Inspiration Presentation / Instructor: Nancy Cheng /New York. https://cpbuse1.wpmucdn.com/blogs.uoregon.edu/dist/9/10058/files/2017/11/hefangzi_29584_4444490_Fangzi-He-Case-Study-1-2d54zrv.pdf
- [226] Oksidasyon tanımı, <https://insapedia.com/oksidasyon-nedir/> , (10 Şubat 2019).
- [227] Behland, M., & Lendlein, A., (2007). "Shape-memory polymers", Center for Biomaterial Development, Institute of Polymer Research, GKSS Research Center Geesthacht, Kantstr. 55, D-14513 Teltow, Germany Materials Today Volume 10, Issue 4, April 2007, pp: 20-28
- [228] Okay, O., (2007). "Polimerik Malzemelerin Bugünü ve Yarını", İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, 80626 Maslak, 1-9 www.kimya.itu.edu.tr/ookay
- [229] Homeostaz tanımı, <https://sinirbilim.org/homeostaz/> , (10 Şubat 2019).
- [230] Aydoğan, Ö.Ç., (2018). Ses Verileri Etkileşimli Dinamik Adaptif Bir Cephe Önerisi Sound Shield, Yüksek Lisans Tezi, Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Programı, İstanbul Teknik Üniversitesi, 46.
- [231] Kretzer, M., (2013). "Information Materials Smart material based architectural design", eCAADe 2013: Computation and Performance- Proceedings of the 31st International Conference on Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe.
- [232] Response_able 2.0 prototip görseli, http://www.iaacblog.com/programs/response_able-1-0/ , (23 Şubat 2019)
- [233] Response_able 2.0 prototip çalışma prensibi, http://www.needlab.org/response_able_ , (23 Şubat 2019).
- [234] Response_able 2.0 üçgen panel çalışma prensibi <https://www.youtube.com/watch?v=cL2xfpEc24k> , (25 Eylül 2018).
- [235] Biyomimetik tanımı, <http://efbilimleri.com/Kategori-Sayfalar%C4%B1/11> , (25 Şubat 2019).
- [236] Gamal, Y., & Mowafy, O., (2018). "Shape Memory Alloy Shading Systems: An Optimization Model", 4th Building Simulation and Optimization Conference, Cambridge, UK 488-499.

- [237] Şekil Hafıza alaşımları hareket türleri, https://www.mt.com/ca/fr/home/supportive_content/matchar_apps/MatChar_UC403.html , (20 Eylül 2018).
- [238] Şekil Hafıza alaşımları değişim grafiği, <https://www.fzu.cz/en/novinky/scientists-from-the-czech-academy-of-sciences-explore-the-nature-of-the-localized> , (20 Eylül 2018)
- [239] Chang, W.S., & Araki, Y., (2016). "Use of Shape-Memory Alloys in Construction: A Critical Review", ICE Proc. Civil Engineering, 87-92.
- [240] Toptaş, E., Akkuş, N., & Genç, G. (2008). "Şekil Hafızalı Alaşımlı Telin Elektrik Akımı Altındaki davranışının deneysel incelemesi" Proc. 12th International Materials Symposium (IMSP'2008), Oc-tober 15--17, 2008, Denizli, Turkey.
- [241] Huang, W. (1998). "Shape Memory Alloys and their Application to Actuators for Deployable Structures", University of Cambridge Department of Engineering, 2-20.
- [242] Pixelskin02, <http://transmaterial.net/pixelskin02/> , (10 Aralık 2018).
- [243] Pixelskin02, http://beyond.iaac.net/?page_id=1790 , (10 Aralık 2018).
- [244] Pixelskin02, <https://www.youtube.com/watch?v=rWIKe5GWhq8> (20 Şubat 2019).
- [245] The Air Flower, <http://www.liftarchitects.com/air-flower/> , (20 Şubat 2019).
- [246] TUB prototip, <http://tactile-architecture.com/make-material-city-shading-device/>, (20 Şubat 2018).
- [247] Iconic SKIN, <https://integrativedesign.org/2012/07/01/skin-soft-kinetic-network/> , (20 Şubat 2019).
- [248] Living Glass görseli, <https://inhabitat.com/carbon-dioxide-sensing-living-glass/> , (25 Ocak 2019).
- [249] Decker, M., & Yeadon, P., (2008). "SmartScreen: Controlling Solar Heat Gain with Shape Memory Systems", Boston Society of Architects Design Research Grants.
- [250] SELF Adaptive Membrane, http://www.iaacblog.com/programs/self-adaptive-membrane-_a-passive-kinetic-system/ , (25 Ocak 2019).
- [251] SELF Adaptive Membrane, <http://materiability.com/portfolio/self-adaptive-membrane/>, (25 Ocak 2019).
- [252] Bimetal malzeme temel dizayn formülleri, [http:// www.shivalikbimetals.com / Catalogue.pdf](http://www.shivalikbimetals.com/Catalogue.pdf), (12 Mayıs 2018).

BİMETAL MALZEME TEMEL DİZAYN FORMÜLLERİ

Çizelge A. 1 Bimetal malzeme temel dizayn formülleri¹ [252]

ŞEKİL	ISIL SAPMA	MEKANİK KUVVET	ISIL KUVVET	MAKS. BÜKME GERİNLİĞİ
 Konsol şerit (tek perçinli)	$D = \frac{a\Delta TL^2}{t}$	$F_m = \frac{Ewt^2D}{4L^2}$	$F_t = \frac{Eat^2w\Delta T}{4L}$	$\sigma_{max} = \frac{6FL}{t^2w}$
 Serbestçe Destekli Basit Kiriş	$D = \frac{a\Delta TL^2}{4t}$	$F_m = \frac{4Ewt^2D}{L^2}$	$F_t = \frac{Eat^2w\Delta T}{L}$	$\sigma_{max} = \frac{3FL}{2t^2w}$
 U şekli	$D = \frac{a\Delta TL^2}{2t}$	$F_m = \frac{Ewt^2D}{L^2}$	$F_t = \frac{Eawt^2\Delta T}{2L}$	$\sigma_{max} = \frac{3FL}{t^2w}$
 Spiral ve sarmal	$D = \frac{360a\Delta TL}{\pi t}$	$F_m = \frac{2\pi AEt^2w}{360 \times 12Lr}$	$F_t = \frac{Eat^2w\Delta T}{6r}$	$\sigma_{max} = \frac{6Fr}{t^2w}$
 Sürünme tipi diskler	$D = \frac{a\Delta T(x^2 - y^2)}{4t}$	$F_m = \frac{4Ewt^2D}{(x^2 - y^2)}$	—	$\sigma_{max} = \frac{3F}{2t^2}$

¹ (D: Milimetrik sapma, A: Açısal sapma derecesi, ΔT : Sıcaklık değişimi (°C), w: Genişlik (mm), σ_{max} : Maksimum eğilme gerginliği (N/mm²), t: kalınlık (mm), L: Aktif uzunluk, a: Spesifik ısı sapma (mm), E: Young modülü (N/mm²), F_m : Mekanik kuvvet, F_t : Isıl kuvvet) [252].

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Özge ERGİN
Doğum Tarihi ve Yeri : 03.10.1988, Söke/AYDIN
Yabancı Dili : İngilizce- İtalyanca
E-posta : ozgergin88@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Yapı İşletmesi Tezsiz Yüksek Lisans	Yıldız Teknik Üniversitesi	2015
Lisans	Güzel Sanatlar Fakültesi	İzmir Ekonomi Üniversitesi	2013

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2015	Group SEKA LTD.	Proje Koordinatör
2016	TİMA Engineering & Consultancy	Proje Koordinatör
2017	NOLAND Architects	Kurucu Ortak

YAYINLARI

Makale

1. Ergin, Ö. & Girgin, Z.C., (2019), "Uyarlanabilir Cephe Sistemlerinde Şekil Hafızalı Alaşım lar ve Uygulamaları." AURUM Mühendislik Sistemleri ve Mimarlık Dergisi, 4 Mayıs 2019, İstanbul.

