ADAPTİF CEPHELER VE AYIRT EDİCİ PERFORMANS KRİTERLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

İrem Nur TAŞ

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ADAPTİF CEPHELER VE AYIRT EDİCİ PERFORMANS KRİTERLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

İrem Nur TAŞ
0000-0002-2845-6152

Prof. Dr. Filiz ŞENKAL SEZER
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI

BURSA – 2025
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ADAPTİF CEPHELER VE AYIRT EDİCİ PERFORMANS KRİTERLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

İrem Nur TAŞ

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Filiz ŞENKAL SEZER

Yapı kabuğu iç ve dış ortam arasındaki enerji akışını kontrol edebilen ara yüzler olarak binaların performansının iyileştirilmesinde önemli bir role sahiptir. Yapı kabuğu statik ve dinamik olmak üzere iki farklı şekilde tasarlanabilmektedir. Geleneksel cephe sistemleri genellikle statik olarak tasarlanmakta olup değişen çevresel koşulları ve kullanıcı beklentilerini karşılamada bazı durumlarda yetersiz kalmaktadır. Buna karşılık, dinamik sistemler olan ve değişen çevresel koşullara uyum sağlayabilen adaptif cepheler (AF), esnektir ve geçici değişikliklere yanıt verme yeteneğine sahiptir. Bu tezin amacı, adaptif cepheleri tanımlamak, sınıflandırmak, bu sistemlerden beklenen ayırt edici performans kriterlerini değerlendirmektir. Çalışmanın ilk bölümü olan giriş bölümünde konunun önemi, kapsamı ve amacı açıklanmıştır. İkinci bölüm olan kuramsal temeller bölümünde ise adaptif cephenin tanımı, tarihsel gelişimi, literatürdeki ilgili kavramlar, sınıflandırılması ve adaptif cephelerden beklenen ayırt edici performans kriterleri ele alınarak konunun kavramsal çerçevesi oluşturulmuştur. Üçüncü bölümde çalışmada kullanılan materyal ve yöntem açıklanmış ve tez kapsamında adaptif cepheye sahip 12 adet yapı örneği tanıtılarak adaptif özellikleri sınıflandırılmıştır. Çalışmanın dördüncü bölümünde seçilen örnekler; *kullanıcı konforu, çevresel performans ve dış ortam etkileşimi* olmak üzere 3 adaptif performans kriteri altında incelenmiştir. Çalışmanın beşinci bölümü olan sonuç bölümünde ise çalışmadan elde edilen veriler sunulmuş ve adaptif cephelerin performans kriterleri açısından sunduğu avantajlar ve dezavantajlar değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Adaptif Cephe, Bina Performansı, Kullanıcı Konforu, Enerji Verimliliği, Sürdürülebilir Mimari

2025, ix + 118 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

EVALUATION OF ADAPTIVE FACADES AND DISTINCTIVE PERFORMANCE CRITERIA

İrem Nur TAŞ

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Architecture

Supervisor: Prof. Dr. Filiz ŞENKAL SEZER

Building envelopes, as interfaces that control energy flow between interior and exterior environments, play a crucial role in enhancing building performance. Building envelopes can be designed in two different ways: static and dynamic. Traditional facade systems are generally designed as static, and they can sometimes fall short in responding to changing environmental conditions and user expectations. In contrast, adaptive facades (AF), which are dynamic systems that can adapt to changing environmental conditions, are flexible and have the ability to respond to temporary changes. The aim of this thesis is to define and classify adaptive facades and evaluate the distinctive performance criteria expected from these systems. In the first chapter, the introduction, the importance, scope, and aim of the topic are explained. In the second chapter, theoretical foundations, the definition of adaptive facades, their historical development, relevant concepts in the literature, their classification, and performance criteria are addressed, forming the conceptual framework of the study. In the third chapter, materials and methods used in the study are explained, and 12 building examples with adaptive facades are introduced, with their adaptive characteristics classified. In the fourth chapter, the selected 12 building examples are analyzed according to three adaptive performance criteria—user comfort, environmental performance, and external environment interaction—based on specific parameters. Finally, in the fifth chapter, the results obtained from the study are presented, and the advantages and disadvantages of adaptive facades in terms of performance criteria are evaluated.

Key words: Adaptive Façade, Building Performance User Comfort, Energy Efficiency, Sustainable Architecture

2025, ix + 118 pages.

ÖNSÖZ VE/VEYA TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın hazırlanmasında bana destek veren, yol gösteren ve bilgi birikimleriyle katkı sağlayan herkese teşekkürlerimi sunmak isterim.

Öncelikle, yoğun çalışma temposuna rağmen bana her zaman vakit ayıran, güler yüzü ve pozitif yaklaşımıyla her daim destek olan değerli danışmanım Prof. Dr. Filiz ŞENKAL SEZER'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Onun samimiyeti, engin bilgisi ve ilham verici rehberliği sayesinde kendime olan güvenimi pekiştirdim ve çalışmalarımı daha ileriye taşıma fırsatı buldum.

Her zaman yanımda olan, sevgileri ve emekleriyle her adımda beni destekleyen canım Anneme, Babama ve Kardeşime sonsuz teşekkür ederim. Bu süreçte, sevgisi, desteği ve varlığıyla bu yolculuğu benim için daha anlamlı kılan sevgili mimar Kerim Pekdemir'e de gönülden teşekkür ederim. Ayrıca, verdikleri moral, destek ve samimi dostluklarıyla yanımda olan tüm arkadaşlarıma da içtenlikle teşekkür ederim.

Bu çalışmaya katkı sağlayan tüm akademisyenlere ve uzmanlara teşekkür etmek isterim. Değerli çalışmaları, benim için önemli bir referans kaynağı olarak düşüncelerimi derinleştirmeme katkı sağladı.

Son olarak, bu çalışmanın bilimsel alanda fayda sağlamasını ve sürdürülebilir mimariye katkıda bulunmasını temenni ederim. Çalışmamın gerçekleşmesinde emeği geçen herkese tekrar teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

İrem Nur TAŞ
15/01/2025

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET i
ABSTRACT ii
ÖNSÖZ VE/VEYA TEŞEKKÜR iii
İÇİNDEKİLER iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ v
ŞEKİLLER DİZİNİ vii
ÇİZELGELER DİZİNİ ix
1. GİRİŞ 1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI 4
2.1 Adaptif cephe tanımı ve tarihsel gelişimi 4
2.2 Adaptif cephelerle ilgili literatürdeki kavramlar 13
2.3 Adaptif cephelerin sınıflandırılması 22
2.3.1 Çevresel uyaranlara verilen tepkiye göre adaptif cepheler 22
2.3.2 Uygulama ölçeğine göre adaptif cepheler 23
2.3.3 Adaptasyon ölçeğine göre adaptif cepheler 24
2.3.4 Kontrol prensibine göre adaptif cepheler 25
2.3.5 Kullanılan teknolojiye göre adaptif cepheler 26
2.3.6 Tepki verme süresine göre adaptif cepheler 28
2.3.7 İnovatif teknolojileri içeren adaptif cepheler 29
2.4 Adaptif cephelerden beklenen ayırt edici performans özellikleri 30
2.4.1 Kullanıcı konforu 34
2.4.2 Çevresel performans 41
2.4.3 Dış ortam etkileşimi 43
3. MATERYAL ve YÖNTEM: Adaptif cepheli yapı örneklerinin ayırt edici performans kriterleri açısından incelenmesi ve değerlendirilmesi 45
3.1 Dünyada adaptif cephe uygulama örneklerinin incelenmesi 48
3.1.1 Arap Dünya Enstitüsü 49
3.1.2 Pittsburgh Çocuk Müzesi (Articulated Cloud) 51
3.1.3 Kiefer Technic Showroom 53
3.1.4 Media TIC 54
3.1.5 Bloom Projesi 57
3.1.6 Al Bahar Kuleleri 59
3.1.7 Biyoreaktör Evi (BIQ House, SolarLeaf) 62
3.1.8 House of Natural Resources (Adaptive Solar Facade) 63
3.1.9 Festo Otomasyon Merkezi 66
3.2 Türkiye'de adaptif cephe uygulama örneklerinin incelenmesi 68
3.2.1 Protel Yönetim Ofisi 68
3.2.2 OdeaBank Suadiye Şubesi 70
3.2.3 Garanti BBVA Teknoloji Kampüsü 73
3.3 Performans değerlendirmesinde kullanılan parametreler ve değerlendirme ölçeği 76
4. BULGULAR ve TARTIŞMA 81
5. SONUÇ 104
KAYNAKLAR 109
ÖZGEÇMİŞ 118

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
%	Yüzde
°	Derece
cm	Santimetre
cm²	Santimetrekare
CO^2	Karbondioksit
Dba	Desibel A ölçeği
g/m²	Gram Bölü Metrekare
kg	Kilogram
kWh	Kilowatt Saat
kWh/m²	Kilowatt Saat Bölü Metrekare
lx	Lux
m	Metre
m²	Metrekare
mm	Milimetre
MWh	Mega Watt Saat
TiO^2	Titanyum oksit
U	Isıl Geçirgenlik Katsayısı
W/m²K	Watt Bölü Metrekare Kelvin

Kısaltmalar	Açıklama
AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AF	Adaptive Facade (Adaptif Cephe)
AIA	Amerikan Mimarlar Enstitüsü
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers - Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneği
BIPV	Building-Integrated Photovoltaics (Cepheye Entegre Fotovoltaik Sistem)
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method- (Bina Araştırma Kuruluşu Çevresel Değerlendirme Metodolojisi)
COST	European Cooperation in Science and Technology (Avrupa Bilim ve Teknoloji İşbirliği)
ÇP	Çevresel Performans
ÇŞB	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
DOE	Dış Ortam Etkileşimi
EN ISO	Europeane Norm International Organization for Standardization
ETFE	Ethylen Tetra Fluoro Ethylen (Etilen Tetra Fluoro Etilen)
HVAC	Heating, Ventilation, and Air Conditioning-(Isıtma, Havalandırma

	ve İklimlendirme
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli)
KK	Kullanıcı Konforu
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design (Enerji ve Çevre Dostu Tasarımda Liderlik)
MÖ.	Milattan Önce
PCM	Phase Changing Material (Faz Değiştiren Malzeme)
PV	Photovoltaic (Fotovoltaik)
vb.	ve benzeri
yy.	yüz yıl

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa
Şekil 1.1.	Adaptif cepheler üzerine yapılan lisansüstü çalışmaların tematik dağılımı …….……	3
Şekil 2.1.	Çatalhöyük MÖ 6.yy-7.yy……..	6
Şekil 2.2.	Roma'daki Colosseum ve hareketli çatısı……..	6
Şekil 2.3.	Orta çağ kalelerinde asma köprü…….	7
Şekil 2.4.	Crystal Palace cephesi ……	7
Şekil 2.5.	Çift cidarlı cephe tasarımı……...	8
Şekil 2.6.	Çok değerlikli duvar……...	9
Şekil 2.7.	Arap Dünya Enstitüsü, Paris……...	10
Şekil 2.8.	Elektrokromik camın farklı durumlarda görünümleri……..…	13
Şekil 2.9.	Adaptif kelimesi ile ilişkili kavramlar……	14
Şekil 2.10.	Aktif cephe örnekleri. Media-TIC, Pittsburgh çocuk müzesi……	15
Şekil 2.11.	Çift cidarlı cephe örneği, Düsseldorf City Gate Building……..	15
Şekil 2.12.	Akıllı cephe örnekleri. Bloom pavyonu, Manuel Gea Gonzalez Hastanesi…….	16
Şekil 2.13.	Biyomimetik cephe örneği, BIQ evi, Hamburg……..	17
Şekil 2.14.	Kinetik cephe örnekleri, Al Bahar kuleleri, Arap Dünya Enstitüsü……..	18
Şekil 2.15.	Hareketli cephe örnekleri. House of Natural Resources, EWE Arena…….……..	18
Şekil 2.16.	GSW Genel Merkezi, Berlin, Almanya……..	19
Şekil 2.17.	HypoSurface, Ulusal Enerji Müzesi, İspanya…….	20
Şekil 2.18.	ABD'deki bir hastane otoparkının cephesi…….	21
Şekil 2.19.	Duyarlı cephe örnekleri. Arap Dünya Enstitüsü, Kiefer Technic Showroom……...	22
Şekil 2.20.	İç ortamda kullanıcı konforunu etkileyen bazı faktörler…….....	34
Şekil 2.21.	İnsan vücudunun ısı kazanç ve kayıplarını dengeleme yolları..…	35
Şekil 2.22.	İç mekân derinliğine göre değişen aydınlık düzeyi…….....	38
Şekil 3.1.	Tez Akış Şeması …….....	48
Şekil 3.2.	Arap Dünya Enstitüsü …….....	50
Şekil 3.3.	Pittsburgh Çocuk Müzesi cephesi …….…….	52
Şekil 3.4.	Pittsburgh Çocuk Müzesi cephesi sistem detayları ……	52
Şekil 3.5.	Kiefer technic showroom cephe detayı …….....	54
Şekil 3.6.	Media TIC dış cephe detayı ……..……..	55
Şekil 3.7.	Media TIC yapısı güney-doğu ve güney batı cephesi, İspanya.....	56
Şekil 3.8.	Bloom projesi …….……	58
Şekil 3.9.	Al Bahar kuleleri cephesi……	60
Şekil 3.10.	Al Bahar Kuleleri cephe panel detayı……...…….….	60
Şekil 3.11.	Biyoreaktör evi cephesi ve biyoreaktör panel detayı…….….	62
Şekil 3.12.	House of Natural Resources güney cephesi adaptive solar facade uygulaması…….….	64
Şekil 3.13.	Adaptive Solar Facade simülasyon modeli…….….	65
Şekil 3.14.	Festo Otomasyon Binası cephesi……...…….	67
Şekil 3.15.	Protel Yönetim Ofisi dış cephesi……...….	69
Şekil 3.16.	Protel Yönetim Ofisi dış cephesi panel detayı…….....	70

Şekil 3.17.	Odeabank Suadiye Şubesi likit kristal cam cephesi saydam ve opak görünümü……..	71
Şekil 3.18.	Odeabank Suadiye Şubesi likit kristal cam cephe saydam ve opak iç ortam görünüşü……..	72
Şekil 3.17.	Garanti BBVA Teknoloji Kampüsü hava fotoğrafı…….…....	73
Şekil 3.18.	Garanti BBVA Teknoloji Kampüsü dış cephesi…….	74
Şekil 3.19.	Garanti BBVA Teknoloji Kampüsü iç avlu cephesi……..….	74
Şekil 3.20.	Garanti BBVA Teknoloji Kampüsü Kesit Perspektifi……...….	75
Şekil 4.1	Örnek yapıların iklim tiplerine ve adaptif cephe teknolojilerine göre dağılımı	101

ÇİZELGELER DİZİNİ

		Sayfa
Çizelge 2.1.	Adaptif cephelerin verdikleri tepkiye göre sınıflandırılması……	23
Çizelge 2.2.	Adaptif cephelerin uygulama ölçeğine göre sınıflandırılması……..	24
Çizelge 2.3.	Adaptif cephelerin adaptasyon ölçeğine göre sınıflandırılması……...	24
Çizelge 2.4.	Adaptif cephelerin kontrol prensibine göre sınıflandırılması……..	25
Çizelge 2.5.	Kullanılan teknolojiye göre adaptif cephelerin sınıflandırılması…….	26
Çizelge 2.6.	Adaptif cephelerin malzeme düzeyinde sınıflandırılması……	27
Çizelge 2.7.	Tepki verme süresine göre adaptif cephelerin sınıflandırılması……...	29
Çizelge 2.8.	Gelecek vaat eden uyarlanabilir cephe sistemleri ve kullanılan teknolojiler……	30
Çizelge 3.1.	Adaptif cephelerden beklenen ayırt edici performans kriterlerine ilişkin literatür kaynakları……	
Çizelge 3.2.	İncelen örnek yapılar için adaptif cephe özellikleri sınıflandırma çizelgesi şablonu……...	47
Çizelge 3.3.	Arap Dünya Enstitüsü proje künyesi……	49
Çizelge 3.4.	Arap Dünya Enstitüsü için adaptif cephe özellikleri sınıflandırma çizelgesi……	50
Çizelge 3.5.	Pittsburgh Çocuk Müzesi proje künyesi……...	51
Çizelge 3.6.	Pittsburgh Çocuk Müzesi için adaptif cephe özellikleri sınıflandırma çizelgesi……	51
Çizelge 3.7.	Kiefer Technic Showroom binası proje künyesi……..	53
Çizelge 3.8.	Kıefer Technic Showroom için adaptif cephe özellikleri sınıflandırma çizelgesi……	53
Çizelge 3.9.	Media TIC binası proje künyesi……...…	54
Çizelge 3.10.	Media TIC binası için adaptif cephe özellikleri sınıflandırma çizelgesi..	55
Çizelge 3.11.	Bloom projesi proje künyesi…….	57
Çizelge 3.12.	Bloom projesi için adaptif cephe özellikleri sınıflandırma çizelgesi…..	58
Çizelge 3.13.	Al Bahar Kuleleri proje künyesi……...	59
Çizelge 3.14.	Al Bahar Kuleleri için adaptif cephe özellikleri sınıflandırma çizelgesi.	59
Çizelge 3.15.	Biyoreaktör Evi proje künyesi …….	61
Çizelge 3.16.	Biyoreaktör evi için adaptif cephe özellikleri sınıflandırma çizelgesi….	62
	House of Natural Resources proje künyesi……..	63
Çizelge 3.17.	House of Natural Resources için adaptif cephe özellikleri sınıflandırma çizelgesi……	64
Çizelge 3.18.	Festo Otomasyon Merkezi proje künyesi…….	66
Çizelge 3.19.	Festo Otomasyon Binası için adaptif cephe özellikleri sınıflandırma çizelgesi……	66
Çizelge 3.20.	Protel Yönetim Ofisi proje künyesi……..	68
Çizelge 3.21.	Protel Yönetim Ofisi için adaptif cephe özellikleri sınıflandırma çizelgesi……	69
Çizelge 3.22.	OdeaBank Suadiye Şubesi proje künyesi…….	70
Çizelge 3.23.	Odeabank Suadiye Şubesi için adaptif cephe özellikleri sınıflandırma çizelgesi……	71
Çizelge 3.24.	Garanti BBVA Teknoloji Kampüsü proje künyesi……..	72
Çizelge 3.25.	Garanti BBVA Teknoloji Kampüsü için adaptif cephe özellikleri sınıflandırma çizelgesi……..	73
Çizelge 3.26.	Adaptif cephelerden beklenen performans kriterleri ve parametreler…..	75
Çizelge 4.1.	Örnek yapıların performans kriterleri açısından karşılaştırmalı değerlendirme çizelgesi……	102

1. GİRİŞ

Mimarlık tarihinin her döneminde, insan ihtiyaçları ve teknolojik gelişmeler doğrultusunda yapıların tasarımı ve işlevleri sürekli olarak dönüşüme uğramıştır. Bu süreçte, yapıların dış sınırını oluşturan yapı kabuğu hem estetik hem de işlevsel açıdan önemli değişimler geçirmiştir. Yapı kabuğu, bir yapının iç ortamını dış ortamdan ayırarak hava, su, ışık ve ses gibi dış etkenlerin kontrol edilmesine olanak tanımakta ve bu sayede kullanıcıları dış koşullardan korumaktadır. Ancak, yapı kabuğu yalnızca bir koruma unsuru değil, aynı zamanda yapı ile çevresi arasında bir etkileşim alanıdır.

Yapı kabuğunun önemli bir bileşeni olan cepheler, bu etkileşimin güçlendirilmesine hizmet etmektedir. Cepheler, bir yapının görünürlüğünü ve mimari karakterini şekillendirirken, ışık, hava ve görsel bağlantılar sağlayarak kullanıcıların çevreyle etkileşime geçmesini mümkün kılmaktadır. Bu durum, kullanıcıların fiziksel ve psikolojik konforunu doğrudan etkilemektedir. Le Corbusier, mimarlığın tarihini "Bu, pencerenin mücadelesinin öyküsüdür" şeklinde tanımlayarak, cephelerin mimarideki kritik rolünü vurgulamıştır (Sezer, 2005).

Cephelerin gelişim süreci, geleneksel cephe sistemlerinden giydirme cephe sistemlerine ve günümüz adaptif cephe çözümlerine doğru bir evrim göstermektedir. Geleneksel cephe sistemleri, çoğunlukla sabit bileşenlerden oluşan ve yapının taşıyıcı sistemine doğrudan entegre edilen tasarımlardır. Bu sistemler çevresel değişkenlere uyum sağlama ve tasarım esnekliği açısından sınırlı kalmaktadır. Teknolojik ilerlemeler ve yeni malzemelerin gelişmesi ile giydirme cephe sistemleri ortaya çıkmıştır. Yapının taşıyıcı sisteminden bağımsız olarak cepheye monte edilen bu sistemler geleneksel cephe sistemlerine göre daha hafif olması, montaj kolaylığı vb. sebepler dolayısıyla tercih edilmektedir. Gün ışığından daha fazla fayda sağlayan, dış ortamla etkileşimi artıran ve daha estetik bir görüntü sunan cam giydirme cephe sistemleri ise günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, artan cam yüzey oranları enerji tüketimi ve iç mekân konforu açısından bazı sorunları beraberinde getirmektedir. Bu sorunların üstesinden gelmek ve cephelerin çevresel etkenlere dinamik olarak uyum sağlayabilmesi amacıyla adaptif cephe sistemleri geliştirilmiştir.

Adaptif cepheler, çevresel değişkenlere dinamik olarak yanıt verebilen yapı kabuğu tasarımları olarak karşımıza çıkmaktadır. Kullanıcı konforunu ve enerji verimliliğini artırmak amacıyla tasarlanan bu cepheler, aynı zamanda estetik açıdan modern bir görünüm sunarak, günümüz mimarisine dinamik bir boyut katmaktadır. Adaptif cephelerin amacına uygun bir şekilde etkili hizmet verebilmesi için, bu sistemlerin performansının doğru bir şekilde değerlendirilmesi önemlidir.

Bu tezin amacı adaptif cepheleri tanımlamak, sınıflandırmak ve bu sistemlerden beklenen ayırt edici performans kriterlerini değerlendirmektir. Bu tezde, adaptif cephelerin performansını değerlendirirken, kullanıcı konforu, çevresel performans ve dış ortam etkileşimi olmak üzere üç ana performans kriteri seçilmiştir. Bu başlıkların seçiminde, diğer cephe sistemlerinden farklı olarak, adaptif cephelerin dinamik ve değişen koşullara yanıt verme özelliklerini en iyi şekilde yansıtan temel performans kriterlerinin seçilmesi dikkate alınmıştır.

- **Kullanıcı Konforu:** Görsel, iklimsel ve işitsel konforu içermektedir. Bu başlık altında, adaptif cephelerin iç mekândaki ışık, sıcaklık, hava kalitesi ve ses düzeyine etkileri incelenecektir.

- **Çevresel Performans:** Enerji tüketimi, enerji üretimi ve karbon emisyonları başlıklarını kapsar. Bu kriter, adaptif cephelerin enerji verimliliği sağlama kapasitesini, sürdürülebilirlik açısından önemini ve çevresel etkilerini değerlendirecektir.

- **Dış Ortam Etkileşimi:** Estetik görünüm ve dış fiziksel çevreyle iletişim üzerine odaklanır. Adaptif cephelerin, çevreyle uyum içinde çalışarak, yapının dış görünümünü dinamik hale getirme ve kullanıcıların dış ortamla görsel iletişim kurması incelenecektir.

Türkiye'de mimarlık alanında adaptif cepheler üzerine yapılan lisansüstü çalışmaların ve bu alandaki eğilimlerin belirlenmesi amacıyla YÖK Tez Merkezi'nde detaylı bir literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, adaptif cephe kavramı 1990-2025

yılları arasını kapsayacak şekilde incelenmiş ancak bu alanda yazılmış tezlerin 2015 yılından sonra yoğunlaştığı görülmüştür. Başlıklarında "adaptive," "facade" ve/veya "performance" kelimelerini içeren toplam 14 tez tespit edilmiştir. Bu çalışmada "adaptive" kavramı; adaptif, uyarlanabilir, uyum gösteren ve uyarlı gibi Türkçe karşılıklarıyla ilişkilendirilmiştir. Tespit edilen tezlerin tematik dağılımı ise Şekil 1.1'de sunulmaktadır.



Şekil 1.1 Adaptif cepheler üzerine yapılan lisansüstü çalışmaların tematik dağılımı (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

Adaptif cephelerin tasarımına yönelik çalışmalar incelendiğinde; performans odaklı tasarım (Berkmen Çelikağ, 2023; Karakoç, 2015, 2021; Kocaağa, 2022; Odaman Kaya, 2018; Öner, 2020; Yaman, 2022), insan odaklı tasarım (Koyaz, 2022), akıllı malzeme (Ergin, 2019), ses verileri etkileşimli sistemler (Çakır Aydoğan, 2018) ve biyoenerji üreten sistemler (Kükdamar, 2016) temalarını ele almaktadır. Adaptif cephelerin performansının değerlendirilmesine yönelik çalışmalarda ise, gün ışığı kontrolü/görsel konfor (Güney, 2024; Kabir, 2021) ve ısıl enerji performansı (Gediri Gökçen, 2023) konularına odaklandığı görülmektedir.

Adaptif cephelerin performans odaklı tasarımına yönelik birçok tez çalışması bulunmaktadır. Ancak, adaptif cephelerin tanımlanması, sınıflandırılması ve farklı uygulamalardaki performanslarının ayrıntılı ve kapsamlı bir şekilde incelendiği çalışmalar sınırlıdır. Bu çalışmanın özgün yönü, adaptif cephelerden beklenen ve diğer cephelerden ayırt edici performans kriterlerini belirleyerek bu kriterleri somut örnekler üzerinden değerlendirmesidir.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Çalışmanın bu bölümünde adaptif cephe kavramını açıklamak hedeflenmektedir. Bu kapsamda öncelikle adaptif cephenin tanımı, tarihsel gelişimi ve adaptif cephelerle ilişkili literatürde yer alan kavramlar açıklanmıştır. Daha sonrasında adaptif cephelerin sınıflandırılması ve adaptif cephelerden beklenen performans kriterleri anlatılarak konunun kavramsal çerçevesi tamamlanmıştır.

2.1 Adaptif cephe tanımı ve tarihsel gelişimi

Adaptif kelimesi birçok farklı bilim dalında yer alan ortak bir kelimedir. Biyoloji biliminde adaptasyon (adaptation) kelimesi, bir organizmanın kendi doğal ortamında daha iyi yaşayabilmek amacıyla geçirdiği evrimsel süreç olarak literatürde tanımlanmıştır (Dobzhansky ve diğ., 1968). TDK Türkçe sözlüğüne göre ise adaptasyon kelimesi Fransızca kökenli bir kelime olup uyarlama, uyum sağlama anlamına gelmektedir.

Mimarlık alanında adaptif mimari kavramı ilk kez Frei Otto tarafından; şekil, konum, kullanım veya boyut değiştirebilen bir sistem olarak açıklanmıştır. Konum değişikliği ile sistemin taşınmasının, inşasının ve montajının kolay olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca sistemin inşası için temel prensibin malzeme ve inşa edilmiş sistemin Hafiflik İlkesine (Lightweight Principle) dayanıyor olduğu ifade edilmiştir (Möller & Nungesser, 2015).

Ferguson ve arkadaşları 2007 yılında yaptığı bir çalışmada uyumlanabilirlik (adaptibility) kavramını, bir sistemin değişen koşullara ve gereksinimlere uyum sağlayabilme yeteneği olarak tanımlamıştır. Bununla birlikte sistemin kendini yeniden şekillendirebileceğini ve farklı ortamlarda çalışabileceğini ifade etmiştir. Bu konuda yapılan çalışmaların çoğu iklime uyum ile ilgilidir. Bu bağlamda düşünüldüğünde uyarlanabilirlik kullanıcı konforunu ve refah gereksinimlerini verimli ve daha da önemlisi etkin bir şekilde karşılamak için dış iklim koşullarından faydalanabilme ya da ona cevap verebilme yeteneği şeklinde tanımlanmıştır (Attia ve diğ., 2015).

Adaptif mimarinin bir bileşeni olan adaptif cepheler, değişen performans gereksinimlerine ve değişken sınır koşullarına yanıt olarak zaman içinde bazı

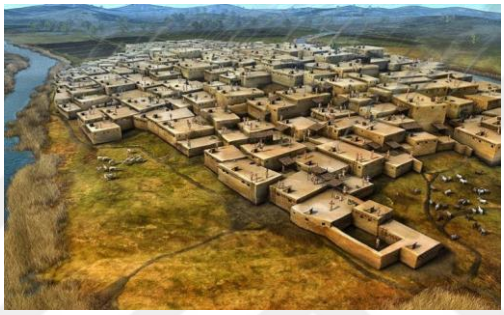
fonksiyonlarını, özelliklerini veya davranışlarını tekrar tekrar ve tersine çevrilebilir şekilde değiştirme yeteneğine sahip bina kabuğu tasarımlarıdır (Loonen vd., 2013). Adaptif cepheler kısa süreli hava dalgalanmaları, günlük döngüler veya mevsimsel desenler şeklinde değişen sınır koşullarına uyum sağlamaktadır (Attia ve diğ., 2018). Adaptif yapı kabukları sürekli değişen dış ortama nasıl tepki verilmesi gerektiği konusunda önemli bir rol oynamaktadır. Adaptif cepheler, enerji akışlarını daha iyi yönetmek için tasarlanan cephelerdir. Bu cepheler hem dış ortamdan yapıya hem de yapının iç mekanlarından dışarıya doğru enerji akışını kontrol edebilir. Adaptif cephelerin temel amacı, yapının enerji performansını ve binanın içindeki kullanıcı konforunu iyileştirmektir (Kolarevic & Parlac, 2015). Bir başka deyişle çevre, bina veya kullanıcı davranışları arasında senkronize olan esnek bir filtre görevi görmektir (Lehman, 2016). Bir yapının adaptif olabilmesi için dış ortamdaki değişiklikleri algılaması ve bu değişimlere tepki vermesi gerekmektedir.

Adaptif cephelerin davranışı görünür veya görünmez olabilir. Örneğin, bazı adaptif cephelerde güneş kırıcılar veya havalandırma boşlukları (menfezler) gibi bileşenler hareket ederken, bazılarında ise rüzgâr veya su gibi elementler yönlendirildiği gibi hareket eder. Adaptif cepheler, binanın tasarımına estetik bir boyut kazandırabilirken, aynı zamanda binanın çevre koşullarına daha iyi uyum sağlamasına yardımcı olur (Kolarevic & Parlac, 2015).

Adaptif cepheler değişen dış ortam koşullarına uyum sağlamak için yapısal konfor koşullarını sağlamak, enerji tüketimini azaltmak, bazen kullanıcı ile iletişim sağlamak ve estetik amaçlarla şeklini, özelliğini, boyutunu değiştirebilen çok işlevli malzeme, bileşen ya da sistemlerden oluşan yapı kabuğu tasarımlarıdır. Uyum sağlamanın ardında yatan itici güç yapı kullanıcıları için gerekli kullanıcı konforunu sağlamaktır. Bunu yaparken çoğu zaman yapının enerji tüketimini azaltması hedeflenir. Bu yüzden kullanılan malzeme, bileşen ya da sistemin çevre dostu ve ekonomik olması gerekmektedir.

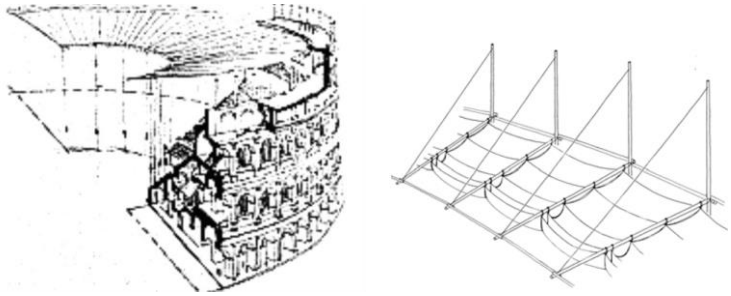
Tarihsel gelişimi;

Adaptif cepheler olarak karşımıza çıkmasa da cephede çeşitli etkenlerden korunma ya da onlara uyum sağlama fikri ilk çağlara kadar uzanmaktadır. Adaptif olma ve hareket öncelikle mağara açıklıklarını örtmek amacıyla kullanılmış taş, kütük, perde gibi malzemelerin kullanımı ile görülmektedir (İnan, 2014; Zuk & Clark, 1970). Tekerleğin icadı (M.Ö. 3000) ile hareket kabiliyeti daha da gelişmiştir. Bu dönemde yerleşik hayata geçişten sonra daha çok güneşten korunmak için pencerelerde küçük açıklıklar gibi pasif geleneksel çözümlerin üretildiği de görülmektedir (Şekil 2.1).



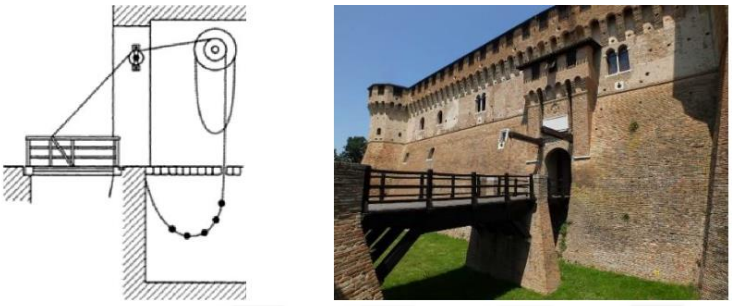
Şekil 2.1 Çatalhöyük MÖ 6.yy-7.yy (Anonim)

Roma'da MS 70'li yıllarda inşa edilen Collesum Arena'da ilk kez kinetik geri çekilebilir çatı sistemi örneği görülmüştür. İzleyici bölümünün üzerinin istenildiğinde kapatılması için *Velarium* adı verilen bir üst örtünün olduğu ve bu örtünün ipler ve makaralar yardımıyla hareket ettiği bilinmektedir (Şekil 2.2). Günümüze ulaşan direk kalıntıları bu düşünceyi destekler niteliktedir (National Geographic, 1992; Antoszkiewicz & Gupta, 2018).



Şekil 2.2 Roma'daki Colosseum ve hareketli çatısı (Escrig & Brebbia, 1996;Antoszkiewicz & Gupta, 2018)

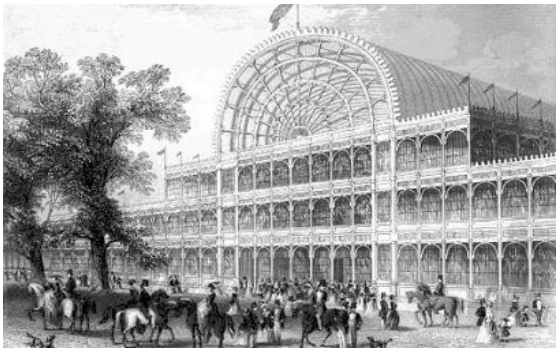
Orta Çağda ise etrafı hendekle çevrili kalelerde asma köprü uygulama örnekleri görülmektedir (Şekil 2.3). Hareketli köprülerin kullanımının yaygın örnekleri Orta Çağ kalelerinde görülmüş olsa da aslında Mısır'da M.Ö. 14.yy'da görüldüğüne dair kanıtlar mevcuttur (Koglin, 2003; Zuk & Clark, 1970).



Şekil 2.3 Orta çağ kalelerinde asma köprü (Koglin, 2003; Zuk & Clark, 1970)

O dönemde Avrupa mimarisinde camlarda görülen vitraylar ile güneş ışığı kontrolü sağlandığı yönünde kanıtlanmamış iddialar da mevcuttur. Duvarda büyük açıklık görme arzusuyla birlikte şekillenen gotik mimari adaptif cephelerin gelişiminde etkili olmuştur.

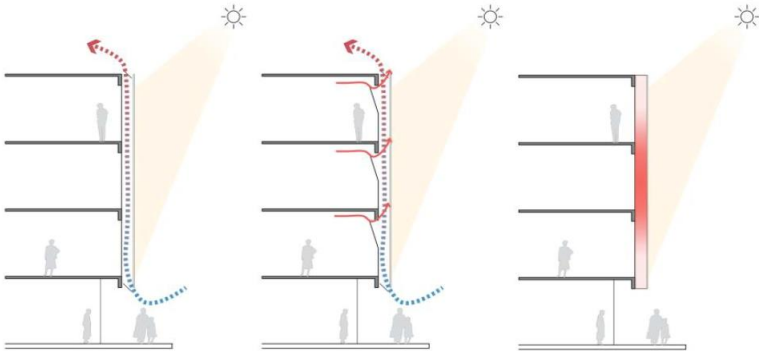
Adaptif cephelerin modern anlamda gelişimi 19.yy'a dayanmaktadır. Sanayi devrimi sonrasında geniş açıklıkları geçme ihtiyacı ile yapıda çelik ve cam kullanımı artmıştır. Cam dış ortamdaki olumsuz koşullardan korumanın ötesinde iç ile dış ortam etkileşiminde bütünlük sağlaması, doğal aydınlatmadan faydalanılması ve hafif bir malzeme olması sebebiyle yaygın kullanılmaya başlanmıştır. 1851 yılında Londra'da düzenlenen Büyük Sergi için 1851 yılında tasarlanan Crystal Palace (Şekil 2.4) cam ve çeliğin birlikte kullanıldığı önemli bir mimari eserdir (Linn, 2014).



Şekil 2.4 Crystal Palace cephesi (Arkitektuel, 2017)

19.yy'ın sonlarına kadar enerji ve kaynak kıtlığı konusunda endişe olmadığı için adaptif cephe uygulamaları kullanıcı ihtiyaçları ve kullanıcı konforunu sağlamaya yönelik olmuştur.

Özellikle enerji tüketimi kaygısı 20.yy.'daki mimarları çevreye duyarlı yaklaşımlar geliştirmek için motive etmiştir. Bu yüzyılda cephede cam kullanımın zaman içerisinde artması ile şeffaflaşan yapı kabukları iç mekân konforunda bazı sorunları beraberinde getirmiştir. Özellikle iç mekânda yaz ve kış aylarında istenmeyen ısıl kayıp ve kazançların dengelenmesini kontrol etmek güçleşmiştir. Cepheden beklenen estetik görünüm sağlanırken yapının enerji ve konfor gereksinimlerinin iyileştirilmesi için ikinci bir kabuk önerisi ortaya atılmıştır (Şekil 2.5). Buna göre cepheler ana kabuğun dışına ikinci bir kontrol sağlayan kabukla tasarlanacak, iki katman arasındaki boşluktaki hava yazın istenmeyen ısı kazancını azaltmak için cepheyi soğutma görevi görecektir. Soğuk kış aylarında ise bu boşlukta kalan hava ısınarak ısıl konforun sağlanmasına ve enerji tüketiminin azaltılmasına katkıda bulunacaktır. Ancak bu sistem ısıl konforun sağlanırken yetersiz doğal aydınlatmanın sağlanarak görsel konforun sağlanamaması gibi birçok dezavantaja sahiptir.



Şekil 2.5 Çift cidarlı cephe tasarımları (Souza, 2024)

Çift cidarlı cephelerin bu sorununa yönelik olarak 1980 yılının başında Mike Davies adında İngiliz bir mimar "the wall for all seansons" başlıklı makalesinde "çok değerlikli duvar" (polyvalent wall) teorisini ortaya atmıştır (Davies, 1981). Çok değerlikli duvar, iç ve dış ortam arasındaki enerji akışını kontrol etmek için cam içerisinde çok işlevli ince katmanlardan oluşan bir yapı elemanıdır. Soğurma, yansıtma, filtreleme ve iletim

mekanizması gibi birçok işlevi içerisinde barındırmaktadır. Duvar kontrol eden bir işlemciye bağlı olarak duyarlı bir şekilde çalışır ve kullanıcı gereksinimlerine ve çevresel isteklerine yanıt verir. Böylelikle enerji tüketimi iyileştirilirken yapısal konfor sağlanmaktadır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Çok değerlikli duvar (Davies, 1981)

Davis yapı kabuğunda katı ile şeffaf arasındaki ayrımı ortadan kaldırmayı hedeflemiştir. Davies'in bu fikri teoriden uygulamaya geçmemiş olsa da günümüzde cephe teknolojilerinin gelişiminde öncü olarak kabul edilmektedir (Hemmelgarn, 2015).

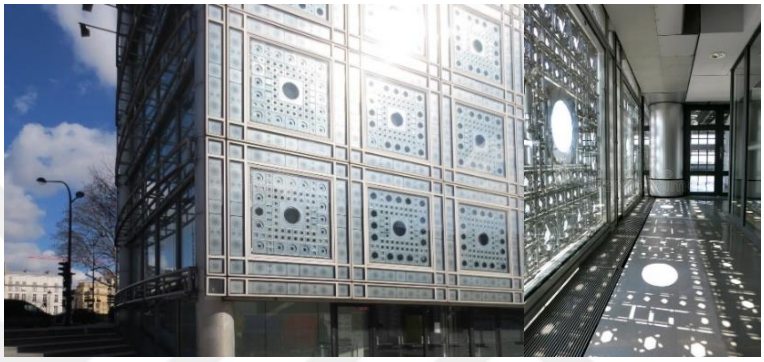
Heideri Matin ve Eydgahi 2020, *Factors affecting the design and development of responsive facades: a historical evolution* adlı makalelerinde adaptif cephelerin tasarımı ve geliştirilmesinde etkili olan faktörleri tarihsel bir perspektiften incelemişlerdir. Bu faktörleri sosyokültürel, teknolojik, ekonomik-politik ve çevresel faktörler olmak üzere dört başlık altında açıklamışlardır. Bu alanda yapılan çoğu araştırma adaptif cephelerin tasarımı, enerji performansı ve teknolojisini ele almaktayken adaptif cephelerin tarihsel gelişimin odaklanan az sayıda çalışma bulunmaktadır (Heidari Matin & Eydgahi, 2020).

Matin ve Eydgahi'nin çalışmalarında ele aldıkları faktörleri aşağıdaki şekilde özetlememiz mümkündür.

A) Sosyokültürel faktörler;

19. ve 20. yy.'daki izlenimcilik empresyonizm, gelecekçilik fütürizm yapısalcılık konstrüktivizm, dadaizm, modernizm, post modernizm gibi çeşitli sanat akımları sanatçıların bakış açısını sanattaki estetik tanımı vb. sosyokültürel motifleri etkilemiştir (Broeckmann, 2016; Simon vd., 2008; Smith, 2015). Tüm bunlar dolaylı olarak adaptif cephe sistemlerinin tasarımında da etkili olmuştur.

Örneğin jean Nouvel tarafından 80'li yıllarda Paris'te tasarlanan Arap Dünya enstitüsü binasının cephesinde Orta Doğu'da yüzyıllardır bina sakinlerini güneşten korumak ve mahremiyet sağlamak için kullanılan *mashrabbiya* adı verilen geleneksel kafes işçiliğinden ilham alınmıştır (Wilkinson & Wood, 2012). Bu yapı kültürel sembolü de yansıtan adaptif cephe tasarımının ilk örneklerinden biridir (Şekil 2.7) (Heidari Matin & Eydgahi, 2020).



Şekil 2.7 Arap Dünya Enstitüsü, Paris (Winstanley, 2011)

İzlenimcilik akımı ile sanatçılar doğada var olan hareketleri eserlerinde işlemeye başlayarak sanatta hareket kavramı ortaya çıkmıştır (Chen vd., 2015). 1920'li yıllarda kinetik sanat, Bauhaus etkisindeki çeşitli disiplinlerle bir araya gelerek çok disiplinli bir hal almıştır. Sanatta hareket kavramını o dönemlerde yayınlanan edebi eserlerde de görülmektedir. James Graham tarafından 1962 yılında yayımlanan The Thousond dreams of Stellavista adlı öyküde ve 1971 yılında yayımlanan Vermillion Sands romanında psikotropik ev diye adlandırdığı yeni bir kavram ortaya atmıştır. Psikotropik ev, kullanıcının ruh haline ve stres durumlarına göre fiziksel olarak tepki veren evlerdir (Kolarevic & Parlac, 2015). Graham'ın bu fikri mimarlık alanındaki hareket kavramını sanatsal bir boyuttan işlevsel bir boyuta taşımasıyla adaptif cephelerin gelişiminde önemli bir gelişme olarak görülmektedir (Heidari Matin & Eydgahi, 2020).

Ekonomik-politik faktörler;

Savaşlar, devrimler, yaptırımlar, enerji krizleri gibi çeşitli politik ve ekonomik olaylar adaptif cephelerin gelişimde etkili olmaktadır. 1973 yılında yaşanan OPEC petrol ihracatı ambargosu ile petrol fiyatları ciddi derecede artmış ve ekonomik krize sebep

olmuştur. Bu ve benzer olaylar insanları sınırlı enerjiyi verimli kullanabilecekleri sürdürülebilir yeni malzeme ve sistem arayışlarına yönelterek adaptif cephelerin gelişmesinde etkili olmuştur (Heidari Matin & Eydgahi, 2020).

Çevresel faktörler;

1960'lı yıllara gelindiğinde doğal kaynakların sınırlı olması nedeniyle çıkan kaygılar, fosil kaynakların maliyetlerindeki artışı gibi olaylar çevre hareketi, enerji krizi gibi kavramları doğurmuştur (Veliko & Thun, 2013). Yaşanan teknolojik gelişmelerle birlikte insanlarda çevre bilinci oluşmuş ve birçok ülke kendi yasar ve sertifika programlarını geliştirmeye başlamıştır. Bu bağlamda 1963'te Temiz hava yasası ve 1965'te su kalitesi ve motorlu araçlar hava kirliliği kontrol yasası çıkarılmıştır. 80'li yılların sonunda kurulan Amerikan Mimarlar Enstitüsü (AIA) ile bina tasarımlarında sürdürülebilir teknolojilere odaklanmayı teşvik etmek amaçlanmıştır. 90'lı yıllarda Birleşik krallık tarafından oluşturulan BREEAM sertifikası, 1998 yılında ABD tarafından oluşturulan LEED sertifikası gibi sertifikalarla yüksek performanslı bina tasarımları teşvik edilmiştir. 20. yy.'ın son yarısında yaşanan tüm bu olaylar, mimarları ve yapı bilimcilerini yeni yapı tasarımları, malzemeleri ve inşa yöntemlerinin keşfi için itici güç olmuştur. (Loonen vd., 2017)Böylelikle mimarlar enerji performansı odaklı adaptif cephe sistemleri geliştirmeye başlamışlardır (Carson, 2015; Heidari Matin & Eydgahi, 2020).

Teknolojik faktörler;

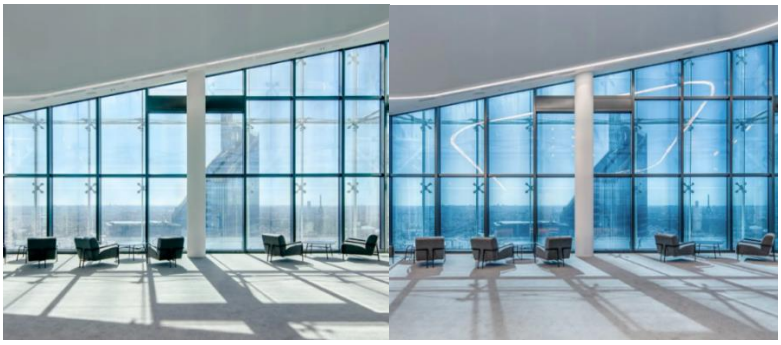
İkinci dünya savaşından sonra yaşanan teknolojik gelişmeler ve 1946 yılında bilgisayarın icadı, sanat ve mimariyi de etkilemiştir. Bu dönemden sonra 1947 yılında makinelerin insan bedeninin bir parçası gibi yeniden yorumlanması ile sibernetik bilimini ve etkileşim teorisi, konuşma teorisi, uyarlanabilir koşullu teori gibi fikirleri ortaya çıkmıştır (Galison, 1994). 1960'lı yıllara gelindiğinde sibernetik ve mimarlık birlikte kullanılmıştır. O yıllarda Gordon Pask *"The Architectural Relevance of Cybernetics"* başlıklı makalesinde mimarlık ve sibernetik kavramını birlikte ele alarak sibernetik tasarım teorisi fikrini ortaya atmıştır (Pask, 1969). Bu teoriye göre yapılar makine olarak değerlendirilmiş ve işlevsellik vurgulanarak kullanıcı gereksinimlerine göre performans odaklı tasarlanması hedeflenmiştir (Heidari Matin & Eydgahi, 2020).

20. yy.'da bina kabuklarının adaptif olması cephe mühendisliği, bina bilimindeki gelişmelerin ötesinde bilgisayar mühendisliği, sibernetik ve yapay zekadaki gelişmelerle de ilişkilidir. Yapı sistemlerinin davranışını, tasarımını ve kontrolünü anlamak için biyolojik modelleri referans alınmaya başlanmıştır. Yapı kabuğu denilen kavram canlılardaki deri ile ilişkilendirilerek enerji malzeme ve bilgi alışverişi yapabilen bir zar gibi düşünülmüştür. Bu düşünce yapı kabuğu tasarımlarındaki yaklaşım biçimini değiştirmiş, geleneksel yöntemlerden uzaklaştırmıştır.

20. yy. başlarında klima ilk kez bir evde kullanılmaya başlanmıştır. 20.yy.'ın ortalarına gelindiğinde ise gelişen cam teknolojilerindeki gelişmeler daha büyük ve enerji verimli pencere tasarımları yapılmasına imkân sağlamıştır. Termal konforun sağlanması ve enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik yeni yapı malzemeleri geliştirilmiştir.

1970'lerde yaşanan enerji krizleri ve sürdürülebilir enerji talebi alternatif enerji kaynakları arayışına yönlendirmiştir. Hem enerji tüketimini azaltmak hem de enerji sağlamak için güneş kontrolü sağlamaya yönelik çalışmalar önem kazanmıştır. Güneş enerjisini toplama fikri PV güneş panellerinin gelişmesine sebep olmuştur. İlk modern güneş pili 1954 yılında Bell laboratuvarında üretilmiştir ancak ilk uygulamalarındaki düşük verimlilikleri nedeniyle ticarileşmeye başlaması 1970'lere dayanmaktadır.1981 yılından itibaren PV paneller binalara entegre olmuş ve geliştirilmektedir. Binalarda ilk kez çatılarda ayrı bir bileşen olarak kullanılırken gelişen teknolojiyle doğrudan çatı kaplama malzemesi olarak kullanılabilmektedir. Yapılan çalışmalar yalnızca yatayda değil düşeyde de etkin bir biçimde kullanılabileceğini göstermiştir. 1990 yılından itibaren yapı cephesinde PV panel kullanımı yaygın hale gelmeye başlamıştır (Çelebi, 2002; Özdoğan, 2005).

1990'lı yıllardan itibaren elektrokromik ve akıllı camlar geliştirilmeye başlanmıştır. Elektrokromik camlar elektrik akımı kullanımı ile camın opaklığını veya saydamlığını ayarlayan ve böylelikle iç mekânda ısı ve ışık kontrolü sağlayan teknolojilerdir. Özellikle mahremiyet ve gizlilik kontrolü için kullanılmaktadır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Elektrokromik camın farklı durumlarda görünümleri (Saint-Gobain, 2024)

Adaptif cephelerin 21.yy'daki evrimi ise daha çok malzeme mühendisliği, bilgisayar mühendisliği, sibernetik ve yapay zekâ alanındaki gelişmelere dayanmaktadır (Kolarevic & Parlac, 2015; Veliko & Thun, 2013).

2.2 Adaptif cephelerle ilgili literatürdeki kavramlar

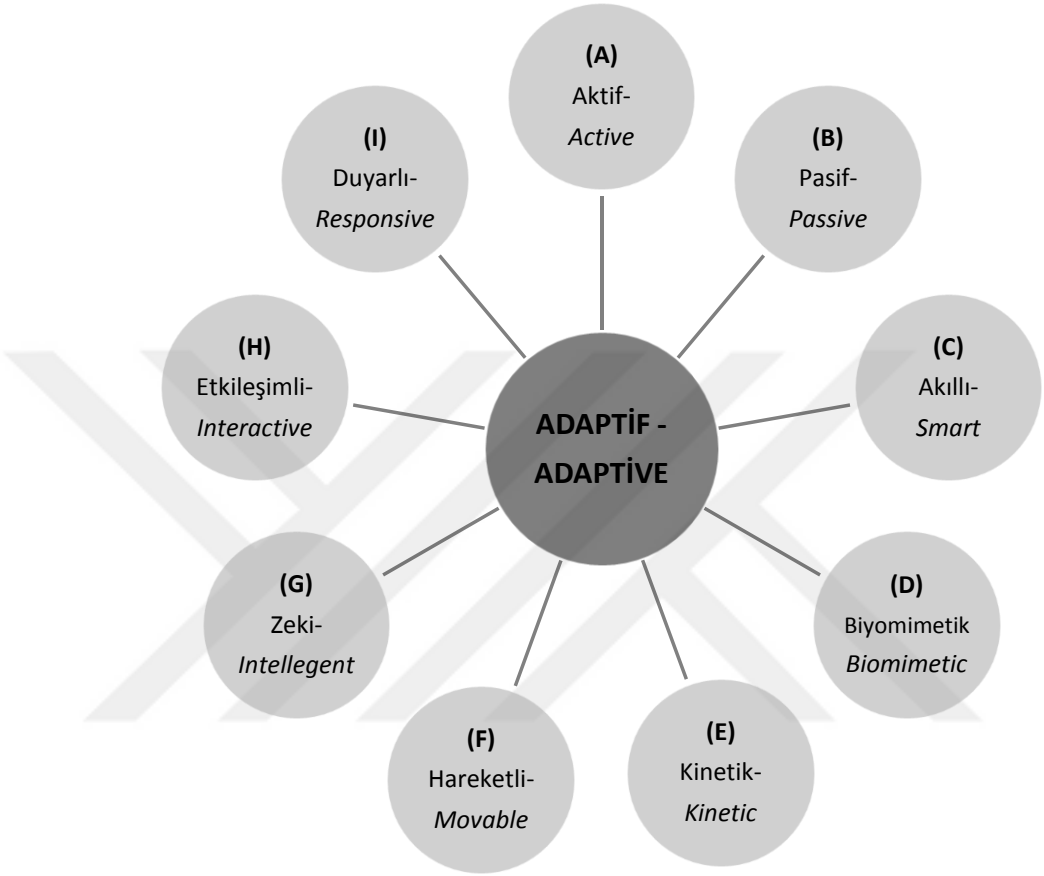
Mimarlık alanında yapılan son çalışmalara bakıldığında yapı kabuğu ve cephe bağlamında 'adaptif' kavramı ile literatürde benzer bazı terimler ile ilişkilendirilmiştir. Bu terimleri birbirinden ayıran temel motivasyon uyarlanma yaklaşımındaki farklılıklardır. Kolarevic bu kavramları eş anlamlı değil tamamlayıcı kelimeler olarak gördüğünü ifade etmiştir.

Romano ve arkadaşları 2018 yılında yaptığı bir çalışmada adaptif cepheyi tanımlamaya yönelik uluslararası bir literatür çalışması yapmıştır. Buna göre adaptif kelimesini aktif, gelişmiş, biyomimetik, kinetik, akıllı, etkileşimli, hareketli, duyarlı, akıllı, değiştirilebilir ve dönüştürülebilir olmak üzere 11 farklı kavramla ilişkilendirmiştir (Romano et al., 2018).

Tabadkani ve diğerleri ise (2021) *Design approaches and typologies of adaptive facades: A review* adlı makalelerinde adaptif cephe tipolojilerini aktif, pasif, biyomimetik, kinetik, zeki, akıllı, interaktif, hareketli, duyarlı, değiştirilebilir cepheler olmak üzere 10 başlık altında açıklamıştır.

Çalışmanın bu bölümünde Romano'nun (2018) ve Tabadkani'nin (2021) yaptığı araştırmalar referans alınarak, adaptif cephelerle ilişkili literatürde sıkça karşılaşılan terimler birleştirilmiş ve 9 kavram seçilmiştir. (Şekil 2.9). "Değiştirilebilir" ve

"dönüştürülebilir" terimleri ise daha az kullanıldıkları için analiz kapsamı dışında bırakılmıştır. Bu tercih, çalışmanın odak noktasını koruyarak literatürde öne çıkan kavramlara yoğunlaşmayı ve araştırmanın derinliğini artırmayı amaçlamaktadır.



Şekil 2.9 Adaptif kelimesi ile ilişkili kavramlar (Yazar tarafından geliştirilmiştir.)

A) Aktif cepheler

Yapının tükettiği enerji miktarını azaltmak ve iç mekân konfor koşullarını iyileştirmek amacıyla içsel ya da dışsal tepkilere kendiliğinden uyum sağlayan cephelerdir(Romano vd., 2018). Bunu yaparken iç mekân konforunu sağlamak zorunlu olmamakla birlikte, gelişmiş teknolojilere gereksinim duymazlar (Tabadkani vd., 2021b). Aktif cepheler, kullanıcı ihtiyaçlarına ve çevresel değişimlere hızlı bir şekilde tepki verebilir, böylece enerji verimliliği artırılabilir ancak karmaşık mekanizmalar içerdiği için bakım ve işletme maliyetleri genellikle yüksektir.

Örneğin Media TIC binası cephesinde, iç mekandaki ısı ve ışık kontrolünü sağlamak için dışarının ısısına karşı diyafram gibi şişip sönen ETFE panelleri kullanmaktadır. Pittsburgh'taki çocuk müzesinin cephesinde ise üstten menteşeli binlerce akrilik levha rüzgâra göre hareket ederek cephe iç mekânda dinamik bir gölgeleme sağlamaktadır. Bu örnek aynı zamanda kinetik ve etkileşimli özelliklere de sahiptir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 Aktif cephe örnekleri. Media-TIC (Arkitektuel, 2018), Pittsburgh çocuk müzesi (Archello, 2023)

B) Pasif cepheler

Pasif cepheler binalarda enerji verimli şekilde konforu sağlamak için dış ortam koşullarına karşı pasif tasarım çözümleri içeren cephelerdir. Bu cepheler enerji tüketmeden doğal kaynakları (güneş ışığı, rüzgâr) etkin bir şekilde kullanarak maliyetleri düşürülmesine katkı sağlamaktadır ancak çevresel değişimlere kendini doğrudan uyarlayamadığı için esneklik sınırlıdır. Çift cidarlı cepheler, trombe duvarı, havalandırmalı cephe gibi çözümler pasif cephe olarak gösterilebilir. (Şekil 2.11)



Şekil 2.11 Çift cidarlı cephe örneği, Düsseldorf City Gate Building (Yapı Kataloğu, 2023)

C) Akıllı (smart) cepheler

Tasarım disiplininde akıllı terimi sıklıkla malzeme ve cepheler için kullanılmaktadır. Addington ve Schodek'e göre akıllı malzeme; belirli çevresel tepkileri içeren içsel fiziksel özellik değişiklikleri veya harici enerji alışverişi yoluyla çalışan yerleşik teknolojik işlevlere sahip malzeme olarak tanımlanmıştır. Onlara göre akıllı malzemelerden beklenen özellikler; dolaysızlık (immediacy), geçicilik (transiency), kendini etkinleştirme (self-actuation), seçicilik (selectivity) ve doğrudanlık (directness)'tır (Addington & Schodek, 2005). Akıllı cephelerin en önemli özelliklerinden biri harici güç kaynağına ihtiyaç duymadan fiziksel özelliklerini ve/veya şeklini değiştirebilme veya enerji alışverişi yapabilme yeteneğine sahip olmasıdır. Ancak akıllı cephelerin kullanıcı ile etkileşimi yoktur (Tabadkani vd., 2021b).

Örneğin termobimetal, ısınınca deforme olarak hareket etme yeteneğine sahip ve sonradan eski haline gelebilen bir metal bir malzemedir(Furuto, 2012). Manuel Gea Gonzalez hastanesinin cephesinde ise fotokatalitik özellik gösteren TiO_2 kaplaması kullanılmıştır (Şekil 2.12). Gün ışığı ile etkileşime girerek çeşitli kimyasal reaksiyonlara giren TiO_2 kaplaması, üzerinde bulunan organik kirleticileri parçalayarak kendini temizleme yeteneğine sahiptir. Ayrıca bu kaplama sayesinde üzerinde biriken toz ve kir, yağmur suyu ve rüzgarla daha kolay temizlenmektedir (Bojovic, 2013).



Şekil 2.12 Akıllı cephe örnekleri. Bloom pavyonu (Bojovic, 2013), Manuel Gea Gonzalez Hastanesi (Zimmer, 2013)

D) Biyomimetik-biyo ilhamlı cepheler

Canlı davranışlarını ya da fizyolojisini biçimsel, şekilsel ya da işlevsel açıdan taklit etme davranışı cephelerde biyomimetik kavramını doğurmuştur. Biyomimetik cephe, doğadaki organizmaların yapı ve işlevlerinden ilham alınarak yapılan tasarımlardır. Bu tasarım, doğanın optimize edilmiş sistemlerinden ilham alarak yapılarda enerji verimliliği sağlamak çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunmak ve yapıların performansını artırmak için kullanılmaktadır. (Tabadkani vd., 2021b). Ancak doğal sistemleri taklit etmenin zor olması ve kullanıcı kontrolünün sınırlı olması bu cephelerin dezavantajı olarak söylenebilir Örneğin Hamburg'daki BIQ evinin cephesinde kullanılan biyoreaktörler sayesinde üretilen biyokütle enerjisi binanın tüm enerji ihtiyacı karşılamaktadır (Şekil 2.13)

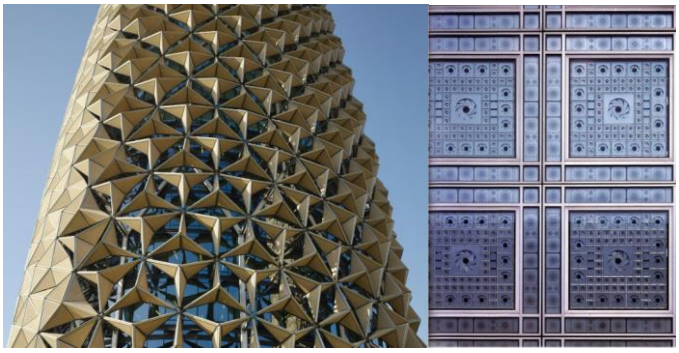


Şekil 2.13 Biyomimetik cephe örneği, BIQ evi, Hamburg (Architonic, 2013)

E) Kinetik cepheler

Çeşitli davranışlara hareket ederek fiziksel tepki veren değişen geometrilere sahip cephelerdir. Karmaşık mekanik sistemlerle bütünleşmiş şekilde çalışan dinamik cephelerdir. Bu cepheler hareketli parçalara sahip olduğundan değişen koşullara uyum sağlamada başarılı olabilir ancak karmaşık mekanik parçalar içeren teknolojilerde arızalanma ve bakım zorlukları yaşanabilir.

Örneğin Al Bahar Kuleleri'nin cephesinde ısı kazancını dengelemek amacıyla hidrolik sistemle açılıp kapanma hareketi yapan gölgeleme sistemi tasarlanmıştır Jean Nouvel tarafından tasarlanan Arap Dünya Enstitüsü binasının cephesinde ise güneş ışınlarına göre hareket eden diyaframlardan oluşan mekanik bir sistem kullanılmıştır (Şekil 2.14).

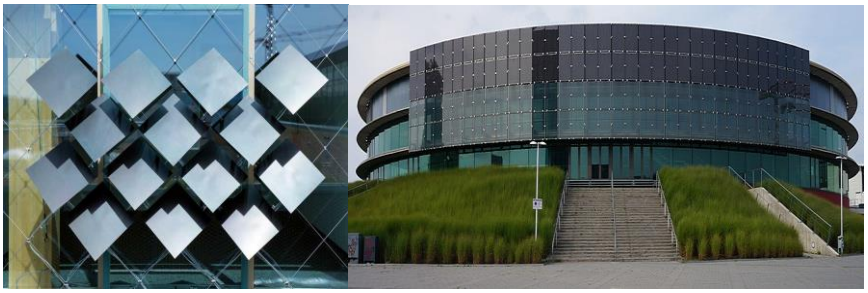


Şekil 2.14 Kinetik cephe örnekleri, Al Bahar kuleleri (Architizer, 2013), Arap Dünya Enstitüsü (Marzo, 2014)

F) Hareketli (movable) cepheler

Hareketli cepheler, genellikle yenilenebilir enerji üretimine odaklanarak çevresel koşullara ve güneşin konumuna hızla uyum sağlayabilen teknolojik cephelerdir. Fotovoltaik panellerin sıkça kullanılarak geliştirildiği bu tür cephelerde, yapısal veya kullanıcı konforunun kontrolü amaçlanır. Bu cepheler hareketli olmaları nedeniyle çevresel değişimlere uyum sağlamada başarılıdırlar ancak bunun için harici bir enerjiye ihtiyaç duymaları olumsuz bir özellikleridir.

Örneğin EWE Arena gibi büyük ölçekli bir projeye yılda 27 MWh üretebilen 200 m² fotovoltaik paneller entegre edilmiştir. Bu paneller, güneşin konumunu takip edebilen hareketli bir sistemle çalışmaktadır. Böylece enerji üretilirken çevresel koşullara daha etkin bir şekilde uyum sağlanmaktadır (Şekil 2.15).



Şekil 2.15 Hareketli cephe örnekleri. House of Natural Resources (Carocari, 2023), EWE Arena (WilfriedC, 2013)

G) Zeki (intelligent) cepheler

Zeki binalar, kullanıcı konforunu enerji etkin biçimde sağlamak için hem aktif hem de pasif tasarım stratejilerinin kullanan, zamanla öğrenme ve tepki verme yeteneğine sahip dinamik cephelerdir (Kroner, 1997;Wigginton & Harris, 2013). Sıklıkla akıllı-smart cepheler ile karıştırılmakta olan zeki cephelerin en büyük farkı cephenin muhakeme ve eylem yeteneğine sahip olmasıdır.

Zeki binalar akıllı malzeme ve bileşenlerin kullanımından çok yapının kendisinin akıllı olmasını ifade etmektedir (Kızıltoprak, 2019). Her ikisi de malzeme bazlı çalışıyor olmasına karşın zeki cephelerin bina otomasyonuna dahil olan algı sistemleri enerjiyi korumakta daha etkili bir yöntemdir. Bir başka değişle zeki cephelerin akıllı cephelerin gelişmiş hali olduğu söylenebilir (Caffrey, 1988; Romano et al., 2018; Tabadkani et al., 2021). Çift cidarlı cepheler çift camlı cephe, havalandırmalı cephe, kinetik cephe ve solar cephe gibi sistemleri kullanmaktadır. Zeki cepheler; yapay zekâ, sensörler gibi çeşitli teknolojilerini kullanarak çevresel verileri analiz etme ve kısa sürede tepki vermeleri sayesinde cephe performansını iyileştirebilir. Ancak sistem çoğunlukla teknolojiye bağımlıdır ve herhangi bir arızalanma durumunda işlevini yerine getiremeyebilir.

Örneğin Berlin'deki GSW Genel Merkezinde çift cidarlı cephe sistemi ve termal havalandırma bacaları kullanılarak yapının doğal havalandırması pasif olarak sağlanmaktadır (Şekil 2.16). Ayrıca cephedeki bu sistem manuel, mekanik ya da otomatik olarak kontrol edilebilmektedir (Tabadkani vd., 2021b).

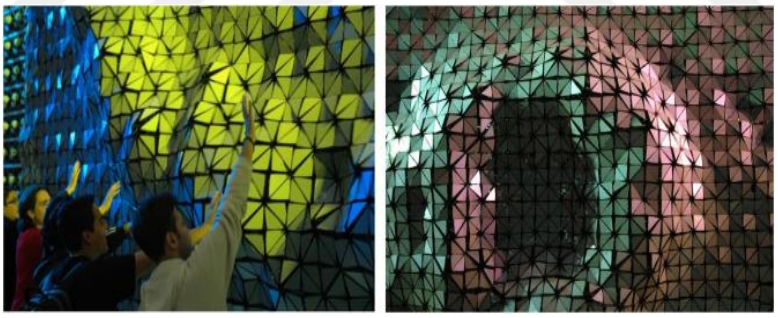


Şekil 2.16 GSW Genel Merkezi, Berlin, Almanya (Wigginton & Harris, 2013)

H) Etkileşimli (interactive) cepheler

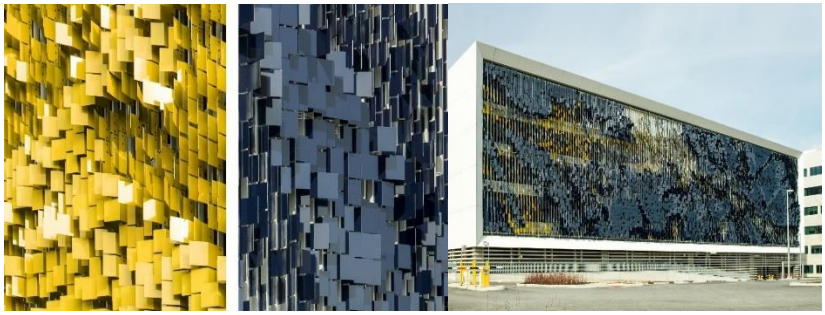
Etkileşimli cepheler genellikle bilgisayar tabanlı olarak sanat eserleri, enstalasyon gibi kullanıcı ile etkileşime giren cepheleri ifade etmektedir (Romano vd., 2018). Kullanıcı ile doğrudan iletişim kurduklarında sensör, mikro işlemciler ve bina otomasyon sistemlerini kullanmaktadırlar (Tabadkani vd., 2021b). Bu cepheler insan girdilerine göre eş zamanlı olarak kendini farklı şekillerde uyarlarken kullanıcı konforu ve enerji tasarrufu sağlayabilirler ancak bunu amaçlamazlar (Veliko & Thun, 2013). Bu sistemlerin avantajı kullanıcı ile etkileşime girmeleri sayesinde kişiselleştirilmiş bir deneyim sunmalarıdır. Ancak yüksek teknolojik sistemleri kullanılması tasarım ve bakım maliyetlerini yükseltebilir. Ayrıca sistemin çalışması için enerjiye gereksinim duyması da dezavantajlarından biridir.

Hyposurface, sesler ve insan hareketleri gibi çeşitli insan tabanlı girdilere bağlı olarak eş zamanlı hareket eden üçgen metal plakalardan oluşmaktadır (Şekil 2.17). Çok sayıda pnömatik pistonun hareketi ile dönüşen cephe etkileşimli bir enstalasyon örneğidir (Tabadkani vd., 2021b).



Şekil 2.17 HypoSurface, Ulusal Enerji Müzesi, İspanya (Tabadkani vd., 2021b)

ABD' de yer alan bir hastaneye ait otoparkın cephesinde ise farklı açıdaki mafsallı metal panellerden oluşan etkileşimli bir cephe tasarlanmıştır. Bu cephe arabaların hızlarına göre kendini uyarlayarak etkileşime giren dinamik bir cepheye sahiptir (Şekil 2.18). Farklı açılarda ve farklı renklerde görünen sanatsal bir cephe niteliği taşımaktadır (ArchDaily, 2014).



Şekil 2.18 ABD'deki bir hastane otoparkının cephesi (ArchDaily, 2014).

I) Duyarlı (responsive) cepheler

Çevresel etkilere kayıtsız kalamayan cephe türü olarak tanımlanan duyarlı cepheler, eş zamanlı sensör, akıllı malzeme ve otomasyon sistemleri kullanmaktadır. Gün ışığı, sıcaklık, nem, kirlilik gibi çevresel etkilere karşı iç mekânda özellikle görsel ve termal konforun yönetilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Romano vd., 2018). Negroponte'ye (1975) göre duyarlı cepheler basit ya da karmaşık hesaplamalar sonucunda mikro ya da makro değişiklikleri başlatan aktif bir cephedir. Bu cepheler hem kullanıcı hem de çevresel etkilere karşı kendini uyarlayan cephelerdir ve bunu yaparken sensör ve aktüatörleri kullanabilir. Kullanıcı konforunun sağlanmasında ve yapının enerji tüketiminin azaltılmasında aktif rol oynayan duyarlı cepheler, akıllı bina kaplamalarıyla benzer bir yaklaşım sergiler. Bir başka değişle akıllı malzemeleri, otomasyon sistemlerini, manuel müdahaleleri içerir. (Velikov&Thün, 2013). Etkileşimli, zeki (intelligent), akıllı (smart) özellikler bu cephelere dahil edilebilir. Bu cepheler çeşitli teknolojileri kullanmaları nedeniyle dış uyaranlara karşı uyum sağlamada iyi bir performans göstermektedir ancak sensörler, aktüatörler ve otomasyon sistemlerinin kullanımı, tasarım ve inşaat maliyetlerini artırmaktadır. Ayrıca bu sistemlerin çalışmak için enerjiye gereksinim duymaları ve düzenli bakım gerektirmeleri diğer dezavantajlarındandır.

Örneğin Arap Dünya Enstitüsü binasının cephesinde kullanılan lensler ışığa duyarlı olarak açılıp kapanma hareketi yapmaktadır. Kiefer Technic Showroom'da ise sensörler belli sıcaklık değerlerine göre katlanarak kayma hareketi yapmaktadır. Duyarlı cephelerde genellikle kinetik sistemler kullanılmaktadır (Şekil 2.19).



Şekil 2.19 Duyarlı cephe örnekleri. Arap Dünya Enstitüsü(Marzo, 2014), Kiefer Technic Showroom (Vinnitskaya, 2010)

2.3 Adaptif cephelerin sınıflandırılması

Bu bölümde adaptif cepheler; çevresel uyaranlara verilen tepkiye göre, uygulama ölçeğine göre, adaptasyon ölçeğine göre, kontrol prensibine göre, kullanılan teknolojiye göre, tepki verme süresine göre ve gelecek vaat etmesine göre olmak üzere yedi başlık altında sınıflandırılarak açıklanmıştır.

2.3.1 Çevresel uyaranlara verilen tepkiye göre adaptif cepheler

Adaptif cepheler kullanıcı konforu sağlamak (iklimsel konfor, görsel konfor, işitsel konfor), enerji üretmek, kullanıcı ile etkileşim sağlamak veya estetik gibi bir veya birden fazla amaca hizmet etmektedir. Adaptif cepheler bu amaçların gerçekleşmesi için cephe; *gün ışığı, dış ortam sıcaklığı, nem, ses, rüzgâr, kirlilik, kullanıcı* gibi çevresel uyaranlara farklı tepkiler göstererek uyum sağlamaktadır. Çevresel uyaranlar adaptif cephelerin performans değerlendirilmesinde etkili olan unsurlardır. Bunlar "Adaptif cephelerden beklenen performans kriterleri" bölümünde detaylı olarak ele alınmaktadır.

Adaptif cepheler, enerji akışını azaltmayı amaçlayan *önleme(preventetion)*, enerji akışına izin veren *kabul etme (admission)*, ya da enerji akışından kaçından kaçınan *reddetme(rejection)* veya ortam koşullarına bağlı olarak uygun zaman ve yönde enerjinin toplanması ve sirküle edilmesine dayanan bir enerji yönetim modeli olan *toplama ve dönüştürme* gibi çeşitli tepki fonksiyonlarını içermektedir (Loonen ve diğ, 2015).

Cephenin amacı ile tepki fonksiyonu doğrudan ilişkilidir (Loonen vd., 2013). Örneğin termal konforun sağlanması söz konusu olduğunda cephe güneş kazanımlarını önleme, reddetme, kabul etme ya da toplayıp modüle etme gibi bir davranışta bulunmaktadır. Enerji üretimi söz konusu olduğunda ise rüzgâr veya gün ışığını toplamak ve elektrik ya da termal enerjiye dönüştürmek söz konusudur (Loonen ve diğ, 2015).

Bu bağlamda adaptif cepheler çevresel uyaranlara; özellik değişimi, hareket ya da enerji üretimi olmak üzere üç şekilde tepki gösterdiği söylenebilir. Adaptif cepheler gün ışığı, rüzgâr, ses gibi dış uyaranları önleme, reddetme fonksiyonlarını kullandığında *özellik değişimi* ya da *hareket* olarak; enerjiyi toplama ve onu dönüştürme fonksiyonunu kullandığında *enerji üretimi* şeklinde tepki göstermektedir.

Çizelge 2.1 Adaptif cephelerin verdikleri tepkiye göre sınıflandırılması (Yazar tarafından düzenlenerek oluşturulmuştur)

Adaptif cephelerin verdikleri tepkiye göre sınıflandırılması	özellik değişimi
	hareket
	enerji üretimi

2.3.2 Uygulama ölçeğine göre adaptif cepheler

Adaptif cephelerin davranışını inceleyerek sistematik karakterizasyonunu sağlamayı hedefleyen ve bir Avrupa Birliği (AB) girişimi olan COST TU1403 çalışmalarına göre adaptif cepheler uygulama ölçeği olarak *malzeme*, *bileşen* ve *sistem* olmak üzere üç başlık altında sınıflandırılmıştır (Çizelge 2.2). Bu sınıflandırmayı yapmaktaki temel amaç adaptif cephe performans değerlendirmesi yapmadan önce adaptif cephede kullanılan teknolojileri belirlemek ve açıklamak olduğu ifade edilmiştir (L. Aelenei vd., 2015).

Loonen ve diğ. (2015), makalelerinde cepheler için sınıflandırma stratejilerine genel bir bakış sağlamayı amaçlayan alandaki en kapsamlı çalışmalardan biri olan COST Eylemi TU1403 isimli sınıflandırma yaklaşımı üzerine durmuştur. Bu eylem prensibine göre, adaptif cepheler teknolojilere (malzeme ve sistemler) ve kullanım amaçlarına göre kategorize edilerek, tepki verme işlevlerine, çalışma kapasitelerine, tepki süresine,

malzeme ve sistemlere, görünürlüğe ve mekânsal ölçeğe göre sınıflandırılmıştır (Başarır & Altun, 2017).

Bu bağlamda incelendiğinde sistem seviyesinde uyarlılık barındıran cephelerde, sistemin bütünü dâhilindeki bileşenler ve malzemeler ile cephe sistemleri dış etkilere yanıt vermektedir. Alt seviye olan bileşen ve malzeme seviyesinde uyarlılık barındıran cephelerde ise çevresel koşullara yanıt malzeme ya da bileşen seviyesinde gerçekleşmektedir (Loonen vd., 2017).

Çizelge 2.2 Adaptif cephelerin uygulama ölçeğine göre sınıflandırılması (Loonen vd., 2015, 2017)

Adaptif cephelerin uygulama ölçeğine göre sınıflandırılması	malzeme
	bileşen
	sistem

2.3.3 Adaptasyon ölçeğine göre adaptif cepheler

Adaptasyon ölçeğine göre adaptif cepheler makro ve mikro olarak iki başlık altında sınıflandırılmaktadır (Çizelge 2.3). Çoğunlukla cephede hareketli parçalar yardımıyla sağlanan adaptasyon makro ölçek olarak kabul edilmektedir. Kinetik, aktif, hareketli, duyarlı cepheler genellikle makro düzeyde adaptasyon sağlayan cephelerdir. Mikro düzey ise doğrudan malzemenin moleküler yapısı ve deformasyonuna bağlı olarak uyum sağlayan cepheleri ifade etmektedir. Genellikle malzemenin optik veya termo fiziksel özelliklerinin değişimine dayanmaktadır. Akıllı (smart) ve interaktif/etkileşimli cepheler mikro düzeyde uyum sağlayan cephelerdir (Attia vd., 2015b).

Çizelge 2.3 Adaptif cephelerin adaptasyon ölçeğine göre sınıflandırılması (Loonen vd., 2013)

Adaptif cephelerin adaptasyon ölçeğine göre sınıflandırılması	Makro
	Mikro

2.3.4 Kontrol prensibine göre adaptif cepheler

Adaptif cepheler ışık, sıcaklık, nem vb. fiziksel çevre ve kullanıcı verilerine göre yapının enerji akışını düzenlemek, kullanıcı konforunu sağlamak veya kullanıcı ile etkileşime geçmek için akıllı malzemeler, bileşenler, sensörler, aktüatörler ve bilgisayar kontrollü işlemciler kullanmaktadır. Sensörler gün ışığı, sıcaklık, hareket değişimi gibi verileri algılayan önemli bir unsurdur ve adaptif cephe sistemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Adaptif bir sistem önceden belirlenmiş verileri ya da sensörler tarafından algılanan verileri ya da ikisini de kullanarak tepki verebilir. (El Sheikh, 2011).

Adaptif cephe sistemlerinde çalışma prensibi şu şekildedir;
Sensörler ya da malzeme tarafından dış uyaran algılanır. İlgili girdi malzemenin kendisi (içsel) veya kontrol sistemine (dışsal) iletilir. Kontrol sistemi önceden belirlenmiş ya da öğrenmiş olduğu verilere göre nasıl tepki verileceği konusunda karar alır. Kontrol sisteminden gelen karar malzemenin kendisi ya da aktüatörler tarafından veriden fiziksel harekete çevrilir ve cephe tepki gösterir.

Tüm bu tepkiler kontrol prensibi olarak içsel (dahili) kontrol ve dışsal (harici) kontrol olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilmektedir. İçsel kontrol çevresel girdilere göre otomatik olarak tetiklenen adaptif davranışı ifade etmektedir. Başka bir deyişle kendi kendini ayarlama davranışıdır. Genellikle malzeme tabanlı kontrol söz konusudur. Dışsal kontrol ise cephenin kendisini aktif olarak uyarlaması için dış uyaranların sağladığı verilerin sensörler tarafından algılanması, işlemci (kontrolörler) tarafından işlenmesi ve sonrasında aktüatör tarafından alınacak eylemleri içeren bir kontrol stratejisidir. Dışsal kontrol stratejileri merkezi ve merkezi olmayan kontrol olarak iki alt başlık altında detaylandırılmaktadır (Çizelge 2.4).

Çizelge 2.4 Adaptif cephelerin kontrol prensibine göre sınıflandırılması (D. Aelenei vd., 2016; Loonen vd., 2013, 2015)

Adaptif cephelerin kontrol prensibine göre sınıflandırılması	İçsel kontrol
	Dışsal kontrol

Dışsal kontrolle kıyaslandığında içsel kontrol stratejisi enerji tüketimi olmadan anında eylemin gerçekleşmesine imkân tanır ve bu yüzden düşük bakım ve işletim maliyetlerine sahiptir ancak adaptasyon sınırlıdır ve kullanıcı müdahalesine izin vermemektedir. Kontrol stratejilerinde içsel kontrol stratejileri pasiflikle, dışsal kontrol ise aktif olmakla ilişkilendirilebilecek olsa da Loonen ve diğ. (2015) bunu tercih etmemektedir. Bunun sebebini yüksek yalıtımlı ve hava geçirmez dış kabuk anlayışı olan pasif ev yaklaşımı ile PV modül veya HVAC sistemlerin entegre edildiği aktif sistem çağrışımının karıştırılabileceği olduğudur. Yani aktif/pasif kavramlarının içsel/dışsal kontrolü tam olarak ifade etmediğini ifade etmişlerdir.

2.3.5 Kullanılan teknolojiye göre adaptif cepheler

Adaptif cephe sistemleri kullanılan teknolojiye göre pasif ve aktif teknolojiler olmak üzere iki başlık altında incelenmektedir. Sıcaklık, bağıl nem, güneş radyasyonu ve benzeri çevresel uyaranlara tepki olarak kendi kendini ayarlayabilme yeteneği olan sistemler "pasif "sistemler olarak tanımlanmaktadır. Literatürde genellikle algılayıcılara (sensör), işlemcilere ve aktüatörlere dayalı kontrol sistemleri, "aktif" sistemler olarak tanımlanmaktadır. Bu cepheler çalışmak için gerekli olan enerjiyi kol gücü ya da elektrik gücü ile karşılayan sistemlerdir (Çizelge 2.5)

Çizelge 2.5 Kullanılan teknolojiye göre adaptif cephelerin sınıflandırılması (Heidari Matin & Eydgahi, 2022)

Kullanılan teknolojiye göre adaptif cepheler	pasif teknoloji	pasif teknoloji
		malzeme tabanlı teknolojiler
	aktif teknoloji	mekanik teknolojiler
		elektro-mekanik teknolojiler
		bilgi teknolojileri

Pasif teknolojiler malzeme tabanlı teknolojileri ve pasif teknolojileri kapsamaktadır. Pasif teknolojiler elektrik veya manuel kol gücü olmadan rüzgâr, nem, gün ışığı gibi doğal kaynakların gücü ile etkileşime giren teknolojilerdir. Düşük bakım ve maliyetleri ile özellikle estetik ifadelerde ve minimalist sanat eserlerinde kullanıcı ile etkileşime girmek için cephede tercih edilmektedir. Elektromekanik güçten bağımsız olmalarına

rağmen kontrol edilemiyor olmaları bu teknolojinin en büyük dezavantajlarından birisidir.

Malzeme bazlı teknolojilerde malzeme tarafından algılama, kontrol ve tepki vardır. Yaygın kullanılan teknolojiler faz değiştiren malzemeler, elekroaktif polimerler, termobimetaller gibi şekil hafıza alaşımlı bileşen ve polimerlerdir.

Konuyla ilgili olarak Fox ve Yeh 2000 yılında yaptığı çalışmada adaptif cepheleri malzeme düzeyinde inceleyerek özellik değiştiren ve enerji değiştiren olmak üzere iki türe ayırmıştır (Çizelge 2.6).

Çizelge 2.6 Adaptif cephelerin malzeme düzeyinde sınıflandırılması (Fox ve Yeh, 2000; Addington ve Schodek, 2005)

Türler	**Örnekler**
Tür 1: Özellik değiştiren malzemeler *Malzemenin optik, termal, kimyasal, mekanik, elektriksel veya manyetik özelliklerden bir veya birinin değiştirmesi*	- Renk ve optik özellik değiştiren malzemeler (Fotokromik malzemeler, Termokromik malzemeler, Elektrokromik malzemeler, Mekanokromik malzemeler, Kemokromik malzemeler) - Faz değiştiren malzemeler - İletken polimerler - Reolojik özellik değiştiren malzemeler - Sıvı kristal malzemeler
Tür 2: Enerji değiştiren malzemeler *Malzemenin enerjiyi bir formdan başka bir forma dönüştürebilmesi*	- Işık yayan malzemeler (Fotolüminans ve elektrolüminans) - Elektrik üreten malzemeler (PV malzemeler, Termo-elektrik malzemeler, Piezo-elektrik malzemeler) -Şekil hafızalı alaşımlar

Özellik değiştiren malzemeler, optik, termal, kimyasal, mekanik, elektriksel veya manyetik özelliklerden bir veya birinin değiştirerek çevreye uyum sağlayan malzemelerdir. Renk ve optik özellik değiştiren termokromik, elektrokromik vb. malzemeler, faz değiştiren malzemeler, iletken polimerler, reolojik özellik değiştiren malzemeler ve sıvı kristal malzemeler bu türün örnekleridir.

İkinci tür olan enerji değiştiren malzemeler ise enerjiyi bir formdan başka bir forma dönüştürerek çevreye uyum sağlamaktadır. Bu gruba ışık yayan malzemeler, elektrik üreten PV malzeme, piezo-elektrik malzeme vb. malzemeler ve termobimetal gibi şekil hafızalı alaşımlar dahil edilmektedir.

Aktif teknolojiler başlığı altında; mekanik teknolojiler, elektro-mekanik teknolojiler ve bilgi teknolojileri yer almaktadır. Mekanik teknoloji elektrik olmadan kol gücü ile manuel olarak çalışan teknolojilerdir. Bu sistemlerin bileşeni olarak; kablo, dişli, çark, makara, menteşe, tekerlek vb. araçlar kullanılmaktadır. 1947 yılında tasarlanan Kaufman House'da ilk defa kol gücü ile çalışan panjurlar kullanılmıştır. Bu örnek literatürde mekanik teknolojiye dayanan ilk adaptif cephe örneği olarak gösterilmektedir.

Elekro-mekanik teknolojiler mekanik teknolojilerin uzaktan kontrolüne imkân tanıyan elektrikli cihazların entegresinden oluşan cephelerdir. İlk örnekler kol gücü ile çalıştırılan panjurlara uzaktan kontrol entegre edilerek kullanılmıştır. Elektromekanik teknolojiler hidrolik, pnömatik ya da motor bazlı sistemlerden oluşabilir.

Bilgi teknolojileri sensör ve kontrol sistemlerinden oluşmaktadır. Sensör tarafından algılanan veri mikrokontrolörler tarafından değerlendirildikten sonra uygun cevap aktüatörlere gönderilir ve cephe tepki verir. Bilgi teknolojileri, malzeme bazlı, motor bazlı, hidrolik veya pnömatik sistemlerden oluşabilir.

2.3.6 Tepki verme süresine göre adaptif cepheler

Yüksek performanslı adaptif cephelere ulaşmak için binanın ısıtma, soğutma, havalandırma gibi iklimlendirme sistemleri ve aydınlatma sistemlerini kontrol edebilmek önemlidir. Bu nedenle adaptif cephelerde kullanılan bazı yaygın teknolojiler mevcuttur. Adaptif cepheler gölgeleme, yalıtım, değiştirilebilir cam, faz değiştiren malzeme (PCM), güneş tüpleri, binaya entegre fotovoltaik panel, şekil hafızalı alaşımlar, kinetik sistemler vb. bir veya birden çok teknolojiyi kullanmaktadır. (Attia vd., 2018)

Kullanılan teknoloji yapının adaptasyon süresini ya da tepki verme süresini etkilemektedir. Tepki süresi özellikle kullanıcı konforu ile doğrudan ilişkilidir. Cephe yapı yaşam döngüsü boyunca sürekli değişen farklı dış ortam koşullarına maruz kalmaktadır. Bu nedenle değişen koşullara adaptasyon hızı kullanılan teknoloji ve tasarım kararlı ile ilişkilidir. Örneğin rüzgârın yönü, hızı gibi doğadaki anlık dalgalanmalara göre inşa edilmiş kinetik cepheler ya da kullanıcı ile etkileşime giren etkileşimli cephelerde tepki süresi saniyedir. Gün ışığı ve bulutlanma düzeyine bağlı olarak özellikle termo-optik özellik değişimine bağlı olarak akıllı cam teknolojileri dakika düzeyinde cephedeki şeffaflık oranını değiştirerek uyum sağlamaktadır. Ancak güneşin açısal konumu değişikliğine bağlı olarak güneşi takip eden bileşen ve sistemler saat düzeyinde uyum sağlamaktadır. Yapı kullanıcıları genellikle günlük rutinleri takip eder ve bu yüzden düzen her 24 saatte bir tekrarlanabilir. Bu yüzden adaptif cepheler günlük düzeyde uyum sağlayabilir (Çizelge 2.7).

Çizelge 2.7 Tepki verme süresine göre adaptif cephelerin sınıflandırılması (Attia vd., 2015b; Loonen vd., 2015; Romano vd., 2018)

Tepki verme süresine göre adaptif cepheler	saniye
	dakika
	saat
	günlük
	mevsim
	diğer

2.3.7 İnovatif teknolojileri içeren adaptif cepheler

Attia ve arkadaşları adaptif cepheleri "Gelecek vaat eden teknolojiler içeren adaptif cepheler" ana başlığı altında incelemiştir. Bir AB projesi kapsamında gerçekleştirilen çalışmada gelecek vaat eden teknolojiler başlığı altında adaptif cepheleri dört grupta toplamıştır. İlki kromojenik cepheler olan cephelerde yaygın olarak termokromik camlama, elektrokromik camlama ve sıvı kristal teknolojileri kullanılmaktadır.

İkinci grup dinamik gölgeleme sağlayan cephelerdir. Bu cephelerde gün ışığını kontrol etmeyi amaçlayan stor, jaluzi, panjur veya doğal havalandırmalı cephe kullanılan

tasarımlardır. Güneş enerjisiyle aktif olan cephelerde binaya entegre PV paneller (BIPV), faz değiştiren malzemeler (PCM), yeşil cepheler ve çift cidarlı cepheler dahil edilmiştir.

Son grup yapıya dolaylı olarak (dış cephe ile iç ortam arasında tampon görevi gören boşluktan) giren havayı kontrol eden aktif havalandırmalı cepheleri veya yapı içerisine doğrudan giren havayı kontrol eden otomatik çalıştırılabilen pencereleri içermektedir (Çizelge 2.8).

Çizelge 2.8 Gelecek vaat eden uyarlanabilir cephe sistemleri ve kullanılan teknolojiler (Attia ve diğ, 2020)

	Kromojenik cepheler	**Dinamik gölgeleme sağlayan cepheler**	**Güneş enerjisiyle aktif olan cepheler**	**Aktif havalandırmalı cepheler**
Teknolojiler / malzemeler / sistemler	Termokromik camlama	Stor	Binaya entegre PV paneller (BIPV)	Aktif havalandırılan cepheler
	Elektrokromik camlama	Jaluzi	Faz değiştiren malzemeler (PCM)	Otomatik çalıştırabilen pencereler
	Sıvı kristal teknolojileri	Panjur	Yeşil cepheler	
		Doğal havalandırmalı cephe	Çift cidarlı cepheler	

2.4 Adaptif cephelerden beklenen ayırt edici performans özellikleri

Adaptif cephelerin en bariz özelliği çok işlevli olmalarıdır. Literatürde adaptif cephelerin en önemli işlevleri konusunda iki önemli fikir birliği mevcuttur. Bunlar enerji yönetimi oluşturmak ve yapı kullanıcılarının konfor ve sağlık gereksinimlerini iyileştirmektir. Ancak çoğu zaman bu iki işlevi dengelemek zor olmaktadır. Örneğin gün ışığından yüksek düzeyde fayda sağlanmak istendiği durumlarda cephede aşırı ısınma problemini önlemek için ilave soğutma ihtiyacı doğabilir. Bu da enerji tüketiminin azaltılmasının önünde engel oluşturmaktadır. Ayrıca aynı ortamda kullanıcı gereksinimlerindeki farklılıklar adaptif cephelerin performansını etkilemektedir. Dağıtık

kontrol stratejileri kullanılması bu sorunun çözümüne yardımcı olabilmektedir. Adaptif cephelerden beklenen performans kriterlerindeki bir diğer sorun kullanıcı ile karar veren sistem arasındaki uyumsuzluklardır. Kullanıcı müdahalesine izin veren adaptif cephelerde bile müdahale ile istenen düzeye gelmede parametreler arasında denge sağlanamayabilir (Loonen vd., 2015).

Adaptif cephelerden beklenen performans kriterleri cepheden beklenen amaç ile yakın ilişkilidir. Örneğin cepheden beklenti gün ışığından yararlanarak enerji elde etmek ise tasarlanan sistemin adaptif cephenin enerji performansını iyileştiriyor olması beklenir. Termal konforun istendiği başka bir senaryoda ise aktif sistemle çalışan ancak dinamik gölgeleme sağlayan bir sistem kullanıldığında cephenin kullanıcı konforunu sağlaması birincil önceliktir. Bu nedenle tüm adaptif cepheler için kesin bir performans gereksiniminden bahsetmek söz konusu değildir (Attia vd., 2018).

Bir cepheden beklenen performans kriterleri bağlamında ele alındığında ve statik cephelerle kıyaslandığında adaptif cephelerden beklenti iç ortamı dış ortamın istenmeyen etkilerinden korumanın yanı sıra dış ortam verilerini ve enerji akışlarını beklentiler doğrultusunda yönetmektir.

Adaptif cephelerin performansına etki eden bazı dış ortam uyaranları aşağıda listelenerek açıklanmıştır.

Gün ışığı ve ısı;

Güneşin konumu ve şiddeti adaptif cephelerin performansına etki eden en önemli faktörlerden biridir. Gün ışığının kontrolsüz iç mekâna girmesi istenmeyen ısı kazançlarına ve parlamaya sebep olabilmektedir. Bu nedenle güneşe göre uyum sağlayan adaptif cephe tasarımlarının yapılması termal ve görsel konforun sağlanması için önemlidir.

Adaptif cephenin tasarımı bulunduğu yere ve projeye göre özgün olmalıdır. Gün ışığının cephede her yüzeye eşit yoğunlukta etki etmediği, günlük ve yıllık olarak değişkenlik gösterdiği hesaplanarak tasarlanmalıdır. Gün ışığı kontrolü sağlamak

amacıyla sıklıkla kullanılan teknolojiler stor, jaluzi, sıvı kristal teknolojileri ve kromik cam çeşitleridir (Attia vd., 2018).

Gölgeleme sistemlerinin tasarlanması iç ortamda görsel ve termal konfor koşullarının sağlanması için önemlidir. Ancak bazı durumlarda beklentiler çakışabilmektedir. Örneğin yaz aylarının yaşandığı sıcak bir mevsimde yapıya öğle saatlerinde güneş en dik açıda düşmektedir. Bu iç ortamda istenmeyen ısı kazançları sağlayarak yapının aşırı ısınmasına neden olmaktadır. Kullanılan malzemeler veya gölgeleme sistemleri termal konforun iyileştirilmesine katkıda bulunulabilir. Ancak bu durum gün ışığı kazancını azalttığı için iç ortamın doğal aydınlatılmasını olumsuz etkiler ve görsel konfor koşullarını sağlamayabilir.

Gün ışığından kazanılan ısıyı kontrol etme amacıyla tasarlanan adaptif cephe tasarımlarında kullanılan gölgeleme bileşenleri, malzeme tabanlı, manuel ya da motor tabanlı kontrol teknolojiye sahip olabilir. Yapılarda istenmeyen gün ışığı radyasyonundan yararlanmak için termal enerjiyi dönüştüren ve depolayan fotovoltaik panel, biyoreaktörler vb. bileşenler kullanılmaktadır. Cepheye fotovoltaik panel veya yeşil cephe entegre edilebileceği gibi çift cidarlı cephe sistemlerinden de faydalanılabilir. Ayrıca faz değişim malzemeleri ile de gün ışığı kontrolü sağlanabilir (Attia vd., 2015b).

Rüzgâr;

Rüzgâr hızı ve yönü cephede doğal havalandırma sağlayarak ısıl konforun ve iç ortam hava kalitesinin iyileştirilmesinde etkilidir. Cephede rüzgârdan aktif ve pasif olarak iki şekilde faydalanılmaktadır. Enerji elde etmek söz konusu olduğunda cephede rüzgâr türbinleri olan aktif bir sistem tasarlanabileceği gibi mekanik sistemlerle inşa edilmiş çift cidarlı bir cephe pasif olarak doğal havalandırmanın sağlanmasına ve mekânın ısı kontrolüne katkıda bulunmaktadır. Ayrıca kinetik bir sisteme sahip, rüzgâra göre farklı şekillerde desenler oluşturan bir dış cephe, çevre ile kullanıcı arasında iletişim kurabilir ve yapıya estetik bir işlev kazandırabilir (Loonen vd., 2015).

Gürültü;

Dış ortamdan kaynaklı gürültüye fazla maruz kalan yapılarda iç mekân akustik performansını olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle gürültü kontrol amacıyla uygun akustik yalıtımlı sistemlerin tasarlanması işitsel konfor koşullarının sağlanması için önemlidir.

Su ve Nem;

Yüksek nem ve yoğuşma yapıda ve cephede deformasyona veya bozulmaya sebep olmaktadır. Ayrıca yağmur kar gibi yağışlar sonucunda cephelerdeki ıslanma ve kirlenme gibi etkiler de söz konusudur. Bu durumlar dikkate alınarak cephelerin su geçirmezliği ve malzemelerin dayanıklılığı göz önünde bulundurulmalıdır.(Attia vd., 2015b).

Kirlilik;

Adaptif cepheler yapının enerji performansını iyileştirilmesi ve CO_2 emisyonlarının azaltılmasında önemli bir role sahip olabilmektedir. Dış ortamdaki hava kirliliği adaptif cephelerin yüzeylerini kirletici ve aşındırıcı bir etkiye sebep olmaktadır. Bu nedenle kirlenmeye dirençli ya da kendi kendini temizleyen kaplamaların kullanılması önemlidir.

Tüm bu dış ortam uyaranları adaptif cephelerin performansı üzerinde etkili olan unsurlardır. Adaptif cepheler çevresel etkilere duyarlı olan cephelerdir. Gün ışığı, rüzgâr, gürültü gibi dış çevresel uyaranlara tepki verebilmelidir. Adaptif cepheler iç ortamdaki kullanıcı konforunu iyileştirmek amacıyla tasarlanmaktadır. Doğal aydınlatma kontrolü, gölgelendirme, doğal havalandırma vb. etkenler üzerinde sağlanan kontrol kullanıcı konforunu artırmaktadır. Adaptif cepheler kullanıcı konforunu sağlamanın yanı sıra yapının enerji performansını iyileştirmek için tasarlanabilmektedir. Ayrıca güneş, rüzgâr gibi dış uyaranların aktif kullanımı ile yapı için gerekli olan enerji elde edilebilir ya da pasif olarak doğal havalandırma sağlanarak mekanik sistemlere olan bağlılık azaltılabilmektedir. (D. Aelenei vd., 2016; Zhang vd., 2022)

Diğer tüm cephe sistemlerinde olduğu gibi adaptif cephelerden de beklenen performans kriterleri; taşıyıcı sistemin statiği, genleşme, sızıntı mekanizmaları, ısı yalıtımı, güneş kontrolü, ışık geçirgenliği, renk ve ışık yansıması, ses yalıtımı, yangın korunumu ve güvenlik, temizlik ve bakım olarak sıralanabilir (Şenkal, 2002). Ancak bu çalışmada performans kriterleri genel bir değerlendirme ile üç ana başlık altında incelenmiştir.

Bu tez kapsamında adaptif cephelerden beklenen performans kriterleri

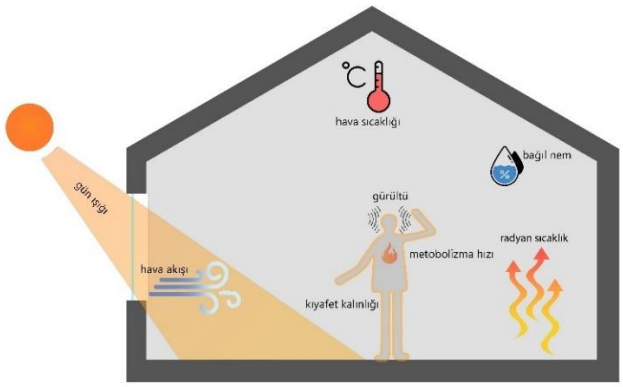
- Kullanıcı konforu,
- Çevresel performans
- Dış ortam etkileşimi

olmak üzere üç başlık altında ele alınmıştır.

2.4.1 Kullanıcı konforu

Konfor bireylerin bulunduğu ortamdaki memnuniyet düzeyini ifade etmektedir. İnsanların fizyolojik, psikolojik ve sosyal gereksinimlerinin karşılanması için içinde bulunduğu ortamda sıcaklık, nem, iç hava kalitesi, aydınlatma, ses ile ilgili konularda uygun konfor koşullarının sağlanması gerekmektedir (Seker, 2014; Aktaran: İldeş, 2019).

Yapıda iç ortamdaki kullanıcı konforunu etkileyen hava sıcaklığı, bağıl nem, gün ışığı ve hava akışı gibi bazı faktörler bulunmaktadır. Bu faktörlerin uygun şekilde yönetilmesi, insanların sağlığı, mutluluğu ve üretkenliği açısından önemli bir rol oynamaktadır (Şekil 2.20).



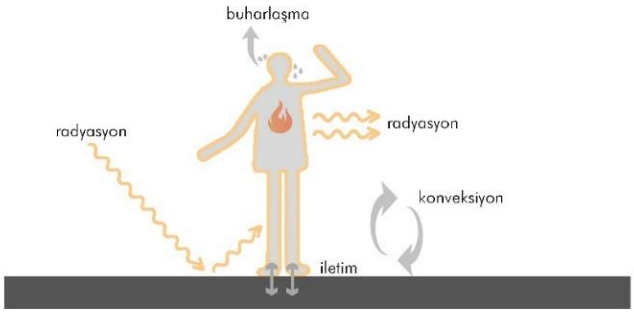
Şekil 2.20 İç ortamda kullanıcı konforunu etkileyen bazı faktörler (Yazar tarafından

oluşturulmuştur)

Yapıda dış ortamla en çok etkileşime giren cepheler konforun sağlanmasında önemli bir bileşendir. Statik olarak tasarlanan cepheler değişen çevresel koşullara uyum sağlamakta yetersiz kalmaktadır. Ancak adaptif cepheler geçici değişikliklere yanıt verme yeteneğine sahiptir. Böylelikle sürekli değişen dış ortam koşullarına karşı uyum sağlayarak kullanıcı konforunun sürdürülebilirliğini ve iyileştirilmesini amaçlamaktadır. (Attia vd., 2018). Kullanıcı konforu; *iklimsel konfor, görsel konfor* ve *işitsel konfor* olmak üzere 3 başlık altında ele alınarak aşağıda açıklanmıştır.

İklimsel konfor

İklimsel konfor kullanıcıların büyük bir çoğunluğunun iç ortamdaki ısıl durumdan memnuniyetini ifade eden bir kavramdır (ASHRAE, 2017). İç ortamdaki iklimsel konfor düzeyi kullanıcıların yaşam kalitesini, memnuniyetini, çalışma performansını ve sağlığını etkileyen önemli bir bileşendir. İnsan vücudu bulunduğu fiziksel çevreye göre kendi sıcaklığını çeşitli yollarla dengelemeye çalışmaktadır. Bunlar dış ortamla kondüksiyon (iletim), konveksiyon (taşınım), radyasyon (ışınım) ya da buharlaşma ile ısı alışverişi yapmaktadır (Şekil 2.21)



Şekil 2.21 İnsan vücudunun ısı kazanç ve kayıplarını dengeleme yolları (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

Bir grup insan aynı iklimsel koşullara sahip bir ortamda durduğunda fiziksel ve psikolojik etmenler yüzünden aynı memnuniyete sahip olmamaktadır. İklimsel konforun bu değişkenliği Ashrae 55 Standardına göre %80 veya daha fazla insanın memnuniyeti üzerinden belirlenmektedir. Isıl konforun sağlanması için ilk akla gelen etken hava sıcaklığı olsa da tek başına yeterli bir etken değildir. Çevresel faktörler ve kişisel

faktörler olmak üzere birçok değişken iklimsel konfor üzerinde etkilidir (ASHRAE, 2009).

Çevresel faktörler

- İç ortam sıcaklığı
- Bağıl nem
- Hava hızı
- Ortalama ışınım (radyan) sıcaklığı

Kişisel faktörler

- Aktivite düzeyi
- Giysi kalınlığı (yalıtım değeri)

İç ortam sıcaklığı, termometre ile ölçülen ve birimi Celcius, Fahrenayt veya Kelvin olan insan ile iç ortam arasındaki ısı alışverişi miktarıdır. İç ortam sıcaklığı iç mekânın hacmi, biçimi, geometrik özellikleri, ortamın ortalama radyan sıcaklık değeri, ısıtma sistemi gibi çevresel faktörlere veya aktivite düzeyi, giysi kalınlığı gibi kişisel etmenlere bağlıdır. İç ortam sıcaklığı için belirlenen referans değerler çeşitli etkenlere göre değişse de ısıl konforun sağlanmasına yönelik dünyada yaygın kabul gören standartlar mevcuttur. Ashrae 55 standartlarına göre yaz mevsimi için iç ortam sıcaklığı 22,8°C ile 26,1°C aralığı belirlenmiştir. BS EN ISO 7730 standartlarına göre ise yaz mevsimi için iç ortam sıcaklık aralığı 22°C (± 2°C), kış mevsimi için iç ortam sıcaklığı 24,5°C (±1,5°C) olarak kabul edilmektedir. İç ortam sıcaklığının yüksek olması bireylerde yorgunluk, uyku hali, susuzluk vb. etkilere, düşük sıcaklıklar motivasyon eksikliği, bedensel ve zihinsel verimin düşmesi vb. kişisel etkilere neden olmaktadır.

Bağıl nem, belirli bir sıcaklıkta havadaki su buharı miktarının, o havanın taşıyabileceği en fazla su buharı miktarına oranıdır (ASHRAE, 2017). Genellikle yüzde olarak ifade edilen bağıl nem bir ortamın ne kadar nemli olduğunu ifade eden bir göstergedir. Bağıl nem sıcaklıkla yakından ilişkilidir. Sıcak hava daha fazla su buharı taşıma kapasitesine sahiptir dolayısıyla daha yüksek bir bağıl nem oranına sahip olmaktadır. Düşük bağıl nem ise genellikle kuru ve soğuk hava koşullarını ifade etmektedir. Uygun ısıl konfor koşullarının sağlanması için belirlenen bağıl nem aralığı Ashrae 55 standardına göre %20-60 arası, BS EN ISO 7730, (2005) standartlarına göre ise %30 – %70'tir. Bağıl

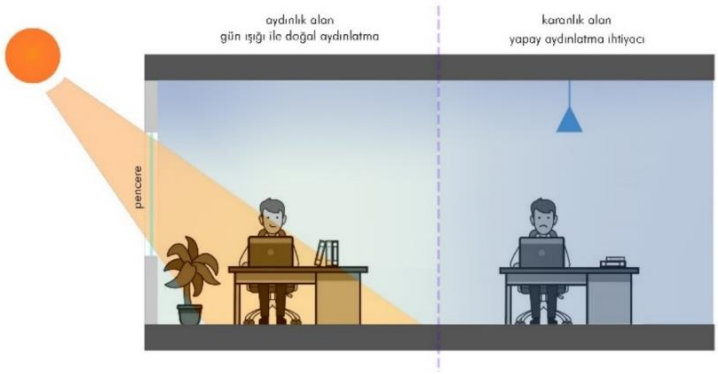
nemin yüksek olması kişisel olarak bireyin terleme mekanizmasında sorunlara yol açarak ortamı daha sıcak hissetmesine ve iç ortamda ise neme bağlı küflenme problemlerine yol açabilmektedir. Ayrıca ortamdaki neme bağlı küflenme bireylerde orta ve uzun vadede solunum yolu hastalıklarına, alerjik reaksiyonlara neden olmaktadır. Nemin düşük olması da tozların havada asılı kalmasına ve bireylerin nefes almasını olumsuz etkilemektedir(ASHRAE 55, 2017).

Hava hızı iç ortamda ısıl konforun sağlanmasında etkili olan diğer bir parametredir. Hava hızı birim zamanda belirli bir noktadan geçen hava kütlesi miktarıdır. Hava hızı insan üzerindeki terleme miktarını azaltması veya artırması ile ısıl konforu etkilemektedir. Hava hızı da ortam sıcaklığı, bağıl nem, giyim vb. diğer etkenlerle birlikte etkili olmaktadır. Ashrae 55 standartlarına göre ısıl konfor koşullarının sağlanması için iç ortamdaki hava akış hızı aralığı yaz aylarında 0,25 m/sn'nin üzerinde, kış aylarında ise 0,15 m/sn'nin altında olacak şekilde belirlenmiştir (ASHRAE 55, 2017).

Ortalama ışınım sıcaklığı bir mekânın içini çevreleyen tüm yüzeylerin, mobilyaların ve diğer nesnelerin çevresine yaydığı ısı enerjisinin ortalama sıcaklığını ifade etmektedir. Örneğin mekâna gelen gün ışığı penceredeki camlardan geçerek hem camın hem de temas ettiği nesne ve yüzeylerin ısınarak çevreye ısı yaymasına sebep olabilmektedir. Ortamda ısıtıcı görevi gören nesneler bir süre sonra iç ortamdaki havanın da ısınmasını sağlayarak ortalama ışınım sıcaklığında etkili olmaktadır (BS EN ISO 7730, 2005).

Görsel konfor

Işık kullanıcı ihtiyaçlarının karşılanması ve yapı performansının iyileştirilmesi için önemli faktörlerden biridir. Özellikle erken tasarım aşamasında yapının yönlenişi, cephedeki açıklıkların boyutu ve şekli, mekân hacminin büyüklüğü ve derinliği vs. gibi kararların alınmasında etkilidir. Uygun verilmeyen kararlar mekân içerisinde bazı karanlık bölgeler oluşturarak yapay aydınlatma ihtiyacına neden olmaktadır. Yapılan çalışmalar gün ışığı ile sağlanan doğal aydınlatmanın insan sağlığı üzerinde daha verimli olduğunu ve mekânsal kaliteyi artırdığını göstermektedir (Şekil 2.22).



Şekil 2.22 İç mekân derinliğine göre değişen aydınlık düzeyi (yazar tarafından hazırlanmıştır)

Farklı aktivitelere farklı aydınlık seviyesi gerektirmektedir. Aydınlatma ihtiyacının gündüz gün ışığı ile karşılanması görsel konfor açısından etkili olduğu kadar enerji verimliliğine katkıda bulunmaktadır. Yapılan çalışmalar gün ışığı kullanımının; ticari mekanlarda satışları artırdığı, konutlarda daha kaliteli uyku sağladığını, hastanelerde ise hastaların tedavi sürecini kısalttığını göstermektedir. (Garris,2004)

Gün ışığı aydınlık düzeyi hesaplanırken ABD'nin (IES, 2004) Standartlarına göre kullanıcı yaş ortalamalarına bağlı olarak ofis binalarında 300-500 lux arasında değişen aydınlık düzeyi belirlenmiştir. Aydınlatma miktarı 55 yaş üstü için 500 lux olacak şekilde daha aydınlık bir aydınlatmaya ihtiyaç duyulurken 55 yaşın altındaki insanlar için 300 lux'un yeterli olacağı ifade edilmiştir (Arpacıoğlu, 2010).

Gün ışığı ile doğal aydınlatma sağlanması her ne kadar konfor ve enerji verimliliği üzerinde olumlu etkilere sahip olsa da doğru ve etkili bir biçimde kullanılmaması parlama kamaşma gibi sorunlara yol açabilmektedir. BREEAM 2016 raporlarına göre görsel konforun oluşması için gün ışığı dağılımı, Parlama/kamaşma ve kontrast seviyelerine dikkat edilmelidir.

İşitsel konfor

İşitsel konfor bir iç ortamda bulunan ses düzeyinin kullanıcılara rahatsızlık vermeyecek düzeyde bulunması durumudur. Diğer bir deyişle kullanıcıların iç ortamdaki ses düzeyinden duydukları memnuniyet durumudur. İç mekandaki ses düzeyinin yüksekliği kullanıcıların zihinsel performansını etkileyerek baş ağrısı gibi fizyolojik sorunlara, odaklanmada ve iş veriminde düşüşe neden olabilirken uzun süre yüksek sese maruz kalmak uzun vadede işitme problemlerine ve kayıplarına neden olabilmektedir (ÇŞB, 2024). Bu nedenle ses maruziyetinin azalması için kulaklık, kulak tıpası vb. çeşitli güvenlik ekipmanlarının kullanımını gerektirebilir (Oral vd., 2004).

Doğru bir işitsel konfor mekân kullanıcılarının birbirlerini rahat duyabilmesi ancak istenen durumlarda ses mahremiyetinin sağlanabilmesi, ortamdaki gürültünün engellenmesi için gerekli ses yalıtımının sağlanması ve yankının engellenmesi gibi çeşitli değişkenleri ifade etmektedir.

Yapılarda işitsel konfor yapı akustiği ve hacim akustiği olmak üzere iki başlıkta incelenmektedir.

Yapı akustiği yapı içerisine giren veya çıkan ses miktarının denetimini (gürültü denetimi) ifade etmektedir. Mekanlar arası ses geçişi, dış ortamdan gelen sesin yalıtılması, yankı, titreşim, sesin absorbe edilmesi gibi çeşitli parametrelerin kontrolünü içermektedir.

Gürültü istenmeyen ses olarak tanımlanmakta olup dBA birimi ile ifade edilmektedir. Çevre ve Şehircilik bakanlığına göre kullanıcıların duyabileceği ses düzeyi eşiği 0 dBA olarak belirlenmiş olup rahatsızlık veren ses düzeyi ise 120-130 Dba'dır. (ÇŞB, 2010)
ISO 16283-3 "Acoustics- Field Measurement Of Sound Insulation In Buildings and Of Building Elements" standardının normal saydığı gürültü düzeyi 58 dB'dir. Gürültü dış ortamdan veya iç ortamdan gelen seslerden kaynaklanabilmektedir. İç ortamdan gelen sesler insan gürültüsü, servis elemanları gürültüsü, tesisat gürültüsü veya ortamdaki diğer ses kaynaklarından kaynaklanmaktadır. Dış ortamdan gelen gürültü kaynakları ise trafik sesleri, inşaat gürültüsü, sanayi gürültüsü veya şehir gürültüsü olabilmektedir.

İşitsel konforun sağlanması için gürültünün kaynağını azaltmak, gürültü kaynağı ile alıcı arasındaki ses iletimini azaltmak (yalıtım) veya alıcının sese maruziyet oranının azaltacak şekilde ekipman kullanımı ile korunması şeklinde üç şekilde kontrol edilemektedir (Bayazıt & Aşcıgil, 2007).

Hacim akustiği kullanıcı memnuniyetinin sağlanması için ses dalgalarının çıktığı kaynaktan alıcıya en uygun şekilde ulaşmasını ifade etmektedir. Hacim akustiği bir mekân içerisinde sesin nasıl davrandığını ve nasıl yayıldığı ile ilgilidir. Hacim akustiği, yankı süresi, ses dağılımı, ses basınç seviyeleri ve mekânın akustik performansı gibi faktörleri içerir.

İşitsel konforun aynı zamanda bireylerin yaş, cinsiyet, sağlık gibi fizyolojik ve psikolojik farklılıkları durumları sebebiyle konfor algısı değişiklik göstermektedir. İşitsel konforun sağlanmasında gürültü algısı subjektif olabilmektedir. Bu nedenle alınacak önlemlerin bu parametreleri de göz önünde bulundurularak yapılması gerekmektedir.

Yapı cepheleri ses yalıtımını sağlayacak kadar kütle ve kalınlığa sahip olurken, sesi dalgalarını absorbe edecek esnekliğe sahip olmalıdır. Özellikle yüksek katlı yapılarda cam oranın artması ile geleneksel camların kullanılması akustik sorunlara neden olmaktadır. Bu nedenle çok katmanlı camların kullanılması gerekmektedir. Ancak bu kullanım çoğu zaman yeterli yalıtımı sağlayamamaktadır. İki cam arası mesafenin 20 cm ve üzerine çıktığı çift cidarlı cephelerde bu yalıtım sağlanmaktadır. Çift cidarlı cephelerde iki katman arasında kalan hava boşluğu iç ve dış ortam arasında tampon görevi görmektedir. Doğru bir akustik yalıtımın sağlanması için yapının cephesi boyunca devam etmeyen (katlar arası bölünen) kutu veya şaft kutu giydirme cephe sistemleri tasarlanmalıdır. Aksi halde yapı içindeki gürültülerin katlar arası iletiminden kaynaklı işitsel konfor sağlanamayacaktır.

Geleneksel yapılarda kullanıcılar dış mekândan gelen gürültüyü yapı açıklıklarını kapatarak engellemeye çalışırlar. Bu durum hava sirkülasyonunu önleyerek yapay iklimlendirme araçlarına olan bağlılığı artırmaktadır. Bu araçların çalışırken belli bir

düzeyde ses üretmektedirler ve ayrıca enerji tüketimini artırmaktadırlar. Adaptif cepheye sahip yapılarda işitsel konfor camın özelliklerini iyileştirerek ya da çift cidarlı cam cephelerdeki cidar mesafesini artırarak sağlanabileceği gibi hava yastıkları ya da çeşitli ses yutucu panel kullanımı ile de sağlanmaktadır. Dünyada adaptif cepheye sahip örneklerin çoğu gün ışığı kontrolü sağlamaya yönelik olsa da ikinci bir katmana sahip çoğu örnek aynı zamanda işitsel konforun sağlanmasına da katkıda bulunmaktadır.

2.4.2 Çevresel performans

Yapı bağlamında düşünüldüğünde çevresel performans bir yapının veya yapısal bir öğenin yaşam döngüsü boyunca doğal çevreye olan etkisini en aza indirme yeteneğini ifade etmektedir. Bu kapsamda, enerji verimliliği, kaynak korunumu, atık azaltımı ve genel sürdürülebilirlik gibi çeşitli unsurlar öne çıkmaktadır. Yüksek çevresel performansa sahip binalar enerji tüketimini azaltan, yenilenebilir kaynakları kullanan, su kullanımını optimize eden, iç ortam kalitesini iyileştiren, çevresel kirletici etkiyi azaltan ve yaşam döngüsü değerlendirmesini göz önünde bulunduran yapı tasarımlarıdır. Mimarlıkta çevresel performans, sadece kullanıcı konfor ve gereksinimlerini karşılamakla kalmaz, aynı zamanda çevresel zorlukları azaltarak çevreye olumlu bir katkıda bulunmaktadır. Adaptif cepheler çeşitli tasarım ve teknolojiler ile yapının çevresel performansını artırmak için geliştirilmiştir. Adaptif cephelerden çevresel performans bağlamında beklenen en önemli iki faktör yapının enerji tüketiminin ve karbon emisyonlarının azaltılmasıdır (Zhang vd., 2022).

Sanayileşme, nüfus artışı ve teknolojik gelişmeler, enerji talebinde belirgin bir artışa neden olmakta ve bu durum enerji sıkıntısının tetiklenmesine yol açmaktadır. Artan enerji tüketimi, sera gazı emisyonlarını yükselterek iklim değişikliği ile ilişkili risklerin artmasına neden olmaktadır. İklim değişikliği risklerini ve etkilerini bilimsel verilerle değerlendiren Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) verilerine göre, yeryüzü 1800'lere kıyasla yaklaşık 1,1°C ısınmış durumdadır ve 2011-2020 arası, kaydedilen en sıcak dönem olarak öne çıkmaktadır (UN, 2022). İklim değişikliğinin giderek artan etkileri çevreyi ve insan hayatını olumsuz yönde etkilemekteyken, IPCC önümüzdeki 20 yıl içinde küresel sıcaklıkların 1,5°C yükselebileceğini öngörmektedir (IPCC, 2021). Bu nedenle, çevresel koşulların göz önünde bulundurularak yapılan yapı

tasarımı hem enerji tüketiminin azaltılması hem de iç mekân konforunun artırılması açısından büyük önem taşımaktadır.

Günümüzde binalarda enerji tüketimi ve sürdürülebilirlik konuları giderek daha önemli hale gelmektedir. Binaların enerji ihtiyacının büyük bir kısmı fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Bu durum sınırlı doğal kaynakların tükenmesine ve karbon emisyonlarının artmasına neden olmaktadır. Sürdürülebilir bir gelecek için enerji tüketiminin azaltılması veya yenilenebilir kaynaklar kullanarak enerji verimliliğinin sağlanması önemli bir gereklik olarak karşımıza çıkmaktadır.

Kentlerde gittikçe artan nüfus ve hızlı kentleşme, küresel enerji tüketimini ve karbon emisyonlarını artırarak küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Enerji grafikleri 2035 yılında küresel nihai enerji tüketiminin %50 oranında artacağını göstermektedir. Binalar ise enerji tüketiminin yaklaşık %40'ından, hava kirliliğinin %23'ünden ve sera gazı üretiminin %50'sinden sorumlu olmaktadır (Hauashdh vd., 2024). Zamanlarının büyük çoğunluğunu kapalı binalarda geçiren insanlar düşünüldüğünde yapıları enerji verimli tasarlamanın önemi büyüktür (Aelenei ve diğ., 2016). Ayrıca, inşaat endüstrisi mevcut teknolojilerle %50 ila %90 arasında karbon emisyonlarını azaltma potansiyeline sahiptir. Bu teknolojilerin yaygın olarak benimsenmesi, binalardaki enerji tüketiminin 2050'ye kadar istikrarlı bir şekilde azalmasını sağlayabilir, hatta daha da düşürebilmektedir (IPCC, 2015).

Ciddi bir tüketim payına sahip olan binalarda enerji tüketimini artıran en önemli bileşenler kullanıcı konforunu sağlamak için ısıtma, soğutma, iklimlendirme (HVAC) ve aydınlatma sistemlerine olan bağlılıktır. Binalarda Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme (HVAC) sistemlerine harcanan enerji, yapıda toplam kullanılan enerjinin yaklaşık %40'ını oluşturmaktadır (Wu vd., 2018). Bu nedenle binalarda bu mekanik sistemlere olan bağlılığı azaltacak, enerji tüketimlerini dengeleyecek çözümlere ihtiyaç vardır.

Binalar yalnızca kullanım aşamasında değil, tüm yapı yaşam döngüsü boyunca enerji tüketimine yol açmaktadır. Yapılan bir araştırmaya göre, binalardaki toplam enerji tüketimi ve CO_2 emisyonlarının %68-70'inin kullanım ve bakım aşamasında,

%29'unun inşaat aşamasında, %1'inin ise bertaraf aşamasında gerçekleşmektedir. (Tae vd., 2011). Enerji kayıplarının ise yaklaşık %40'ının dış duvarlar ve %30'unun pencereler olmak üzere toplam %60-70'inin cepheler üzerinden gerçekleştiği belirtilmektedir (Atmaca, 2016). Özellikle cam yüzey oranı yüksek olan binalarda, güneşten gelen ısı kazançları yaz aylarında soğutma yüklerinin artmasına, kış aylarında ise ısı kayıpları nedeniyle ısıtma yüklerinin artmasına neden olmaktadır. Bu durum hem enerji tüketiminin yükselmesine hem de kullanıcı konforunun olumsuz etkilenmesine yol açmaktadır. Günümüzde yapı kabuğunun enerji açısından yeterli derecede etkin olmadığı durumlarda, gerekli konforun sağlanması için çok daha fazla enerji tüketilebilmektedir.

Yapıda enerji alışverişinin gerçekleştiği arayüzler olan cepheler bu sorunların çözümü için büyük bir potansiyele sahiptir. Geleneksel cephelere kıyasla değişen çevresel koşullara uyum sağlayan adaptif cephe tasarımları enerji tüketimi ve karbon emisyonlarını iyileştirerek çevresel performans sağlamaktadır. Çoğu çalışma adaptif cephelerin yapının enerji tüketimini azaltmaya katkıda bulunması gerektiğini savunmaktadır. Ayrıca bazı adaptif cepheler enerji üretim kapasitesine de sahiptir. Bu durum kullanıcı konforunu sağlamak için gerekli olan enerjinin verimli şekilde karşılanmasına katkıda bulunmaktadır.

Adaptif cepheler çevresel performans sağlamak için karbon emisyonlarını azatan veya soğuran sistemlere sahip olmalıdır. Bu konuda nispeten az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bunun nedeni genellikle enerji tüketimini azaltmanın karbon emisyonlarını düşüreceği ile eş anlam ifade ettiği düşüncesi olabilir(Zhang vd., 2022). Örneğin Hamburg'daki BIQ evinin cephesindeki biyoreaktörler sayesinde karbon emisyonları azaltılabilmektedir ya da Manuel Gea Gonzalez hastanesinin ikincil cephesindeki TiO_2 kaplama kirliliği önlemektedir.

2.4.3 Dış ortam etkileşimi

Adaptif cephelerden beklenen bir diğer gereksinim dış ortam etkileşimi sağlamasıdır. Adaptif cepheler iç ve dış mekânı birbirinden ayıran ve enerji akışlarını düzenleyen ara yüzler olarak sadece işlevsel olarak değil, aynı zamanda estetik ve sosyal faktörler

açısından etkileşim kurmaktadır. Öncelikle, adaptif cephelerin estetik görünümü, dış ortamla etkileşiminin önemli bir parçasıdır. Adaptif cepheler değişen çevresel koşullara uyum sağlayan cephelerdir. Şekil, boyut, konum veya özellik değiştirerek uyumlanan cephelerde dinamik bir örüntü söz konusudur. Bu durum yapı cephesine estetik açıdan bir esneklik sağlayarak yapının dinamik özelliğini vurgular ve dikkat çekiciliğini artırır. Adaptif cephe çevresiyle uyumlu veya kontrast oluşturan bir tasarımı benimseyerek çevreye entegre olabilir veya dikkat çekici bir şekilde farklılaşabilmektedir. Adaptif cephelerin tasarımı, yapıların dış mekân estetiğini etkileyerek çevreye katkıda bulunabilmektedir (Drozdowski, 2011a).

Dış ortamla etkileşim insanlar ve yapılar arasındaki iletişimi de içermektedir. Adaptif cepheler, dışarıdan içeriye bakış açısını yöneterek iç mekanlarda doğal ışık ve manzara sunabilmektedir. Bu, iç mekanlarda kullanıcıların dış dünya ile etkileşimini artırır ve iç mekanlara bağlılık hissi yaratarak konforu artırabilmektedir (Brzezicki, 2021).

Ayrıca, dış ortamla etkileşim, yapı kullanıcılarının dış dünya ile temasını da içermektedir. Özellikle kentsel alanlarda, adaptif cepheler binaların sakinlerine dış mekân aktivitelerini izleme ve dışarıdaki yaşamı deneyimleme fırsatı sunabilir. Bu durum insanların kentsel yaşama daha bağlı hissetmelerine ve toplumsal etkileşimi teşvik etmelerine katkıda bulunmaktadır (Attia vd., 2019a).

Doğru şekilde tasarlanmış ve uygulanmış adaptif cepheler, çevreye uyumlu, kullanıcı dostu ve toplum tarafından benimsenen yapılar oluşturabilir. Böylelikle, yapılar çevresel, estetik ve sosyal açılardan daha sürdürülebilir hale gelebilecektir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM:
Adaptif cepheli yapı örneklerinin ayırt edici performans kriterleri açısından incelenmesi ve değerlendirilmesi

Bu çalışmada öncelikli olarak konunun kavramsal çerçevesi belirlendikten sonra, konuyla ilgili ulusal ve uluslararası makale, kitap, bildiri, tez incelemeleri yapılarak literatür analizi gerçekleştirilmiştir. İlk olarak adaptif cephe tanımı ve tarihsel süreçteki gelişimi incelenmiştir. Tarihsel süreçte farklı kavramlarla karşımıza çıksa da adaptif cephelerin literatürde nispeten yeni bir kavram olduğu ve özellikle uluslararası literatürde güncel bir araştırma konusu olduğu fark edilmiştir. Ülkemizde ise bu alanda yapılan uygulama ve çalışmaların sınırlı sayıda olduğu görülmüştür.

Adaptif cephe tanımı ve tarihsel süreç araştırmalarında adaptif cephe ile ilişkili olarak kinetik cephe, aktif cephe, akıllı cephe gibi bir dizi ilişkili kavram terminolojisi ile karşılaşılmıştır. Konuyu daha iyi anlamak amacıyla bu kavramlar ayrı bir alt başlık altında somut örneklerle desteklenerek açıklanmıştır. Daha sonrasında adaptif cephelerin sınıflandırılmasına ve performansına ilişkin olarak literatürdeki farklı yaklaşımlar ve kriterler derlenerek adaptif cephelerin özellikleri ve performans kriterleri ortaya konulmuştur.

Çalışmanın Materyal ve Yöntem bölümünün temelini Dünyada ve Türkiye'de adaptif cepheye sahip yapı örneklerinin ayırt edici performans kriterleri açısından incelenmesi ve değerlendirilmesi oluşturmaktadır. Bu bölümde, öncelikle araştırma kapsamında ele alınan yapı örnekleri hakkında genel bilgiler ve adaptif cephe özellikleri sunulmuş, ardından performans değerlendirmesinde kullanılan alt performans parametreleri ve değerlendirme ölçeği açıklanmıştır.

Bu bağlamda, 1980'li yıllardan başlayarak 40 yıllık süreci kapsayan 9'u Dünyadan, 3'ü Türkiye'den olmak üzere toplam 12 adaptif cephe örneği seçilmiştir. Örneklerin seçiminde adaptif cephe sistemlerinin coğrafi konum ve kullanılan teknolojiler açısından çeşitlilik göstermesi hedeflenmiştir. Aynı coğrafi bölgede yer alan projelerde ise birbirini tekrar etmeyen, farklı adaptif cephe teknolojilerine sahip örneklerin seçimine dikkat edilmiştir. Bu yaklaşım ile adaptif cephe sistemlerinin çeşitliliğini ve performanslarının farklı çözümlerle nasıl ele alındığını çapraz bir referans çerçevesinde

değerlendirme imkânı sunması hedeflenmiştir. Türkiye'de seçilen örneklerde ise iklim tipi sabit tutulmuş ancak farklı teknolojileri içeren adaptif cepheler tercih edilmiştir.

İklim tipi doğrudan bir seçim kriteri olarak belirlenmemiştir. Ancak, iklim tiplerinin kullanılan adaptif cephe teknolojileri ve bu teknolojilerin performansları üzerindeki etkilerinin anlaşılmasına katkı sağlayabileceği düşünülerek, analiz sürecinde bir değerlendirme ölçütü olarak ele alınmıştır.

Yapılar arasındaki benzerlik ve farklılıkları belirlemek ve yapılacak performans değerlendirmesine zemin hazırlamak amacıyla, bir adaptif cephe özellikleri sınıflandırma çizelgesi geliştirilmiş ve her bir yapı bu çizelgeye göre sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma çizelgesi Bölüm 3.1'de yer almaktadır (Çizelge 3.1). Her yapı için ayrı ayrı çizelgeler doldurulmuş, böylece tasarım detaylarının performans değerlendirmesi sürecinde göz ardı edilmemesi amaçlanmıştır.

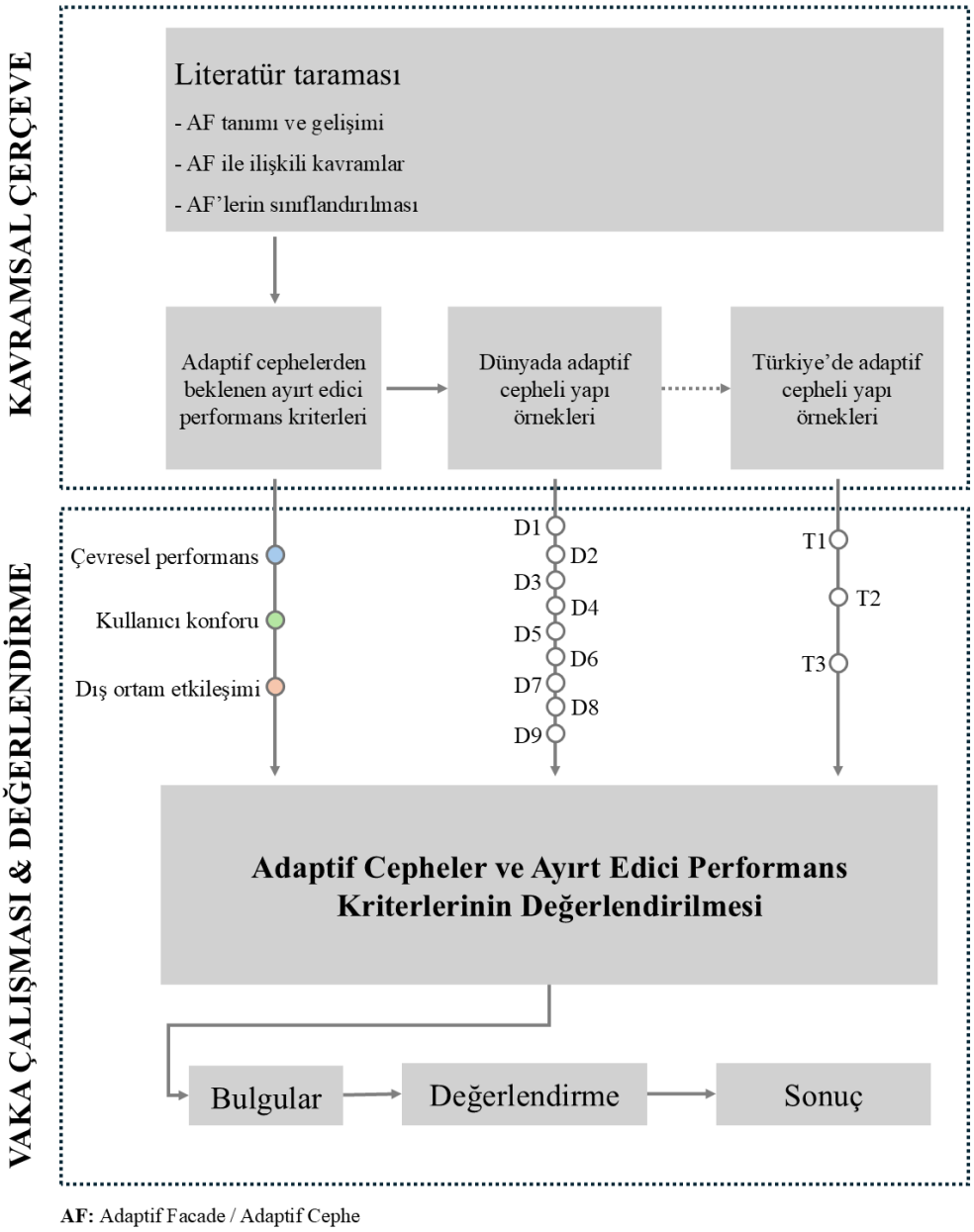
Seçilen 12 yapı, bu tez çalışması kapsamında belirlenmiş olan üç ana adaptif cephe performans kriteri (kullanıcı konforu, çevresel performans ve dış ortam etkileşimi) doğrultusunda incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Bu performans kriterleri ve alt parametreleri, literatürdeki farklı yaklaşımların derlenmesiyle oluşturulmuş olup Çizelge 3.1'de detaylı şekilde sunulmaktadır.

Adaptif cephelerin performansını değerlendirmek için beşli bir ölçek geliştirilmiş ve yapılar, belirli performans kriterlerine göre bu ölçek kullanılarak puanlanmıştır. Performans değerlendirmesinde kullanılan parametreler ve değerlendirme ölçeği Bölüm 3.3'te detaylı olarak açıklanmıştır.

Bu çalışmada adaptif cephe kavramını tanımlamak, sınıflandırmak, adaptif cephelerden beklenen ayırt edici performans kriterlerini belirlemek, adaptif cepheleri bu kriterler bağlamında değerlendirmek amaçlanmaktadır. Tez akış şeması ise Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 Adaptif cephelerden beklenen ayırt edici performans kriterlerine ilişkin literatür kaynakları

Kod	Ana Kriterler	Kaynaklar	Kod	Alt Performans Parametreleri	Kaynaklar
KK	Kullanıcı Konforu	(Alice vd., 2015; Attia vd., 2018, 2019b; Elzeyadi, 2017; Hosseini vd., 2019; Jayathissa vd., 2016; Juaristi & Monge-Barrio, 2016; Lee vd., 2019; Sadegh vd., 2022; Tabadkani vd., 2021a)	**KK1**	Görsel konfor	(Attia vd., 2018, 2019b; Elzeyadi, 2017; Jayathissa vd., 2016; Juaristi & Monge-Barrio, 2016; Lee vd., 2019; Sadegh vd., 2022; Tabadkani vd., 2021a)
			KK2	İklimsel konfor	(Alice vd., 2015; Attia vd., 2018, 2019b; Hosseini vd., 2019; Jayathissa vd., 2016; Juaristi & Monge-Barrio, 2016; Lee vd., 2019; Sadegh vd., 2022; Tabadkani vd., 2021a)
			KK3	İşitsel konfor	(Attia vd., 2018, 2019b)
ÇP	Çevresel Performans	(Attia, 2019; Attia vd., 2018; Jayathissa vd., 2016; Juaristi & Monge-Barrio, 2016; Lee vd., 2019; Powell vd., 2018; Sadegh vd., 2022; Struck vd., 2015)	**ÇP1**	Enerji tüketimini azaltma	(Attia, 2019; Attia vd., 2018; Jayathissa vd., 2016; Juaristi & Monge-Barrio, 2016; Powell vd., 2018; Sadegh vd., 2022)
			ÇP2	Enerji üretme	(Attia, 2019; Jayathissa vd., 2016; Juaristi & Monge-Barrio, 2016; Lee vd., 2019; Powell vd., 2018; Struck vd., 2015)
			ÇP3	Çevre kirliliği ve karbon emisyonları	(Attia, 2019; Jayathissa vd., 2016)
DOE	Dış Ortam Etkileşimi	(Attia, 2019; Attia vd., 2019b; Drozdowski, 2011b; Loonen vd., 2013; Moloney, 2011)	**DOE1**	Dış fiziksel çevreyle iletişim	(Attia vd., 2019b; Struck vd., 2015)
			DOE2	Estetik görünüm	(Attia, 2019; Drozdowski, 2011b; Loonen vd., 2013; Moloney, 2011)



Şekil 3.1 Tez Akış Şeması (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

3.1 Dünyada adaptif cephe uygulama örneklerinin incelenmesi

Bu bölümde Dünyada bulunan 9 adaptif cephe örneği açıklanmaktadır Öncelikle yapılar hakkında genel bilgiler sunulmuş, ardından adaptif cephe özellikleri anlatılarak konunun sistematik bir şekilde daha iyi anlaşılması hedeflenmiştir.

Tez kapsamında adaptif cephelerin özelliklerinden ve literatürde yer alan farklı sınıflandırma yaklaşımlarından yola çıkılarak bir adaptif cephe özellikleri sınıflandırma çizelgesi hazırlanılmıştır. Bu çizelge; *dış uyaran, amaç, tepki uygulama ölçeği, uygulama ölçeği, adaptasyon ölçeği, kontrol prensibi, kullanılan teknoloji* ve *tepki verme süresi* olmak üzere 8 başlıktan oluşmaktadır (Çizelge 3.2). İncelenen her örnek bu sınıflandırma çizelgesi kapsamında değerlendirilmiştir. Böylelikle adaptif cephe uygulama örneklerinin arasındaki ilişkiyi daha iyi açıklamak amaçlanmaktadır.

Çizelge 3.2 İncelen örnek yapılar için adaptif cephe özellikleri sınıflandırma çizelgesi şablonu (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

<table>
<tr><th colspan="10">YAPI İSMİ, KONUMU, YAPIM YILI</th></tr>
<tr><td colspan="10">ADAPTİF CEPHE ÖZELLİKLERİ</td></tr>
<tr><td>Dış Uyaran</td><td colspan="2">İklim tipi:</td><td>Gün ışığı</td><td>Dış ortam sıcaklığı</td><td>Rüzgâr</td><td>Nem</td><td>Ses</td><td>Kirlilik</td><td>Kullanıcı</td></tr>
<tr><td>Amaç</td><td colspan="5">Fiziksel çevre kontrolü & Kullanıcı konforu</td><td colspan="2">Enerji üretimi</td><td colspan="2">Kullanıcı ile etkileşim & estetik</td></tr>
<tr><td>Tepki</td><td colspan="4">Özellik değişimi</td><td colspan="2">Hareket</td><td colspan="3">Enerji üretimi</td></tr>
<tr><td>Uygulama ölçeği</td><td colspan="4">Malzeme</td><td colspan="3">Bileşen</td><td colspan="2">Sistem</td></tr>
<tr><td>Adaptasyon ölçeği</td><td colspan="4">Mikro</td><td colspan="6">Makro</td></tr>
<tr><td>Kontrol prensibi</td><td colspan="4">İçsel kontrol</td><td colspan="6">Dışsal kontrol</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Kullanılan teknoloji</td><td colspan="3" rowspan="3">Pasif teknoloji</td><td>Pasif teknoloji</td><td colspan="2" rowspan="3">Aktif teknoloji</td><td colspan="4">Mekanik teknolojiler</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Malzeme tabanlı teknoloji</td><td colspan="4">Elektro-mekanik teknolojiler</td></tr>
<tr><td colspan="4">Bilgi teknolojileri</td></tr>
<tr><td>Tepki verme süresi</td><td colspan="2">Saniye</td><td>Dakika</td><td>Saat</td><td>Günlük</td><td>Mevsim</td><td colspan="3">Diğer</td></tr>
</table>

3.1.1 Arap Dünya Enstitüsü

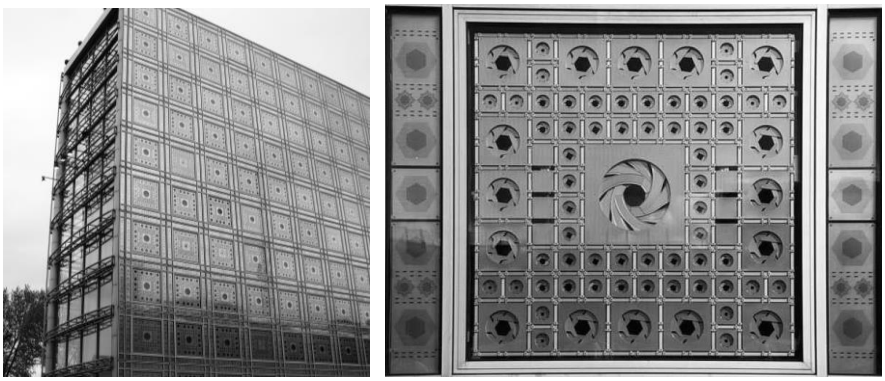
Adaptif cepheye sahip en eski modern uygulama örneği olarak kabul edilebilecek Arap Dünya Enstitüsü, 1987 yılında Jean Nouvel tarafından sanat merkezi olarak tasarlanmıştır. Paris'te bulunan yapının en dikkat çekici özelliği cephesinde güneş ışınlarına göre hareket eden diyaframlardan oluşan elektro-mekanik bir sisteme sahip olmasıdır. Yapının cephe tasarımında Orta Doğu'da yüzyıllardır bina sakinlerini

güneşten korumak ve mahremiyet sağlamak için kullanılan geleneksel kafes işçiliğinden ilham alınmıştır.(Marzo, 2014) Arap Dünya Enstitüsü' ne ait proje künyesi Çizelge 3.3'te gösterilmektedir.

Çizelge 3.3 Arap Dünya Enstitüsü proje künyesi (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

	**Yapı adı:**	Arap Dünya Enstitüsü
	İşlev:	Hizmet (Sanat merkezi)
	Yer:	Paris, Fransa
	Yapım yılı:	1987
	İnşaat alanı:	5.000 m²

Bu yapının cephesinde iki cam arasına yerleştirilmiş perfore metalden üretilmiş parçalar ile hareketli bir yüzey oluşturulmuştur. Temel görevi iç mekânda görsel konforu sağlamak olan bu sistemin çalışma mekanizması cephede kullanılan 2,9 m x 2,9 m ölçülerinde yaklaşık 27 bin adet lens (diyafram) ile merkezi bilgisayar kontrolüne bağlı değişen çevre koşullarına göre uyum sağlamaktır. Sensörler tarafından algılanan gün ışığı verileri işlenerek diyaframların farklı hareketlerine neden olmaktadır.(Marzo, 2014) Böylelikle cephede oluşan farklı geometriler ile gün ışığı kontrolü sağlanmaktadır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Arap Dünya Enstitüsü (Winstanley, 2011)

Arap Dünya Enstitüsü binasının cephesindeki sistemin şu anda etkin çalışmadığı bilinmektedir. Attia'nın adaptif cephelerin performans değerlendirmesine dair çalışmasında, bir cephe uzmanıyla yaptığı görüşmede, Arap Dünya Enstitüsü binasının cephesinin beklenen performansı karşılayamamasının nedeninin bakım, kontrol ve performans-işlev arasındaki çatışma ve zorluklar olduğu belirtilmiştir (Attia, 2019).

Arap Dünya Enstitüsü cephesi gün ışığına uyum sağlayan bir adaptif cephe örneğidir. Yapıya ait adaptif özellikler Çizelge 3.4'te sınıflandırılarak gösterilmektedir.

Çizelge 3.4 Arap Dünya Enstitüsü için adaptif cephe özellikleri sınıflandırma çizelgesi (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

<table>
<tr><th colspan="10">Arap Dünya Enstitüsü, Fransa, 1987</th></tr>
<tr><td colspan="10">ADAPTİF CEPHE ÖZELLİKLERİ</td></tr>
<tr><td>Dış Uyaran</td><td>Ilıman iklim</td><td>Gün ışığı</td><td>Dış ortam sıcaklığı</td><td>Rüzgâr</td><td>Nem</td><td>Ses</td><td>Kirlilik</td><td colspan="2">Kullanıcı</td></tr>
<tr><td>Amaç</td><td colspan="4">Fiziksel çevre kontrolü & Kullanıcı konforu</td><td colspan="2">Enerji üretimi</td><td colspan="3">Kullanıcı ile etkileşim & estetik</td></tr>
<tr><td>Tepki</td><td colspan="3">Özellik değişimi</td><td colspan="2">Hareket</td><td colspan="4">Enerji üretimi</td></tr>
<tr><td>Uygulama ölçeği</td><td colspan="3">Malzeme</td><td colspan="3">Bileşen</td><td colspan="3">Sistem</td></tr>
<tr><td>Adaptasyon ölçeği</td><td colspan="3">Mikro</td><td colspan="6">Makro</td></tr>
<tr><td>Kontrol prensibi</td><td colspan="3">İçsel kontrol</td><td colspan="6">Dışsal kontrol</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Kullanılan teknoloji</td><td rowspan="3">Pasif teknoloji</td><td colspan="2">Pasif teknoloji</td><td rowspan="3">Aktif teknoloji</td><td colspan="4">Mekanik teknolojiler</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Malzeme tabanlı teknoloji</td><td colspan="4">Elektro-mekanik teknolojiler</td></tr>
<tr><td colspan="4">Bilgi teknolojileri</td></tr>
<tr><td>Tepki verme süresi</td><td>Saniye</td><td colspan="2">Dakika</td><td>Saat</td><td>Günlük</td><td>Mevsim</td><td colspan="2">Diğer</td></tr>
</table>

3.1.2 Pittsburgh Çocuk Müzesi (Articulated Cloud)

Pittsburgh Çocuk Müzesi heykel sanatçısı olan Ned Kahn iş birliği ile 2004 yılında müze olarak tasarlanmıştır. Pittsburgh Çocuk Müzesi' ne ait proje künyesi Çizelge 3.5'te gösterilmektedir.

Çizelge 3.5 Pittsburgh Çocuk Müzesi proje künyesi (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

<table>
<tr><td rowspan="5"></td><td>Yapı adı:</td><td>Pittsburgh Çocuk Müzesi (Articulated Cloud)</td></tr>
<tr><td>İşlev:</td><td>Hizmet (Müze)</td></tr>
<tr><td>Yer:</td><td>Pittsburgh, ABD</td></tr>
<tr><td>Yapım yılı:</td><td>2004</td></tr>
<tr><td>İnşaat alanı:</td><td>+ 5.000 m²</td></tr>
</table>

Amerika'da bulunan müzenin ikincil cephesi rüzgarla birlikte eş zamanlı hareket eden 43.000 yarı saydam polikarbon panelden oluşmaktadır (Şekil 3.3). Çelik perdeye

menteşelinmiş bir şekilde asılı duran paneller, rüzgâra ve gün ışığının farklı seviyelerine göre farklı görünümler sergileyerek cephenin bir sanat eseri gibi görünmesine neden olmaktadır (Pgh Murals, 2016).



Şekil 3.3 Pittsburgh Çocuk Müzesi cephesi.(Kearch, 2024).

Ana amacı binanın dijitalleştirilmiş bir bulut tarafından kuşatıldığını öne sürmek olan cephe aynı zamanda güneş kontrol elemanı olarak da görev yapmaktadır (Ned Kahn, 2024). (Şekil 3.4)



Şekil 3.4 Pittsburg Çocuk Müzesi cephesi sistem detayları (Pgh Murals, 2016)

Pittsburgh Çocuk Müzesi cephesi rüzgara uyum sağlayan ve pasif teknoloji ile çalışan adaptif cephe örneğidir. (Aelenei ve diğ.,2018) Yapıya ait adaptif özellikler Çizelge 3.6'da sınıflandırılarak gösterilmektedir.

Çizelge 3.6 Pittsburgh Çocuk Müzesi için adaptif cephe özellikleri sınıflandırma çizelgesi (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

<table>
<tr><th colspan="10">Pittsburgh Çocuk Müzesi, ABD, 2004</th></tr>
<tr><td colspan="10">ADAPTİF CEPHE ÖZELLİKLERİ</td></tr>
<tr><td>Dış Uyaran</td><td colspan="2">Karasal iklim</td><td>Gün ışığı</td><td>Dış ortam sıcaklığı</td><td>Rüzgâr</td><td>Nem</td><td>Ses</td><td>Kirlilik</td><td>Kullanıcı</td></tr>
<tr><td>Amaç</td><td colspan="5">Fiziksel çevre kontrolü</td><td colspan="2">Enerji üretimi</td><td colspan="2">Kullanıcı ile etkileşim & estetik</td></tr>
<tr><td>Tepki</td><td colspan="4">Özellik değişimi</td><td colspan="2">Hareket</td><td colspan="3">Enerji üretimi</td></tr>
<tr><td>Uygulama ölçeği</td><td colspan="4">Malzeme</td><td colspan="3">Bileşen</td><td colspan="2">Sistem</td></tr>
<tr><td>Adaptasyon ölçeği</td><td colspan="4">Mikro</td><td colspan="5">Makro</td></tr>
<tr><td>Kontrol prensibi</td><td colspan="4">İçsel kontrol</td><td colspan="5">Dışsal kontrol</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Kullanılan teknoloji</td><td rowspan="3">Pasif teknoloji</td><td colspan="3">Pasif teknoloji</td><td rowspan="3" colspan="2">Aktif teknoloji</td><td colspan="3">Mekanik teknolojiler</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">Malzeme tabanlı teknoloji</td><td colspan="3">Elektro-mekanik teknolojiler</td></tr>
<tr><td colspan="3">Bilgi teknolojileri</td></tr>
<tr><td>Tepki verme süresi</td><td colspan="2">Saniye</td><td colspan="2">Dakika</td><td>Saat</td><td>Günlük</td><td>Mevsim</td><td colspan="2">Diğer</td></tr>
</table>

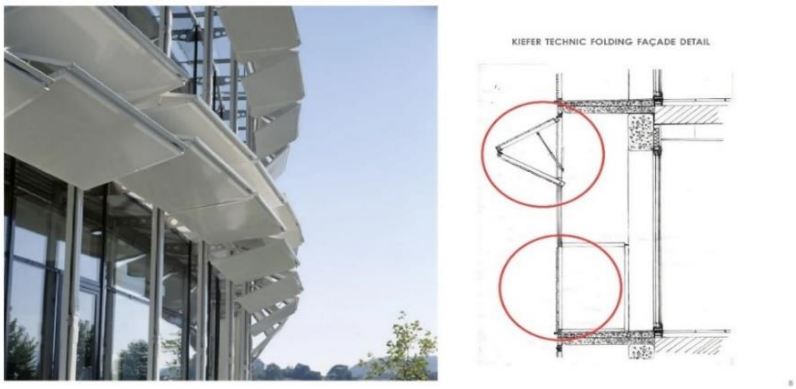
3.1.3 Kiefer Technic Showroom

Kiefer Technic Showroom 2007 yılında Avusturya'da inşa edilmiş bir ofis yapısıdır. Karasal iklim bölgesinde yer alan yapıda gün ışığını ve iç ortam sıcaklığını kontrol etmek amacıyla cephede kinetik ikincil bir kabuk tasarlanmıştır. Kiefer Technic Showroom'a ait proje künyesi Çizelge 3.7'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.7 Kiefer Technic Showroom binası proje künyesi

<table>
<tr><td rowspan="5"></td><td>Yapı adı:</td><td>Kiefer Technic Showroom</td></tr>
<tr><td>İşlev:</td><td>Hizmet (Ofis)</td></tr>
<tr><td>Yer:</td><td>Avusturya</td></tr>
<tr><td>Yapım yılı:</td><td>2007</td></tr>
<tr><td>İnşaat alanı:</td><td>298 m²</td></tr>
</table>

Cephedeki mekanik hareketli beyaz alüminyum paneller iç ortamdaki gün ışığı gereksinimine göre kayma ve katlanma hareketi yaparak açılıp kapanmaktadır. Sistem manuel ya da otomatik olarak kontrol edilebilmekte olup aktif bir teknolojiye sahiptir (Vinnitskaya, 2010) (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Kiefer Technic Showroom cephe detayı

Kiefer Technic Showroom'un cephesi gün ışığına uyum sağlayan ve aktif teknoloji ile çalışan kinetik bir adaptif cephe örneğidir. Yapıya ait adaptif özellikler Çizelge 3.8'de sınıflandırılarak gösterilmektedir.

Çizelge 3.8 Kiefer Technic Showroom için adaptif cephe özellikleri sınıflandırma çizelgesi (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

<table>
<tr><th colspan="10">Kiefer Technic Showroom, Avusturya,2007</th></tr>
<tr><td colspan="10">ADAPTİF CEPHE ÖZELLİKLERİ</td></tr>
<tr><td>Dış Uyaran</td><td colspan="2">Karasal iklim</td><td>Gün ışığı</td><td>Dış ortam sıcaklığı</td><td>Rüzgâr</td><td>Nem</td><td>Ses</td><td>Kirlilik</td><td>Kullanıcı</td></tr>
<tr><td>Amaç</td><td colspan="3">Fiziksel çevre kontrolü (iç ortam konforu)</td><td colspan="3">Enerji üretimi</td><td colspan="3">Kullanıcı ile etkileşim & estetik</td></tr>
<tr><td>Tepki</td><td colspan="4">Özellik değişimi</td><td colspan="2">Hareket</td><td colspan="3">Enerji üretimi</td></tr>
<tr><td>Uygulama ölçeği</td><td colspan="4">Malzeme</td><td colspan="3">Bileşen</td><td>Sistem</td></tr>
<tr><td>Adaptasyon ölçeği</td><td colspan="4">Mikro</td><td colspan="5">Makro</td></tr>
<tr><td>Kontrol prensibi</td><td colspan="4">İçsel kontrol</td><td colspan="5">Dışsal kontrol</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Kullanılan teknoloji</td><td rowspan="3">Pasif teknoloji</td><td colspan="3">Pasif teknoloji</td><td rowspan="3">Aktif teknoloji</td><td colspan="4">Mekanik teknolojiler</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">Malzeme tabanlı teknoloji</td><td colspan="4">Elektro-mekanik teknolojiler</td></tr>
<tr><td colspan="4">Bilgi teknolojileri</td></tr>
<tr><td>Tepki verme süresi</td><td>Saniye</td><td colspan="3">Dakika</td><td>Saat</td><td>Günlük</td><td>Mevsim</td><td colspan="2">Diğer</td></tr>
</table>

3.1.4 Media TIC

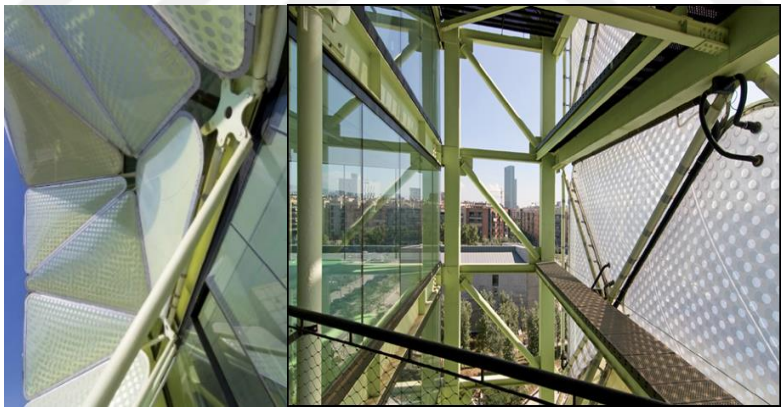
Media TIC yapısı İspanya'nın Barselona şehrinde, bilgi ve iletişim teknolojileri konusunda yeni projelerin tasarlandığı, üretildiği ve sergilendiği merkez olarak 2009

yılında tasarlanmış bir ofis yapısıdır. 8 katlı ve 38 m yükseklikteki yapı 23.104 m²'lik inşaat alanına sahiptir. Bina hacmi 44 m x 44 m x 37,82 m yükseklikteki bir küp formudur. Media TIC binasına ait proje künyesi Çizelge 3.9'da gösterilmektedir.

Çizelge 3.9 Media TIC binası proje künyesi (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

	**Yapı adı:**	Media TIC
	İşlev:	Hizmet (Ofis)
	Yer:	Barselona, İspanya
	Yapım yılı:	2009
	İnşaat alanı:	23.104 m²

Bu yapının en dikkat çekici özelliği iç mekânda termal ve görsel konfor sağlamak için ETFE panel kaplamalarından oluşan ikinci bir kontrol edilebilir adaptif kabuk sistemine sahip olmasıdır (Şekil 3.6). ETFE, şeffaf, yüksek ısı yalıtımı özelliği ve kendini temizleme özelliğine sahip hafif ve enerji etkin polimer bir malzemedir. ETFE'nin yapı örtüsüne entegresi ile daha etkin ve düşük bakım gerektiren sonuç elde edilebilmektedir (Tanisha, 2011).



Şekil 3.6 Media TIC dış cephe detayı

Güneydoğu cephesinde, üçgen bir çerçeve içinde sabit ve bir yastık gibi şişirilmiş üç katmandan (ilk kat şeffaf, diğeri ikisi noktalı) oluşan 0.2 mm kalınlığındaki ETFE paneller, dışarının ısısına karşı diyafram şeklinde çalışarak cepheyi yalıtmaktadır. Güneybatı cephesinde ise ETFE paneller güney doğu cephesinden farklı bir biçimde (lentiküler) ve 2 katlı olarak tasarlanmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 Media TIC yapısı güney-doğu ve güney batı cephesi, İspanya

Media TIC binasının cephesi ikinci bir kabuk olarak sistem düzeyinde adaptif olma özelliği göstermektedir. Ancak cephede kullanılan ETFE şekil değiştirme yeteneğine sahip akıllı bir malzeme olduğu için malzeme düzeyinde adaptif cephe özelliği de gösterebilir.

Belirli güneş ışığı karşısında cephede artan sıcaklık gömülü sensörler tarafından algılanarak ETFE panellerin içini nitrojen ile doldurarak şişirmektedir. Böylece içeride oluşan hava odacığı, opak ve yalıtımlı bir cephe oluşturarak termal ve görsel konforu sağlanmasına katkıda bulunmaktadır (Arkitektuel, 2018).

Cephede fiziksel çevre kontrolü sağlamak amacıyla adaptif cephe özelliği gösteren Media-TIC yapısı geleneksel tasarımlara kıyasla %75 oranında enerji tasarrufu sağlamaktadır. Ayrıca bölgesel soğutma ve temiz enerji ile %20 daha düşük CO_2 salınımı, çatıda PV panel kullanımı ile %10 daha düşük CO_2 salınımı, hareketli ETFE güneş filtreleri sayesinde %55 daha düşük CO_2 salınımı, akıllı algılayıcılar sayesinde sağlanan enerji tasarrufu ile %10 daha düşük CO_2 salınımı olmak üzere toplamda karbon emisyonlarında %95 azalma sağlamaktadır (Ruiz-Geli, 2011; Tanisha, 2011).

Media TIC Binası'nın adaptif cepheleri, güneş ışığını optimize ederek iç mekân sıcaklığını düzenlemektedir. Binanın dış cephesin paneller sayesinde, çevresel faktörlere göre değişerek enerji tasarrufunu artırmaktadır. Ayrıca akıllı sensörlerle entegre edilmiş bu cephe, çevresel koşullara hızlı bir şekilde uyum sağlamakta ve sürdürülebilir bir yapısal çözüm sunmaktadır.

Media TIC binası dış ortam sıcaklığına aktif bir teknoloji ile sistem düzeyinde uyum gösteren adaptif cephe örneğidir. Yapıya ait adaptif özellikleri özellikler Çizelge 3.10'da sınıflandırılarak gösterilmiştir.

Çizelge 3.10 Media TIC binası için adaptif cephe özellikleri sınıflandırma çizelgesi (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

<table>
<tr><th colspan="10">Media TIC Binası, İspanya, 2009</th></tr>
<tr><td colspan="10">ADAPTİF CEPHE ÖZELLİKLERİ</td></tr>
<tr><td>Dış Uyaran</td><td>Ilıman iklim</td><td colspan="2">Gün ışığı</td><td>Dış ortam sıcaklığı</td><td>Rüzgâr</td><td>Nem</td><td>Ses</td><td>Kirlilik</td><td>Kullanıcı</td></tr>
<tr><td>Amaç</td><td colspan="4">Fiziksel çevre kontrolü</td><td colspan="2">Enerji üretimi</td><td colspan="2">Kullanıcı ile etkileşim</td></tr>
<tr><td>Tepki</td><td colspan="4">Özellik değişimi</td><td colspan="2">Hareket</td><td colspan="2">Enerji üretimi</td></tr>
<tr><td>Uygulama ölçeği</td><td colspan="4">Malzeme</td><td colspan="3">Bileşen</td><td>Sistem</td></tr>
<tr><td>Adaptasyon ölçeği</td><td colspan="4">Mikro</td><td colspan="5">Makro</td></tr>
<tr><td>Kontrol prensibi</td><td colspan="4">İçsel kontrol</td><td colspan="5">Dışsal kontrol</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Kullanılan teknoloji</td><td colspan="3" rowspan="3">Pasif teknoloji</td><td>Pasif teknoloji</td><td colspan="2" rowspan="3">Aktif teknoloji</td><td colspan="3">Mekanik teknolojiler</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Malzeme tabanlı teknoloji</td><td colspan="3">Elektro-mekanik teknolojiler</td></tr>
<tr><td colspan="3">Bilgi teknolojileri</td></tr>
<tr><td>Tepki verme süresi</td><td colspan="3">Saniye</td><td>Dakika</td><td>Saat</td><td>Günlük</td><td>Mevsim</td><td>Diğer</td></tr>
</table>

3.1.5 Bloom Projesi

Bloom projesi 2011 yılında mimar Doris Kim Sung tarafından yüksek sıcaklıklar altında dinamik bir havalandırma sağlamak amacıyla inşa edilmiş geçici ve taşınabilir yapı kabuğu tasarımıdır (Kim. Erika, 2011). Bloom projesine ait proje künyesi Çizelge 3.11'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.11 Bloom projesi proje künyesi (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

	**Yapı adı:**	Bloom projesi
	İşlev:	Enstalasyon
	Yer:	California, ABD
	Yapım yılı:	2011
	İnşaat alanı:	Bilinmiyor.

Sung, bu kabuk tasarımında biyomimetik bir yaklaşım kullanarak, her biri kendi başına genleşme potansiyeline sahip iki farklı metalden oluşan termobimetal bir örtü tasarlamıştır. Bu özel örtü, iç ve dış yüzeylerde sıcaklığa bağlı olarak farklı oranlarda tepki verebilme, genişleme ve daralma yeteneğine sahiptir. Bu sayede, yapı güneş ışığına bağlı olarak bükülüp kıvrılabilmekte ve şeklini değiştirebilmektedir. Yüksek sıcaklık altında paneller açılarak daha fazla hava geçişine izin verirken, hava soğuduğunda tekrar kapanmaktadır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 Bloom projesi (Furuto, 2012)

Bilgisayar ortamında dijital olarak tasarlanan kabuk, lazerle kesilmiş 14.000 parçadan ve yapının alüminyum iskeleti üzerine yerleştirilmiş 414 hiperbolik paraboloit panelden meydana gelmektedir. Yapıdaki havalandırma ve gün ışığına tepki, bu panellerin yardımıyla sağlanmaktadır. Bloom, biyometrik tasarım ve dinamik tepkilerle çevresel değişikliklere uyum sağlayabilen özgün bir yapıdır (L. Aelenei vd., 2015).

Bloom projesi dış ortam sıcaklığına malzeme tabanlı pasif bir teknoloji ile uyum gösteren malzeme düzeyinde adaptif cephe örneğidir. Yapıya ait adaptif özellikleri özellikler Çizelge 3.12'de sınıflandırılarak gösterilmiştir.

Çizelge 3.12 Bloom projesi için adaptif cephe özellikleri sınıflandırma çizelgesi (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

<table>
<tr><th colspan="9">Bloom projesi, ABD, 2011</th></tr>
<tr><td colspan="9">ADAPTİF CEPHE ÖZELLİKLERİ</td></tr>
<tr><td>Dış Uyaran</td><td colspan="2">Kuru iklim</td><td>Gün ışığı</td><td>Dış ortam sıcaklığı</td><td>Rüzgâr</td><td>Nem</td><td>Ses</td><td>Kirlilik</td><td>Kullanıcı</td></tr>
<tr><td>Amaç</td><td colspan="5">Fiziksel çevre kontrolü</td><td colspan="2">Enerji üretimi</td><td colspan="2">Kullanıcı ile etkileşim</td></tr>
<tr><td>Tepki</td><td colspan="4">Özellik değişimi</td><td colspan="2">Hareket</td><td colspan="3">Enerji üretimi</td></tr>
<tr><td>Uygulama ölçeği</td><td colspan="4">Malzeme</td><td colspan="3">Bileşen</td><td colspan="2">Sistem</td></tr>
<tr><td>Adaptasyon ölçeği</td><td colspan="4">Mikro</td><td colspan="5">Makro</td></tr>
<tr><td>Kontrol prensibi</td><td colspan="4">İçsel kontrol</td><td colspan="5">Dışsal kontrol</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Kullanılan teknoloji</td><td rowspan="3">Pasif teknoloji</td><td colspan="3">Pasif teknoloji</td><td rowspan="3">Aktif teknoloji</td><td colspan="3">Mekanik teknolojiler</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">Malzeme tabanlı teknoloji</td><td colspan="3">Elektro-mekanik teknolojiler</td></tr>
<tr><td colspan="3">Bilgi teknolojileri</td></tr>
<tr><td>Tepki verme süresi</td><td colspan="2">Saniye</td><td colspan="2">Dakika</td><td>Saat</td><td>Günlük</td><td>Mevsim</td><td>Diğer</td></tr>
</table>

3.1.6 Al Bahar Kuleleri

Al Bahar kuleleri 2013 yılında Aedas Architects tarafından Birleşik Arap Emirlikleri'nde tasarlanmış, kinetik bir cepheye sahip, duyarlı ve adaptif bir cephe örneğidir. Al Bahar Kuleleri'ne ait proje künyesi Çizelge 3.13'te gösterilmektedir.

Çizelge 3.13 Al Bahar Kuleleri proje künyesi (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

<table>
<tr><td rowspan="5"></td><td>Yapı adı:</td><td>Al Bahar kuleleri</td></tr>
<tr><td>İşlev:</td><td>Hizmet</td></tr>
<tr><td>Yer:</td><td>Abu Dabi, Birleşik Arap Emirlikleri</td></tr>
<tr><td>Yapım yılı:</td><td>2013</td></tr>
<tr><td>İnşaat alanı:</td><td>5.600 m²</td></tr>
</table>

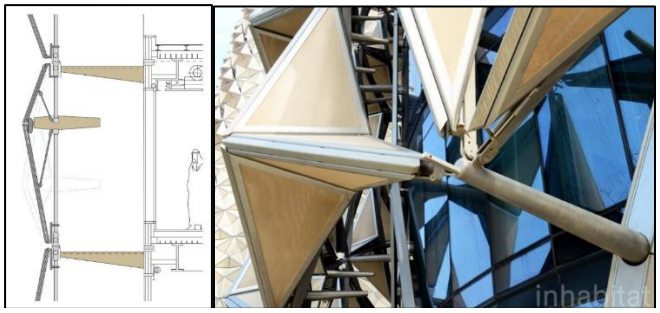
Yapının cephesinde ısı kazancını dengelemek amacıyla geleneksel islami bir motif olan "mashrabiya" dan ilham alınarak hidrolik sistemle açılıp kapanan gölgeleme elemanları tasarlanmıştır (Şekil 3.9). Şemsiyeye benzer bir geometriye sahip olan bu elemanlar sayesinde dış ortamdan sensörler ile algılanan gün ışığı verilerine göre hareket gerçekleştirmektedir. (Attia, 2017)

Merkezi bina yönetimine bağlı olarak gerçekleştirilen uyum ile yapının aynı zamanda zeki (intelligent) bir cephe olduğunu söylenebilir. İklimsel ve görsel konfor koşullarını sağlamayı amaçlayan cephenin çalışma prensibi hidrolik sisteme dayanmaktadır.



Şekil 3.9 Al Bahar kuleleri cephesi

Aktivatörlü cephe panelleri üçgen fiberglas + PTFE kaplı (teflon kaplı cam lif örtü) cephe elemanlarından oluşmaktadır (Şekil 3.10). Bu sistem parlamanın azaltılması, yeterli günışığı alımı ve istenmeyen gün ışığı kazancının %50 azaltılması gibi avantajlara sahiptir.



Şekil 3.10 Al Bahar Kuleleri cephe panel detayı

Yapılan araştırmalara göre Al Bahar kulelerinin gün ışığına uyum sağlayan adaptif cephesi sayesinde ofis alanlarında %50, binanın tamamında ise %20 enerji tasarrufu ve buna bağlı olarak karbon emisyonlarında ise yılda yaklaşık %30 oranında azalma sağlandığı görülmüştür. Fiziksel çevre kontrolü ve enerji verimliliği sağlamada her ne kadar olumlu etkilere sahip olsa da dış ortam ile etkileşim konusunda kullanıcıların bakış açısını kısıtladığı için iyi bir performans sergilemediği düşünülmektedir (Architizer, 2013).

Attia'nın 2017 tarihli çalışmasında, Al Bahr Kuleleri'nde yapılan anket sonuçlarına göre, kulenin 2. bölgesinde çalışanların termal konforu değerlendirildiğinde, %12'sinin çok rahat, %42'sinin rahat, %32'sinin nötr, %10'unun rahatsız ve %4'ünün çok rahatsız olduğu belirlenmiştir. Kadınların rahatsızlığı genellikle aşırı soğumadan kaynaklanmaktadır. Doğal aydınlatma açısından, %20'sinin rahatsız olmadığı ve %40'ının çok rahatsız olduğu görülmüştür. Rahatsızlık, parlamadan çok maşrabiyenin otomatik açılıp kapanmasından kaynaklanmaktadır. Katılımcılar, maşrabiyenin düzenli açılıp kapanmasının rahatsız edici olduğunu ve kişisel ortam kontrolüne izin vermediğini belirtmiştir. Kullanıcı kontrollü stor perdeler genellikle açık tutulmakta ve otomasyon, iç mekân kontrolünde pasiflik yaratmaktadır. Şu ana kadar, iki kuledeki 1000 çalışandan 22'sinin temsili verileri elde edilmiştir.

Al Bahar Kuleleri için adaptif cephe özellikleri Çizelge 3.14'te sınıflandırılarak gösterilmiştir.

Çizelge 3.14 Al Bahar Kuleleri için adaptif cephe özellikleri sınıflandırma çizelgesi (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

<table>
<tr><th colspan="9">Al Bahar Kuleleri, Birleşik Arap Emirlikleri, 2013</th></tr>
<tr><td colspan="9">ADAPTİF CEPHE ÖZELLİKLERİ</td></tr>
<tr><td>Dış Uyaran</td><td>Kuru iklim</td><td>Gün ışığı</td><td>Dış ortam sıcaklığı</td><td>Rüzgâr</td><td>Nem</td><td>Ses</td><td>Kirlilik</td><td>Kullanıcı</td></tr>
<tr><td>Amaç</td><td colspan="3">Fiziksel çevre kontrolü</td><td colspan="2">Enerji üretimi</td><td colspan="2">Kullanıcı ile etkileşim</td></tr>
<tr><td>Tepki</td><td colspan="3">Özellik değişimi</td><td>Hareket</td><td colspan="3">Enerji üretimi</td></tr>
<tr><td>Uygulama ölçeği</td><td colspan="3">Malzeme</td><td colspan="3">Bileşen</td><td>Sistem</td></tr>
<tr><td>Adaptasyon ölçeği</td><td colspan="3">Mikro</td><td colspan="5">Makro</td></tr>
<tr><td>Kontrol prensibi</td><td colspan="3">İçsel kontrol</td><td colspan="5">Dışsal kontrol</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Kullanılan teknoloji</td><td rowspan="3">Pasif teknoloji</td><td colspan="2">Pasif teknoloji</td><td rowspan="3">Aktif teknoloji</td><td colspan="3">Mekanik teknolojiler</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Malzeme tabanlı teknoloji</td><td colspan="3">Elektro-mekanik teknolojiler</td></tr>
<tr><td colspan="3">Bilgi teknolojileri</td></tr>
<tr><td>Tepki verme süresi</td><td>Saniye</td><td colspan="2">Dakika</td><td>Saat</td><td>Günlük</td><td>Mevsim</td><td>Diğer</td></tr>
</table>

3.1.7 Biyoreaktör Evi (BIQ House, SolarLeaf)

Biyoreaktör evi Hamburg'daki bir konut yapısının 225 m²'lik dış cephesine foto biyoreaktör entegre edilerek uygulanan bir adaptif cephe örneğidir. 2013 yılında ARUP tarafından gerçekleştirilen projede cephe yenilenebilir enerji kaynakları olarak biyokütle ve ısı üretir. Biyoreaktör Evi'ne ait proje künyesi Çizelge 3.15'te gösterilmektedir.

Çizelge 3.15 Biyoreaktör Evi proje künyesi (Yazar tarafından oluşturulmuştur)



Yapı adı:	Biyoreaktör Evi (BIQ House)
İşlev:	Konut
Yer:	Hamburg, Almanya
Yapım yılı:	2013
İnşaat alanı:	225 m²

129 adet 70 cm x 250 cm'lik biyoreaktörden oluşan dış cephede her bir reaktör içerisindeki sıvıdaki algler gün ışığı ile büyüyerek biyokütle enerjisi üretmektedir. Biyokütle enerjisinin yakılması ile üretilen enerji yapının tüm ısı ve enerji ihtiyacını karşılanması sağlamaktadır (Şekil 3.11). Aynı zamanda cephe, dinamik gölgeleme, ısı yalıtımı ve işitsel konfor sağlama gibi çeşitli fonksiyonlara sahiptir (Architonic, 2013).



Şekil 3.11 Biyoreaktör evi cephesi ve biyoreaktör panel detayı

Biyoreaktör evi için tasarım aşamasında yapılan testlerde, her yıl metrekare başına 30 kWh biyoenerji ve 150 kWh ısı enerjisi üretmesi öngörülmüştür. Cephe, yıllık olarak binanın CO_2 emisyonlarını 6 ton azaltmakta ve biyokütle yoluyla 2,5 ton CO_2 emilimi sağlamaktadır. Foto biyoreaktör sisteminin ışığı biyoenerjiye çevirme verimliliği %10, ısıya çevirme verimliliği ise %38'dir (Arup, 2013).

Biyoreaktif cephe sisteminin tasarım aşamasında yaklaşık %40 ısı enerjisi ve %8 biyokütle üretim verimliliği öngörülmüş olmasına rağmen, izleme sonuçlarına göre bu oranlar %21 ısı enerjisi ve %4,4 biyokütle olarak gerçekleşmiştir. Bu farkın nedeni, sistemin teknik sorunlar yaşaması, özellikle ısı eşanjörlerinin yetersizliği ve reaktörlerdeki alüminyum bileşenlerin korozyona uğramasıdır. Sistem, yıllık 26.000 kWh enerji üretmeyi hedeflerken, bu sorunlar nedeniyle toplam ısı ve biyokütle üretimi beklenenin yaklaşık %50 altında kalmış; ısı üretimi yaklaşık 22.500 kWh, biyokütle üretimi ise 600 kg (4.539 kWh) olmuştur. Biyoreaktör cepheleri her yıl yaklaşık 75.095 kWh güneş ışığı almış, 185 m² aktif cephe alanına göre bu değer 102.909 kWh olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, sistemin çalıştırılması için 2(Wurm & Pauli, 2016) Wh elektrik tüketilmiştir (Wurm & Pauli, 2016). Biyoreaktör Evi için adaptif cephe özellikleri Çizelge 3.16'da sınıflandırılarak gösterilmiştir.

Çizelge 3.16 Biyoreaktör evi için adaptif cephe özellikleri sınıflandırma çizelgesi (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

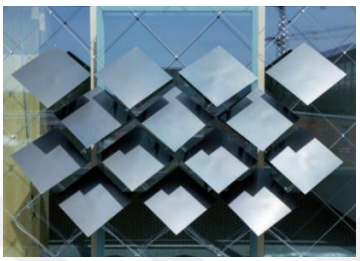
<table>
<tr><th colspan="9">Biyoreaktör evi, Hamburg, 2013</th></tr>
<tr><td colspan="9">ADAPTİF CEPHE ÖZELLİKLERİ</td></tr>
<tr><td>Dış Uyaran</td><td>Ilıman iklim</td><td>Gün ışığı</td><td>Dış ortam sıcaklığı</td><td>Rüzgâr</td><td>Nem</td><td>Ses</td><td>Kirlilik</td><td>Kullanıcı</td></tr>
<tr><td>Amaç</td><td colspan="4">Fiziksel çevre kontrolü</td><td colspan="2">Enerji üretimi</td><td colspan="2">Kullanıcı ile etkileşim</td></tr>
<tr><td>Tepki</td><td colspan="3">Özellik değişimi</td><td colspan="2">Hareket</td><td colspan="3">Enerji üretimi</td></tr>
<tr><td>Uygulama ölçeği</td><td colspan="3">Malzeme</td><td colspan="3">Bileşen</td><td colspan="2">Sistem</td></tr>
<tr><td>Adaptasyon ölçeği</td><td colspan="4">Mikro</td><td colspan="4">Makro</td></tr>
<tr><td>Kontrol prensibi</td><td colspan="4">İçsel kontrol</td><td colspan="4">Dışsal kontrol</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Kullanılan teknoloji</td><td rowspan="3">Pasif teknoloji</td><td colspan="2">Pasif teknoloji</td><td rowspan="3" colspan="2">Aktif teknoloji</td><td colspan="3">Mekanik teknolojiler</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Malzeme tabanlı teknoloji</td><td colspan="3">Elektro-mekanik teknolojiler</td></tr>
<tr><td colspan="3">Bilgi teknolojileri</td></tr>
<tr><td>Tepki verme süresi</td><td colspan="2">Saniye</td><td colspan="2">Dakika</td><td>Saat</td><td>Günlük</td><td>Mevsim</td><td>Diğer</td></tr>
</table>

3.1.8 House of Natural Resources (Adaptive Solar Facade)

Adaptive Solar Facade güneş hareketini takip eden fotovoltaik panellerden oluşan uyarlanabilir bir fotovoltaik cephe modülüdür. Bu modülün ilk prototipi 2015 yılında

yenilikçi yapısal elemanların geliştirilmesini, uygulanmasını ve yerinde izlenmesini amaçlayan bir ofis olan House of Natural Resources'ın güney cephesinde uygulanmıştır (ETH Zürich, 2024b). House of Natural Resources'e ait proje künyesi Çizelge 3.16'da gösterilmektedir.

Çizelge 3.17 House of Natural Resources proje künyesi (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

	**Yapı adı:**	House of Natural Resources (Adaptive Solar Facade)
	İşlev:	Ofis
	Yer:	Berlin, Almanya
	Yapım yılı:	2015
	İnşaat alanı:	Bilinmiyor.

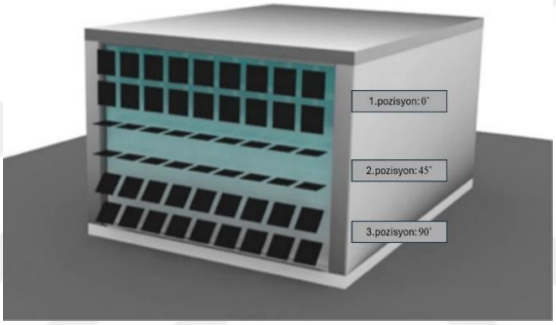
3.9 x 3.2 m boyutlarında çerçevenin içerisine 50 adet bireysel PV panelden oluşan Adaptive Solar Facade sisteminde her bir PV panel robotik güneş takipçisi tarafından kontrol edilmektedir (Şekil 3.12). Sensörler vasıtasıyla uygun açıya gelen panellerin hareketi pnömatik çalışan aktüatörler vasıtasıyla gerçekleşmektedir. Sistem içerisinde yer alan termal konfor, ısı, nem ve aydınlatma sensörleri sayesinde iç mekân koşulları sürekli olarak izlenmekte ve optimize edilmektedir. Her bir fotovoltaik modülün toplam ağırlığı, montaj ve izleme mekanizmalarıyla birlikte yaklaşık 0,8 kilogramdır. Bu hafif sistem, mevcut binalara kolaylıkla entegre edilmesine imkân tanıyarak çeşitli kullanım alanları için uygun bir çözüm sunmaktadır. (Nagy ve diğ., 2016; Svetozarevic ve diğ., 2016)



Şekil 3.12 House of Natural Resources güney cephesi adaptive solar facade uygulaması (ETH Zürich, 2024a)

PV panellerin uygulanabilirliğini analiz etmek için modülün inşasından önce House of Natural Resources yapısının güney cephesinde yer alan bir ofis bölümünde bazı simülasyon deneyleri yapılmıştır. Simülasyonlarda cephe modülünün ısıtma, soğutma, elektrik enerjisi talebini ve güneşten elektrik üretimini analiz edilmek hedeflenmiştir (Nagy vd., 2016).

Cephedeki her bir güneş paneli 40x40 cm boyutlarında ve üç açıda olacak şekilde simüle edilmiştir. İlk senaryoda paneller kapalı pozisyonda 0˚ açı ile, ikinci senaryoda bir yatay açı ile ve son olarak tamamen açık pozisyonda 90˚ yatay açı olacak şekilde konumlandırılmıştır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 Adaptive Solar Facade simülasyon modeli (Nagy vd., 2016)

15˚'lik açılarda hareket edebilme yeteneğine sahip tüm paneller yıl boyunca saatlik olarak değişerek farklı örüntüler oluşturmaktadır. Energy Plus programında yapılan termal analizler sonucunda uyarlanabilir güneş cephesinin (ASF), gölgelemesiz bir cepheye kıyasla %56 ve 45 derecelik sabit panjurlu cepheye kıyasla %24 enerji tasarrufu sağladığı görülmüştür (Nagy vd., 2016).

Cephedeki güneş modülleri enerji üretiminin yanı sıra, iç mekân için gölgeleme ve gün ışığı kontrolü sağlamaktadır. Ayrıca istenen durumlarda yapı kullanıcısının bireysel müdahalesine imkân tanımaktadır. Hassas, hareketli fotovoltaik modüller, bina kabuğundaki hafif bir yapıya monte edilebilmekte ve hem restorasyon hem de yeni inşaat projeleri için uygundur. Düşük ağırlıkları, geleneksel güneş enerjisi sistemleri için uygun olmayan yerlere kurulmalarına da olanak tanımaktadır (ETH Zürich, 2024a).

House of Natural Resources yapısında uygulanan Adaptive Solar Facade sistemi aktif bir teknoloji ile gün ışığını elektrik enerjisine dönüştürerek enerji üreten ve bileşen düzeyinde uyum gösteren bir adaptif cephe örneğidir. Yapıya ait adaptif özellikleri özellikler Çizelge 3. 18' de sınıflandırılarak gösterilmektedir.

Çizelge 3.18 House of Natural Resources (Adaptive Solar Facade) için adaptif cephe özellikleri sınıflandırma çizelgesi (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

<table>
<tr><th colspan="10">House of Natural Resources (Adaptive Solar Facade), Almanya, 2015</th></tr>
<tr><td colspan="10">ADAPTİF CEPHE ÖZELLİKLERİ</td></tr>
<tr><td>Dış Uyaran</td><td colspan="2">Ilıman iklim</td><td>Gün ışığı</td><td>Dış ortam sıcaklığı</td><td>Rüzgâr</td><td>Nem</td><td>Ses</td><td>Kirlilik</td><td>Kullanıcı</td></tr>
<tr><td>Amaç</td><td colspan="5">Fiziksel çevre kontrolü</td><td colspan="2">Enerji üretimi</td><td colspan="2">Kullanıcı ile etkileşim</td></tr>
<tr><td>Tepki</td><td colspan="4">Özellik değişimi</td><td colspan="2">Hareket</td><td colspan="2">Enerji üretimi</td></tr>
<tr><td>Uygulama ölçeği</td><td colspan="4">Malzeme</td><td colspan="3">Bileşen</td><td>Sistem</td></tr>
<tr><td>Adaptasyon ölçeği</td><td colspan="4">Mikro</td><td colspan="5">Makro</td></tr>
<tr><td>Kontrol prensibi</td><td colspan="4">İçsel kontrol</td><td colspan="5">Dışsal kontrol</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Kullanılan teknoloji</td><td rowspan="3" colspan="2">Pasif teknoloji</td><td colspan="3">Pasif teknoloji</td><td rowspan="3" colspan="2">Aktif teknoloji</td><td colspan="2">Mekanik teknolojiler</td></tr>
<tr><td rowspan="2" colspan="3">Malzeme tabanlı teknoloji</td><td colspan="2">Elektro-mekanik teknolojiler</td></tr>
<tr><td colspan="2">Bilgi teknolojileri</td></tr>
<tr><td>Tepki verme süresi</td><td colspan="2">Saniye</td><td colspan="3">Dakika</td><td>Saat</td><td>Günlük</td><td>Mevsim</td><td>Diğer</td></tr>
</table>

3.1.9 Festo Otomasyon Merkezi

Festo Otomasyon Merkezi 2015 yılında Almanya'da inşa edilmiş karma kullanıma sahip bir ofis yapısıdır. Yapı 67 m yüksekliğe sahip olup tabanı eşkenar dörtgen şeklinde olan bir forma sahiptir. Festo Otomasyon Merkezi'ne ait proje künyesi Çizelge 3.19'da gösterilmektedir.

Çizelge 3.19 Festo Otomasyon Merkezi proje künyesi (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

<table>
<tr><td rowspan="5"></td><td>Yapı adı:</td><td>Festo Otomasyon Merkezi</td></tr>
<tr><td>İşlev:</td><td>Karma (ofis ve konut)</td></tr>
<tr><td>Yer:</td><td>Esslingen, Almanya</td></tr>
<tr><td>Yapım yılı:</td><td>2015</td></tr>
<tr><td>İnşaat alanı:</td><td>12.000 m²</td></tr>
</table>

Bu yapının en dikkat çekici özelliklerinden biri elektrokromik camlardan oluşan 8500 m²'lik içten havalandırmalı giydirme cepheye sahip olmasıdır (Şekil 3.14). Kullanıcı kontrolü ile açılabilen pencereler sayesinde doğal havalandırma akıllı camlar sayesinde ise gün ışığı ve sıcaklık kontrolü sağlanmaktadır. Böylelikle istenmeyen ışık ve ısı kazanç ya da kayıpları engellenmektedir.



Şekil 3.14 Festo Otomasyon Binası cephesi

Yapının soğutma prensibi, cephede bulunan parlama önleyici perdeler ve alüminyum çerçeveli birleştirilmiş cam pencerelerin doğrudan gün ışığına maruz kaldığında istenmeyen ısınan havayı dışarı atmasından oluşan bir sisteme dayanmaktadır. Böylelikle kazanılan sıcak havanın doğrudan ofis alanlarına ulaşması engellenmektedir. Ayrıca 3 katlı ve U değeri 1.3 W/m²' den oluşan elektrokromik camlara verilen düşük voltaj sayesinde ısı ve ışık geçirgenliğini azaltmaktadır. Bu sistemin olumlu yanlarından birinin bakış açısını sınırlandırmadan kullanıcı konforu ve enerji tüketimini iyileştirmeye imkân tanımasıdır (Festo Sustainability Report, 2020).

Bina otomasyon yetkileri tarafından bildirilen bilgiye göre yapıda iç ortam sıcaklığının 36 °C'yi geçmediği aktarılmıştır (Denz ve diğ.,2019). Ayrıca DGNB platin sertifikasına sahip olan yapı %35'e varan enerji tasarrufu sağlamaktadır (Festo Sustainability Report, 2020). Festo Otomasyon Binası için adaptif cephe özellikleri Çizelge 3.20'de sınıflandırılarak gösterilmiştir.

Çizelge 3.20 Festo Otomasyon Binası için adaptif cephe özellikleri sınıflandırma çizelgesi (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

<table>
<tr><th colspan="10">Festo Otomasyon Binası, Almanya, 2015</th></tr>
<tr><td colspan="10">ADAPTİF CEPHE ÖZELLİKLERİ</td></tr>
<tr><td>Dış Uyaran</td><td colspan="2">ılıman iklim</td><td>gün ışığı</td><td>dış ortam sıcaklığı</td><td>Rüzgâr</td><td>nem</td><td>ses</td><td>kirlilik</td><td>kullanıcı</td></tr>
<tr><td>Amaç</td><td colspan="5">fiziksel çevre kontrolü</td><td colspan="2">enerji üretimi</td><td colspan="2">kullanıcı ile etkileşim</td></tr>
<tr><td>Tepki</td><td colspan="4">özellik değişimi</td><td colspan="2">hareket</td><td colspan="3">enerji üretimi</td></tr>
<tr><td>Uygulama ölçeği</td><td colspan="4">malzeme</td><td colspan="3">bileşen</td><td colspan="2">sistem</td></tr>
<tr><td>Adaptasyon ölçeği</td><td colspan="4">mikro</td><td colspan="5">makro</td></tr>
<tr><td>Kontrol prensibi</td><td colspan="4">içsel kontrol</td><td colspan="5">dışsal kontrol</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Kullanılan teknoloji</td><td rowspan="3">pasif teknoloji</td><td colspan="3">pasif teknoloji</td><td rowspan="3">aktif teknoloji</td><td colspan="4">mekanik teknolojiler</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">malzeme tabanlı teknoloji</td><td colspan="4">elektro-mekanik teknolojiler</td></tr>
<tr><td colspan="4">bilgi teknolojileri</td></tr>
<tr><td>Tepki verme süresi</td><td>saniye</td><td colspan="3">Dakika</td><td>saat</td><td>günlük</td><td>mevsim</td><td colspan="2">diğer</td></tr>
</table>

3.2 Türkiye'de adaptif cephe uygulama örneklerinin incelenmesi

Çalışmanın bu bölümünde dünyadaki adaptif cepheler ve adaptif cephelerin özellikleri referans alınarak Türkiye'de adaptif cepheye sahip üç yapı seçilmiştir. Seçilen örnekler farklı adaptif cephe teknolojisiyle tasarlanmış 2015 yılından sonra İstanbul'da yer alan örnekleri kapsamaktadır. Yapılar hakkında verildikten sonra adaptif cephe bağlamında yapılar incelenmiş ve sınıflandırılmıştır.

3.2.1 Protel Yönetim Ofisi

Protel Yönetim Binası İstanbul Şişli'de 2015 yılında HS mimarlık tarafından tasarlanmış ofis yapısıdır. Yaklaşık 826 m² alana sahip dikdörtgen bir arsada 16m x 18m taban alanına konumlanan yapı; zemin kat, 1. kat, 2. kat, çatı katı, teras ve 4 bodrum kat olacak şekilde 8 kattan oluşmaktadır. Protel Yönetim Ofisi'ne ait proje künyesi Çizelge 3.21'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.21 Protel Yönetim Ofisi proje künyesi (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

	**Yapı adı:**	Protel Yönetim Ofisi
	İşlev:	Ticari (ofis)
	Yer:	İstanbul, Türkiye
	Yapım yılı:	2015
	İnşaat alanı:	826 m²

Üst katlarda 2m konsol ile kat alanı genişletilen yapıya giriş sokak ile yapı arası geçiş köprüleri ile sağlanmaktadır. Yapının giriş cephesinde sokak ile iletişim kurulurken arka cephesinde arka bahçe ile görsel iletişim kurulmaktadır (Şekil 3.15).



Şekil 3.15 Protel Yönetim Ofisi dış cephesi

Yapının 1. ve 2. katında cam cepheden oluşan cephesinin dışına alüminyum delikli metal güneş kırıcı panellerden oluşan ikincil bir cephe tasarlanmıştır. Pivot hareket yapan alüminyum paneller ile gün ışığı kontrolü sağlayan ikincil cephe yapı içindeki görsel ve termal konforun sağlanmasına katkıda bulunmaktadır. 40 cm genişliğinde 325 cm uzunluğunda olan paneller bir yazılım aracılığıyla otomasyon sistemi ile kontrol edilmektedir. Ayrıca güneş açısına göre 30, 45, 90 derece gibi özel açılarda sabitlenebilmektedir (Şekil 3. 16) (Arkiv, 2024c)



Şekil 3.16 Protel Yönetim Ofisi dış cephesi panel detayı

Protel Yönetim Ofisi için adaptif cephe özellikleri Çizelge 3.22'de sınıflandırılarak gösterilmiştir.

Çizelge 3.22 Protel Yönetim Ofisi için adaptif cephe özellikleri sınıflandırma çizelgesi (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

<table>
<tr><th colspan="10">Protel Yönetim Ofisi, Türkiye, 2015</th></tr>
<tr><td colspan="10">ADAPTİF CEPHE ÖZELLİKLERİ</td></tr>
<tr><td>Dış Uyaran</td><td>ılıman iklim</td><td>gün ışığı</td><td>dış ortam sıcaklığı</td><td>Rüzgâr</td><td>nem</td><td>ses</td><td>kirlilik</td><td>kullanıcı</td><td></td></tr>
<tr><td>Amaç</td><td colspan="5">fiziksel çevre kontrolü</td><td>enerji üretimi</td><td colspan="3">kullanıcı ile etkileşim</td></tr>
<tr><td>Tepki</td><td colspan="4">özellik değişimi</td><td>hareket</td><td colspan="4">enerji üretimi</td></tr>
<tr><td>Uygulama ölçeği</td><td colspan="4">malzeme</td><td colspan="3">bileşen</td><td>sistem</td></tr>
<tr><td>Adaptasyon ölçeği</td><td colspan="4">mikro</td><td colspan="5">makro</td></tr>
<tr><td>Kontrol prensibi</td><td colspan="4">içsel kontrol</td><td colspan="5">dışsal kontrol</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Kullanılan teknoloji</td><td rowspan="3">pasif teknoloji</td><td colspan="3">pasif teknoloji</td><td rowspan="3">aktif teknoloji</td><td colspan="4">mekanik teknolojiler</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">malzeme tabanlı teknoloji</td><td colspan="4">elektro-mekanik teknolojiler</td></tr>
<tr><td colspan="4">bilgi teknolojileri</td></tr>
<tr><td>Tepki verme süresi</td><td>saniye</td><td>dakika</td><td colspan="2">saat</td><td>günlük</td><td>mevsim</td><td colspan="2">diğer</td></tr>
</table>

3.2.2 OdeaBank Suadiye Şubesi

Odeabank Suadiye Şubesi 2016 yılında İstanbul'da I-AM tarafından iç mekân ve cephe yenileme uygulaması yapılarak tasarlanmış ticari yapıdır. Bağdat caddesinde yer alan ve 1590 m²'ik inşaat alanına sahip olan yapı 5 katlıdır. OdeaBank Suadiye Şubesi'ne ait proje künyesi Çizelge 3.23'te gösterilmektedir.

Çizelge 3.23 OdeaBank Suadiye Şubesi proje künyesi (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

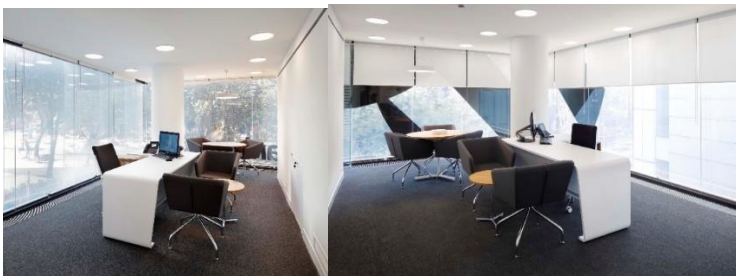
	**Yapı adı:**	OdeaBank Suadiye Şubesi
	İşlev:	Ticari (Ofis)
	Yer:	İstanbul, Türkiye
	Yapım yılı:	2016
	İnşaat alanı:	1.590 m²

Yapının tasarımında bankanın markasını yansıtan dinamizmini ve yenilikçi yaklaşımı, yapının cephesinden başlayarak iç mekan tasarımına yansıtılması düşünülmüştür. Bu bağlamda mevcut binanın cephesi tamamen soyularak, eski binanın strüktürünün üzerine yeni bir kabuk tasarlanmıştır (Arkiv, 2024b).



Şekil 3.17 Odeabank Suadiye Şubesi likit kristal cam cephesi saydam ve opak görünümü (Yazarın kişisel arşivinden)

Yeni dış cephe ön yüzünde (kuzey-doğu) likit kristal cam ve arkasında standart cam ile çift cidarlı olarak tasarlanmıştır. Ön yüzde kullanılan cam teknolojisi cephenin istendiğinde şeffaf istendiğinde opak olmasını sağlamıştır (Şekil 3.17 ve Şekil 3.18). Böylelikle çalışanlara gün içerisinde dışarıyı görebilme imkânı tanırken, mesai saatleri dışında opak görüntüsü ile ikonik bir tasarım ögesi oluşturmak mümkün olması hedeflenmiştir. Ayrıca iç mekân ile sokak arasında güçlü ilişkisini kurma fikrinden yola çıkarak, caddedeki insanların dikkatini çekecek ve kendine çekecek bir tasarım oluşturulmuştur (Arkiv, 2024b).



Şekil 3.18 Odeabank Suadiye Şubesi likit kristal cam cephe saydam ve opak iç ortam görünüşü (Arkiv, 2024b).

Yapının güvenliği ve cephe sisteminin kontrolünden sorumlu olan görevli yapılan görüşmede cephedeki kristal cam teknolojisinin bir yazılım aracılığıyla mesai saatlerine ayarlı şekilde otomatik olarak kontrol edildiği tespit edilmiştir. Aç-kapa şeklinde bir sisteme sahip olan teknolojinin istenildiğinde görevlinin yazılıma müdahalesine izin verecek şekilde tasarlandığını ifade etmiştir. Odeabank Suadiye Şubesi için adaptif cephe özellikleri Çizelge 3.24'te sınıflandırılarak gösterilmiştir.

Çizelge 3.24 Odeabank Suadiye Şubesi için adaptif cephe özellikleri sınıflandırma çizelgesi (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

<table>
<tr><th colspan="10">Odeabank Suadiye Şubesi, İstanbul, Türkiye, 2016</th></tr>
<tr><td colspan="10">ADAPTİF CEPHE ÖZELLİKLERİ</td></tr>
<tr><td>Dış Uyaran</td><td>Ilıman iklim</td><td>Gün ışığı</td><td>Dış ortam sıcaklığı</td><td>Rüzgâr</td><td>Nem</td><td>Ses</td><td>Kirlilik</td><td>Kullanıcı</td><td></td></tr>
<tr><td>Amaç</td><td colspan="3">Fiziksel çevre kontrolü</td><td colspan="3">Enerji üretimi</td><td colspan="3">Kullanıcı ile etkileşim</td></tr>
<tr><td>Tepki</td><td colspan="3">Özellik değişimi</td><td colspan="3">Hareket</td><td colspan="3">Enerji üretimi</td></tr>
<tr><td>Uygulama ölçeği</td><td colspan="3">Malzeme</td><td colspan="3">Bileşen</td><td colspan="3">Sistem</td></tr>
<tr><td>Adaptasyon ölçeği</td><td colspan="5">Mikro</td><td colspan="5">Makro</td></tr>
<tr><td>Kontrol prensibi</td><td colspan="4">İçsel kontrol</td><td colspan="6">Dışsal kontrol</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Kullanılan teknoloji</td><td rowspan="3">Pasif teknoloji</td><td colspan="3">Pasif teknoloji</td><td rowspan="3">Aktif teknoloji</td><td colspan="4">Mekanik teknolojiler</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">Malzeme tabanlı teknoloji</td><td colspan="4">Elektro-mekanik teknolojiler</td></tr>
<tr><td colspan="4">Bilgi teknolojileri</td></tr>
<tr><td>Tepki verme süresi</td><td colspan="2">Saniye</td><td colspan="2">Dakika</td><td colspan="2">Saat</td><td>Günlük</td><td>Mevsim</td><td>Diğer</td></tr>
</table>

3.2.3 Garanti BBVA Teknoloji Kampüsü

Garanti BBVA Kampüsü, 2017 yılında İstanbul Pendik'te ticari amaçlar için tasarlanmış bir iş merkezi projesidir. Era Mimarlık tarafından tasarlanan bu yapı, 50 dönümlük eski bir fabrika alanı üzerine inşa edilmiş olup, 142 bin metrekarelik kapalı alana sahiptir (Arkitektuel, 2020). Garanti BBVA Teknoloji Kampüsü'ne ait proje künyesi Çizelge 3.25'te gösterilmektedir.

Çizelge 3.25 Garanti BBVA Teknoloji Kampüsü proje künyesi (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

	**Yapı adı:**	Garanti BBVA Teknoloji Kampüsü
	İşlev:	Ticari (ofis)
	Yer:	İstanbul, Türkiye
	Yapım yılı:	2017
	İnşaat alanı:	142.000 m²

Kampüs, yapay tepelerin üzerine hafifçe yerleşen ve çalışma mekanlarını barındıran "kristal" bir ana hacimle tasarlanmıştır. Bu merkezi yapı, adeta bir "kristal" gibi parçalara ayrılmıştır. Her bir parça, farklı yapay tepelerin üzerine yerleştirilmiş ve kendi benzersiz karakterini taşımaktadır. Bu parçalar arasında, ilgi çekici asma köprüler ve zarif giydirme cam duvarlar ile bağlantılar ile bütünlük oluşturulmuştur (Şekil 3.19) (ArchDaily, 2019)



Şekil 3.19 Garanti BBVA Teknoloji Kampüsü hava fotoğrafı

Çalışma alanlarında esneklik ve gün ışığının en etkin şekilde kullanılması fikrine dayanarak ofis alanları, zemin seviyesinden 11 metre yükseklikte yer alan açık avlular etrafında konumlandırılmıştır (Şekil 3.20). Bu yerleşim ile çalışanların doğal ışıktan

maksimum derecede faydalanmasını sağlayarak çalışma ortamlarının konforunu artırmak hedeflenmiştir. Ayrıca, birimler arası ulaşımı sağlayan köprüler ile kullanıcıların çalışma saatleri boyunca dinlenme ve sosyalleşme ihtiyaçlarını da karşılamak düşünülmüştür (Arkiv, 2024a).



Şekil 3.20 Garanti BBVA Teknoloji Kampüsü dış cephesi (Arkiv, 2024a)

İç mekân tasarımında ise, ısı, ses, ışık ve hava kalitesi gibi faktörlerin yüksek standartlarda tutulmasını sağlamak için mimari yerleşim kararları ve modern teknolojinin entegrasyonuyla gerçekleştirilmiştir. Özellikle ofis katlarında yapılan ana yerleşim kararları, adaptif bir yaklaşımı yansıtmaktadır. İç avlular etrafında sirkülasyon alanlarının planlanması ve açık ofis alanlarının dış cepheye yerleştirilerek doğal ışık alımının maksimize edilmesi, çalışma ortamının konforunu arttırırken çevre ile etkileşiminin de sürdürülmesine olanak tanımaktadır (Şekil 3.21). Bu mekânsal kararlar, zamanla değişen gereksinimlere uyum sağlayabilme potansiyeli sunmaktadır (Arkitektuel, 2020).



Şekil 3.21 Garanti BBVA Teknoloji Kampüsü iç avlu cephesi

Garanti BBVA Kampüsü'nün cephesi iç avlularda tek cidarlı, dış cepheye bakan kısımlarda ise çift cidarlı cam kullanılarak tasarlanmıştır. Dış cephede tasarlanan çift

cidarlı cam ve havalandırma menfezleri ile iç ortamdaki gün ışığı, sıcaklık ve hava kalitesi gibi faktörlerin kontrolü sağlanmaktadır. Ayrıca, gün ışığına entegre aydınlatma sistemleri kullanılarak, çalışma ortamında sabit bir aydınlık düzeyinin korunması hedeflenmiştir (Şekil 3.22). Tüm bu uyarlanabilir hedefler ile kullanıcıların konforunu artırırken enerji verimliliğine katkıda bulunmaktadır (Arkitektuel, 2020).



Şekil 3.22 Garanti BBVA Teknoloji Kampüsü Kesit Perspektifi (Arkitektuel, 2020)

Garanti BBVA Teknoloji Kampüsü için adaptif cephe özellikleri Çizelge 3.26'da sınıflandırılarak gösterilmiştir.

Çizelge 3.26 Garanti BBVA Teknoloji Kampüsü için adaptif cephe özellikleri sınıflandırma çizelgesi (Yazar tarafından oluşturulmuştur)

<table>
<tr><th colspan="10">Garanti BBVA Teknoloji Kampüsü, İstanbul, Türkiye, 2015</th></tr>
<tr><td colspan="10">ADAPTİF CEPHE ÖZELLİKLERİ</td></tr>
<tr><td>Dış Uyaran</td><td colspan="2">Ilıman iklim</td><td>Gün ışığı</td><td>Dış ortam sıcaklığı</td><td>Rüzgâr</td><td>Nem</td><td>Ses</td><td>Kirlilik</td><td>Kullanıcı</td></tr>
<tr><td>Amaç</td><td colspan="5">Fiziksel çevre kontrolü</td><td colspan="2">Enerji üretimi</td><td colspan="2">Kullanıcı ile etkileşim</td></tr>
<tr><td>Tepki</td><td colspan="5">Özellik değişimi</td><td>Hareket</td><td colspan="3">Enerji üretimi</td></tr>
<tr><td>Uygulama ölçeği</td><td colspan="5">Malzeme</td><td colspan="2">Bileşen</td><td colspan="2">Sistem</td></tr>
<tr><td>Adaptasyon ölçeği</td><td colspan="5">Mikro</td><td colspan="4">Makro</td></tr>
<tr><td>Kontrol prensibi</td><td colspan="5">İçsel kontrol</td><td colspan="4">Dışsal kontrol</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Kullanılan teknoloji</td><td rowspan="3">Pasif teknoloji</td><td colspan="3">Pasif teknoloji</td><td rowspan="3">Aktif teknoloji</td><td colspan="3">Mekanik teknolojiler</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">Malzeme tabanlı teknoloji</td><td colspan="3">Elektro-mekanik teknolojiler</td></tr>
<tr><td colspan="3">Bilgi teknolojileri</td></tr>
<tr><td>Tepki verme süresi</td><td>Saniye</td><td colspan="2">Dakika</td><td colspan="2">Saat</td><td>Günlük</td><td>Mevsim</td><td>Diğer</td></tr>
</table>

3.3 Performans değerlendirmesinde kullanılan parametreler ve değerlendirme ölçeği

Örnek binaların performans değerlendirilmesinde; kullanıcı konforu, çevresel performans ve dış ortam etkileşimi olmak üzere 3 ana parametre ele alınmıştır. Her bir ana parametre kendi içinde farklı hususları kapsadığından doğru bir değerlendirme yapılabilmesi için alt parametreler oluşturulmuştur. Çizelge 3.27 tez kapsamında ele alınan adaptif cephe performans kriterlerini ve belirlenen alt parametreleri göstermektedir.

Çizelge 3.27 Adaptif cephelerden beklenen performans kriterleri ve parametreler

Adaptif cephelerden beklenen performans kriterleri		
Kullanıcı konforu	**Çevresel performans**	**Dış ortam etkileşimi**
• Görsel konfor	• Enerji tüketimi	• Dış fiziksel çevreyle iletişim kurma
• İklimsel konfor	• Enerji üretimi	• Estetik görünüm
• İşitsel konfor	• Çevre kirliliği ve karbon emisyonu	

Aşağıda 3 ana performans kriteri kapsamında belirlenen alt performans parametreleri açıklanmaktadır.

A) Kullanıcı konforu alt performans parametreleri

Adaptif cephelerden beklenen performans kriterlerinden biri olan kullanıcı konforu başlığı altında *görsel konfor, iklimsel konfor* ve *işitsel konfor* olmak üzere 3 alt performans parametresi belirlenmiştir. Bu parametreler aşağıda listelenerek kısaca tanımlanmıştır.

KK1: Görsel konfor

Görsel konfor ile ilgili en yaygın problemlerden biri gün içinde değişen ışık miktarına bağlı olarak yaşanan kaynaklı parlama/kamaşma problemidir. Adaptif cephelerden beklenen bu istenmeyen parlamayı gün ışığına uyum sağlayan malzeme, bileşen veya sistemler kullanarak önlemektir.

Adaptif cepheler, bina tasarımında gün ışığı seviyesini kontrol etmek için önemli bir rol oynamaktadır. Performans kriterleri bağlamında, bu cepheler dinamik olarak değişen dış koşullara uyum sağlayarak iç mekânda optimum aydınlatma seviyesini sağlarlar. Güneş ışığının açısına ve yoğunluğuna göre cephe elemanları otomatik olarak ayarlanarak, doğal ışık kullanımını maksimize ederken parlamayı ve aşırı ısınmayı önlerler. Böylece enerji verimliliği artar ve kullanıcı konforu sağlanır. Örneğin, elektrokromik camlar veya motorlu güneş kırıcılar gibi teknolojiler, günün farklı saatlerinde ve hava koşullarında ideal ışık seviyesini koruyarak enerji tüketimini azaltır ve iç mekânın aydınlatma kalitesini artırır. Bu adaptif sistemler, sürdürülebilir bina tasarımında hem enerji tasarrufu hem de kullanıcı memnuniyeti açısından kritik bir bileşen haline gelmiştir.

KK2: İklimsel konfor

İklimsel konfor sağlamak aşırı ısınmayı önlemek ve doğal/ yapay havalandırma sağlamakla ilgilidir. Adaptif cepheler, aşırı ısınmayı kontrol etmek amacıyla çeşitli performans kriterleri çerçevesinde tasarlanmaktadır. Bu cepheler, binaların iç ortam sıcaklığını düzenlemek için gün ışığını yansıtma, absorbe etme ve dağıtma yeteneklerine sahiptir. İklimsel konforu artırmak ve enerji tüketimini azaltmak için, adaptif cephelerde genellikle fotokromik veya termokromik camlar, otomatik olarak açılıp kapanabilen paneller ve hareketli gölgeleme sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemler, güneşin konumuna ve dış hava sıcaklığına göre dinamik olarak ayarlanarak iç mekandaki aşırı ısınmayı engellemektedir. Böylece, mekân içindeki sıcaklık kontrol altında tutularak hem kullanıcı konforu sağlanır hem de soğutma ihtiyacı minimize edilerek enerji verimliliği artırılmaktadır.

Adaptif cepheler, havalandırma ve iklimlendirme performans kriterleri açısından büyük avantajlar sunabilmektedir. Doğal ve mekanik havalandırmayı entegre eden sistemleri sayesinde, enerji tüketimini azaltırken iç mekân hava kalitesini artırırlar. Örneğin, çift cidarlı cephe sistemleri hava akışını optimize ederek bina içindeki sıcaklık ve nem seviyelerini kontrol etmektedir. Bu dinamik kontrol mekanizması, geleneksel HVAC sistemlerinin yükünü azaltarak enerji verimliliğini artırarak kullanıcı konforunu en üst düzeye çıkarmaktadır. Ayrıca, adaptif cephelerin gerçek zamanlı çevresel veri analizine

dayalı olarak çalışması (sensör), iklim değişikliklerine hızlı ve etkili bir şekilde uyum sağlama yeteneği sunar, bu da kullanıcı konforunun sürdürülebilirliğinin önemli bir parçasını oluşturmaktadır.

KK3: İşitsel konfor

Adaptif cepheler gürültü kontrolü sağlamak için, ses yalıtımı sağlayan çok katmanlı camlar, ses emici malzemeler ve akustik bariyerler gibi bileşenleri içerebilir. Ayrıca, bu cepheler çevresel gürültü seviyelerini sürekli izleyerek ve ortamdaki ses yoğunluğuna göre kendilerini ayarlayarak iç mekânda optimum işitsel konfor sunabilmektedir. Örneğin, yoğun trafik saatlerinde veya yüksek dış gürültü seviyelerinde cephelerin yalıtım kapasitesini artırması, yapı kullanıcılarının konforunu iyileştirebilmektedir. Bu bağlamda, adaptif cephelerin işitsel konfor performans kriterleri, kullanıcıların sağlığı ve genel yaşam kalitesi açısından kritik öneme sahiptir.

B) Çevresel performans alt performans parametreleri

Adaptif cephelerden beklenen performans kriterlerinden biri olan çevresel performans kriteri altında enerji tüketimi, enerji üretimi, çevre kirliliği ve karbon emisyonu olmak üzere 3 performans göstergesi belirlenmiştir. Bu göstergeler aşağıda listelenerek tanımlanmıştır.

ÇP1: Enerji tüketimi

Adaptif cepheler, iç ve dış mekân arasındaki enerji akışlarını kontrol ederek enerji tüketimini azaltmaya yardımcı olmaktadır. Özellikle iç mekân aydınlatma ve ısıtma/soğutma gereksinimlerini optimize ederek enerji verimliliğine katkıda bulunurlar. Çift cidarlı cephe teknolojileri, hareketli gölgeleme bileşenleri, akıllı cam veya malzemeleri gibi birçok aktif veya pasif teknoloji enerji tüketiminin azaltılmasını sağlamayı amaçlamaktadır.

ÇP2: Enerji üretimi

Adaptif cephelere entegre edilen güneş panelleri veya fotovoltaik cepheler gibi yenilenebilir enerji sistemleri yapı için gerekli enerjinin üretimine katkıda bulunabilmektedir.

ÇP3: Çevre kirliliği ve karbon emisyonu

Adaptif cepheler, yapıların enerji tüketimlerini azalatmasına bağlı olarak karbon emisyonlarının azaltılmasını sağlamaktadır. Doğal aydınlatmanın kullanılması, iç mekân aydınlatma ve iklimlendirme ihtiyacını optimize ederek enerji verimliliği sağlanması enerji tüketimini azalarak karbon emisyonlarının azaltılmasına katkıda bulunmaktadır. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı ile enerji üretmek fosil yakıtlara olan bağlılığı azaltarak karbon emisyonlarını düşürmektedir.

Cephede kullanılan malzemelerin özelliği ise karbon emisyonlarını absorbe etme yeteneği ile ilişkilidir. Yeşil duvarlar, doğal malzeme kullanımı, fotokatalitik kaplama gibi uygulamalar adaptif cepheler karbon emisyonlarını azaltarak çevresel sürdürülebilirliğe ve hava kalitesinin iyileştirilmesine katkıda bulunmaktadır.

C) Dış ortam etkileşimi alt performans parametreleri

Adaptif cephelerden beklenen performans kriterlerinden biri olan dış ortam etkileşimi kriteri altında dış fiziksel çevreyle iletişim kurmak ve estetik görünüm olarak bir örüntü oluşturmak olmak üzere 2 performans göstergesi belirlenmiştir. Bu göstergeler aşağıda listelenerek tanımlanmıştır.

DOE1: Dış fiziksel çevreyle iletişim kurma

Adaptif cepheler kullanıcı konforu ve enerji verimliliği beklentilerini karşılarken dış fiziksel çevreyle etkileşim kurarak işlevsellik ve estetiği bir araya getirmelidir. Bunu sağlarken kullanıcıların dışarıdaki manzara ile görsel bağlantı kurmasına olanak tanır. Dinamik gölgelendirme sistemleri, akıllı camlar veya çift cidarlı sistemler vb. teknolojiler tasarlanırken kullanıcıların dış dünya ila bağlantı hissini koparmayacak ve yaşam kalitesini artıracak şekilde tasarlanmalıdır. İklim olaylarını, yeşil alanları, sokak seviyesi gibi görüş açısına sahip olan adaptif cepheler iç ve dış ortam arasındaki sınırı şeffaflaştırabilir. Örneğin akıllı camlar kesintisiz bir manzara sunarken bazı hareketli gölgelendirme bileşenleri dış fiziksel çevreyle görsel iletişimi sınırlandırabilmektedir.

DOE2: Estetik görünüm

Adaptif cepheler, mimari tasarımın estetik değerlerini vurgulamak ve çevresiyle uyumlu bir görsel bütünlük sağlamak amacıyla tasarlanır. Cephelerde kullanılan malzemeler, dokular ve renkler, binanın çevresiyle uyumlu olmalı ve estetik bir bütünlük oluşturmalıdır. Örneğin, doğal malzemeler ve yeşil bitkiler kullanılarak oluşturulan cepheler hem doğal bir görünüm sunar hem de binaların çevreye entegre olmasına yardımcı olmaktadır. Bu tür estetik örüntüler, şehir peyzajına katkıda bulunarak genel görsel kalitenin ve kullanıcı memnuniyetinin artmasına katkı sağlar. Ayrıca adaptif cepheler günün saatine, hava koşullarına veya kullanıcı ihtiyaçlarına göre görünümünü değiştirebilir. Bu dinamik özellik, binanın dış cephesine sürekli değişen ve ilgi çekici bir karakter kazandırır.

Değerlendirme ölçeği;

Bu çalışma kapsamında, yazar tarafından geliştirilen değerlendirme ölçeği sistemi aşağıda açıklanmaktadır. Her yapının cephesi bu bölümde açıklanan performans parametrelerine göre incelenmiştir. Seçilen örneklerin adaptif cephe performansını değerlendirmek için aşağıdaki şekilde beşli bir ölçek oluşturulmuştur.

- **Olumlu etkisi var (++):**
  Cephenin performans kriterlerinde belirgin bir olumlu katkı sağladığını belirtir.
- **Kısmen olumlu etkisi var (+):**
  Cephenin performans kriterlerinde belirli ölçüde olumlu etki sağladığını, ama tam anlamıyla tatmin edici olmadığını ifade eder.
- **Etkisi yok (0):**
  Cephenin performans kriterleri üzerinde belirgin bir olumlu ya da olumsuz etkisi olmadığı anlamına gelir.
- **Kısmen olumsuz etkisi var (-):**
  Cephenin performans kriterlerinde belirli ölçüde olumsuz etki sağladığını, ama tam anlamıyla olumsuz etki olmadığını ifade eder.
- **Olumsuz etkisi var (--):**
  Cephenin performans kriterlerinde belirgin bir olumsuz etkisi olduğunu belirtir.

Bu ölçeğin amacı, yapıların adaptif cephe performansını objektif ve karşılaştırılabilir bir şekilde değerlendirerek, cephelerin güçlü ve zayıf yönlerini belirlemek ve genel performansını ortaya koymaktır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Çalışmanın bu bölümünde Dünyada ve Türkiye'de adaptif cepheye sahip 12 yapı örneğinin adaptif cephe performans incelemesinin yazar tarafından çalışma kapsamında değerlendirilen bulguları açıklanmaktadır. Öncelikle değerlendirme bulguları her bir yapı için detaylı şekilde açıklanmıştır. Sonrasında bulgular tek çizelge üzerinde özetlenerek genel bir değerlendirme yapılmıştır.

Tez kapsamında seçilen 12 yapı, 3 ana performans kriteri altında belirlenen 8 performans parametresine göre yazar tarafından oluşturulan 5 maddeden oluşan değerlendirme ölçeği kullanılarak yorumlanmıştır. Her bir yapı için adaptif cephe performans değerlendirmesinin bulguları aşağıda nedenleri ile birlikte sistematik olarak sırasıyla açıklanmıştır.

1) Arap Dünya Enstitüsü

KK1: Görsel konfor: Kısmen olumlu etkisi var

Arap Dünya Enstitüsü binasının cephesi, lenslerin açılıp kapanması sayesinde gün ışığını kontrol ederek istenmeyen parlama ve doğrudan ışığa maruz kalmayı önlemektedir. Ancak sistemin günümüzde etkin çalışmadığı göz önüne alındığında, görsel konfor sağlandığı ancak tam performans elde edilemediği sonucuna ulaşılabilir. Bu nedenle cephenin görsel konfor performansı "kısmen olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

KK2: İklimsel konfor: Kısmen olumlu etkisi var

İklimsel konfor açısından cephe, gün ışığını ve ısı kazancını yönetmeye yardımcı olmaktadır. Soğuk havalarda lenslerin açılmasıyla gün ışığından fayda sağlanabilir ancak sistem çalışmadığında bu performans tam olarak sağlanamamaktadır. Bu nedenle cephenin iklimsel konfor performansı "kısmen olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

KK3: İşitsel konfor: Etkisi yok

İşitsel konforun iyileştirilmesi amacıyla cephede özel bir malzeme veya sistem kullanılmamıştır. Bu nedenle cephenin işitsel konfor performansı "etkisi yok" olarak değerlendirilmiştir.

ÇP1: Enerji tüketimi: Kısmen olumsuz etkisi var

Sistem bakım ve işlevsellik sorunları nedeniyle enerji tüketimi üzerinde beklenen olumlu etkinin tam olarak sağlanamadığı bilinmektedir. Arap Dünya Enstitüsü'nde kullanılan hidrolik sistem, enerji tüketimi açısından olumsuz bir etki yaratabilir. Çünkü bu elektro-mekanik sistemin çalışabilmesi için sürekli bir enerji kaynağına ihtiyaç duyulmaktadır. Hidrolik sistemin cephenin hareketini sağlamak için harcadığı enerji, binanın toplam enerji tüketimine ek bir yük getirebilir. Bu nedenle, enerji üretimi sağlamayan ve enerji tüketimini artıran bir sistem olarak değerlendirildiğinde, enerji tüketimi açısından kısmen kötüleştirici bir etkisi olduğu söylenebilir. Bu nedenle cephenin enerji tüketimi performansı "kısmen olumsuz etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

ÇP2: Enerji üretimi: Etkisi yok

Cephede enerji üreten teknoloji veya sistemler yer almadığı için enerji üretimi performansı "etkisi yok" olarak değerlendirilmiştir.

ÇP3: Çevre kirliliği ve karbon emisyonları: Etkisi yok

Cephe sisteminin enerji tüketimi üzerindeki sınırlı etkisi nedeniyle çevre kirliliği ve karbon emisyonları üzerinde belirgin bir etkisi olmamaktadır. Bu nedenle cephenin enerji tüketimi performansı "etkisi yok" olarak değerlendirilmiştir.

DOE1: Dış fiziksel çevreyle iletişim: Kısmen olumlu etkisi var

Kinetik sistem, dış ortamla olan bakışı kısıtlar ancak kullanılan sistem kullanıcıların bu durumu kısmen kontrol etmelerine olanak tanır. Bu nedenle, dış fiziksel çevreyle iletişim performansı "kısmen olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

DOE2: Estetik görünüm: Olumlu etkisi var

Yapının cephesi hareketli diyaframlar ve değişken cephe geometrileri ile estetik açıdan dikkat çekici ve yenilikçi bir yapıdır. Bu nedenle estetik görünüm performansı "olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

2) Pittsburgh Çocuk Müzesi

KK1: Görsel konfor: Kısmen olumlu etkisi var

Pittsburgh Çocuk Müzesi'nin cephesindeki paneller, gün ışığının farklı seviyelerine göre değişen görünümler sunarak istenmeyen parlama ve doğrudan ışığa maruz kalmayı belirgin bir şekilde önlemektedir. Ancak kullanıcıya gün ışığı kontrolü sağlama imkânı sunmayan pasif bir sisteme sahip olduğu için cephenin görsel konfor performansı "kısmen olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

KK2: İklimsel konfor: Kısmen olumlu etkisi var

Cephenin güneş kontrol elemanı olarak işlev görmesi, gün ışığının iç mekanlara girişini düzenleyerek iklimsel konforu artırmaktadır. Pasif teknoloji kullanımı, konfor sağlamak için gerekli enerjiyi azaltabilir, ancak sistemin her koşulda mükemmel performans göstermediği göz önüne alındığında, cephenin iklimsel konfor performansı "kısmen olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

KK3: İşitsel konfor: Kısmen olumsuz etkisi var

Pittsburgh Çocuk Müzesi'nin cephesindeki menteşeli şekilde asılı duran paneller, rüzgâr etkisiyle sallandıklarında mekanik sesler çıkarabilir ve bu sesler iç mekânda rahatsız edici olabilir. Panellerin hareketi, metalik titreşimler veya sürtünme sesleri oluşturarak işitsel konforu olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle, işitsel konfor performansı "kısmen olumsuz etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

ÇP1: Enerji tüketimi: Kısmen olumlu etkisi var

Cephenin pasif teknoloji kullanımı, enerji tüketimini azaltarak konfor sağlamakta yardımcı olmaktadır. Bu nedenle, enerji tüketimi üzerinde olumlu bir etki yaratarak enerji tüketimini minimize edebildiği söylenebilir. Bu nedenle cephenin enerji tüketimi performansı "olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

ÇP2: Enerji üretimi: Etkisi yok

Cephenin enerji üreten herhangi bir teknoloji içermediği için enerji üretimi performansı "etkisi yok" olarak değerlendirilmiştir.

ÇP3: Çevre kirliliği ve karbon emisyonları: Kısmen olumlu etkisi var

Pasif teknolojinin enerji tüketimini azaltması, dolaylı olarak çevre kirliliği ve karbon emisyonlarını da azaltabilir. Bu nedenle cephenin çevre kirliliği ve karbon emisyonları üzerinde olumlu bir etkisi olduğu söylenebilir. Bu nedenle cephenin çevre kirliliği ve karbon emisyonları performansı "olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

DOE1: Dış fiziksel çevreyle iletişim: Kısmen olumsuz etkisi var

Pittsburgh Çocuk Müzesi'nin cephesindeki paneller, dış çevre ile görsel bağlantıyı kesmekte ve bu durum kontrol edilememektedir. Panellerin rüzgarla hareket etmesi dışarıdan gelen manzarayı engelleyerek, kullanıcıların dış çevre ile görsel bağlantı kurmalarını zorlaştırır. Bu nedenle, dış fiziksel çevreyle iletişim performansı "kısmen olumsuz etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

DOE2: Estetik görünüm: Olumlu etkisi var

Cephenin hareketli panelleri ve değişken görünümleri, yapının estetik açıdan dikkat çekici ve yenilikçi bir örüntü oluşturmasını sağlamaktadır. Bu nedenle estetik görünüm performansı "olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

3) Kiefer Technic Showroom

KK1: Görsel konfor: Olumlu etkisi var

Kiefer Technic Showroom'un cephesi, iç ortamdaki gün ışığı gereksinimine göre manuel veya otomatik olarak kontrol edilebilen hareketli beyaz alüminyum panellere sahiptir. Bu paneller, gün ışığını optimize etmek amacıyla açılıp kapanarak görsel konforu yüksek seviyede sağlar. Bu nedenle, görsel konfor performansı "olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

KK2: İklimsel konfor: Olumlu etkisi var

Cephedeki kinetik sistem, iç ortam sıcaklığını ve güneş ışığını etkili bir şekilde kontrol ederek iklimsel konforu sağlamaktadır. Sistem, gün ışığını ve ısı kazancını dinamik bir

şekilde yönetebilir, bu nedenle iklimsel konfor performansı "olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

KK3: İşitsel konfor: Kısmen olumlu etkisi var

Kiefer Technic Showroom'un cephesi, iki katmanlı bir yapıya sahip olup, hareketli alüminyum paneller ile dışarıdan gelen sesleri kısmen engelleyebilir. Paneller tam kapalı olduğunda, çift katmanlı yapı ile iç mekânda işitsel konforu kısmen iyileştirebilir. Ancak, panellerin açık veya yarı kapalı durumda olduğu zamanlarda ses geçişini sınırlayabilir. Bu nedenle, işitsel konfor performansı "kısmen olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

ÇP1: Enerji tüketimi: Kısmen olumlu etkisi var

Kiefer Technic Showroom'un adaptif cephesi, gün ışığına uyum sağlayan ve aktif teknolojiye sahip bir sistem kullanmaktadır. Bu sistem, iç ortam koşullarını iyileştirirken enerji tüketimini kısmen azaltabilir. Manuel ve otomatik kontrol imkanları, enerji tüketimini optimize etme potansiyeline sahip olabilir. Bu nedenle, enerji tüketimi performansı "kısmen olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

ÇP2: Enerji üretimi: Etkisi yok

Yapıda enerji üretimi ile ilgili bir teknoloji bulunmamaktadır. Bu nedenle, enerji üretimi performansı "etkisi yok" olarak değerlendirilmiştir.

ÇP3: Çevre kirliliği ve karbon emisyonları: Kısmen olumlu etkisi var

Cephe sisteminin aktif kontrolü, enerji verimliliğini artırarak çevre kirliliği ve karbon emisyonlarını kısmen azaltabilir. Ancak, kullanılan aktif teknoloji enerji tüketimi gerektirdiği için, etkisi sınırlı olabilir. Bu nedenle, çevre kirliliği ve karbon emisyonları performansı "kısmen olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

DOE1: Dış fiziksel çevreyle iletişim: Kısmen olumlu etkisi var

Kiefer Technic Showroom'un cephesindeki kinetik paneller, günün farklı zamanlarında ve hava koşullarına göre açılıp kapanarak dış çevreyle etkileşim sağlar. Paneller tamamen açıkken kesintisiz bir görünüm sunulsa da yarı kapalı ve kapalı durumlarda dış

çevreyle olan görsel bağlantı kısıtlanır. Bu nedenle, dış fiziksel çevreyle iletişim performansı “kısmen olumlu etkisi var” olarak değerlendirilmiştir.

DOE2: Estetik görünüm: Olumlu etkisi var
Kinetik panellerin hareketi, cephenin estetik açıdan dikkat çekici ve yenilikçi bir örüntü oluşturmasını sağlar. Bu hareketli sistem, cephenin görsel olarak etkileyici bir tasarım sunmasına katkıda bulunur. Bu nedenle, estetik görünüm performansı “olumlu etkisi var” olarak değerlendirilmiştir.

4) Media TIC

KK1: Görsel Konfor: Olumlu etkisi var
Media TIC binasının cephe sistemi, ETFE panellerin şeffaf yapısı sayesinde iç mekâna doğal ışık girişini optimize eder. Panellerin dinamik olarak şişirilebilmesi ve opak hale gelmesi, doğrudan güneş ışığının rahatsız edici etkilerini azaltarak görsel konforu artırır. Bu sayede iç mekânda gölge ve ışık kontrolü sağlanarak "olumlu etkisi var" şeklinde değerlendirilmiştir.

KK2: İklimsel Konfor: Olumlu etkisi var
Cephede kullanılan ETFE panellerin şişirilebilir yapısı, iç mekânda ısı kazancını ve ısı kaybını etkili bir şekilde kontrol eder. Ayrıca, akıllı sensörlerle entegre edilmiş sistem, dış çevre sıcaklığına ve güneş ışığına dinamik olarak tepki vererek iç ortam sıcaklığını düzenler. Bu nedenle, iklimsel konfor performansı "olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

KK3: İşitsel Konfor: Etkisi yok
ETFE malzemesi ses yalıtımı açısından etkin değildir ve cephe sisteminin yapısı, tamamen izole bir ses bariyeri oluşturmamaktadır. İkinci kabuk yapısı ile ana katman arasında hava geçişi olduğu için dışarıdan gelen sesler engellenemez. Bu nedenle, işitsel konfor üzerinde "etkisi yok" olarak değerlendirilmiştir.

ÇP1: Enerji Tüketimi: Olumlu etkisi var
ETFE paneller ve adaptif cephe sistemi, güneş ışığını ve iç mekân sıcaklığını optimize ederek enerji tüketimini ciddi ölçüde azaltır. Bina, geleneksel yapılara kıyasla %75

enerji tasarrufu sağlayan bu sistemle etkin bir enerji yönetimine sahiptir. Bu yüzden enerji tüketimi performansı "olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

ÇP2: Enerji Üretimi: Etkisi yok

Media TIC binasının çatısında bulunan PV paneller enerji üretimine katkı sağlasa da bu adaptif cepheye dahil olmadığı için enerji üretimi performansı "etkisi yok" olarak değerlendirilmiştir.

ÇP3: Çevre Kirliliği ve Karbon Emisyonları: Olumlu etkisi var

Akıllı sensörler ve hareketli ETFE güneş filtreleri sayesinde %95'e varan karbon emisyonu azalımı sağlanmaktadır. Bölgesel soğutma ve temiz enerji kullanımı da karbon emisyonlarını ciddi ölçüde azaltır. Bu nedenle, çevre kirliliği ve karbon emisyonları performansı "olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

DOE1: Dış Fiziksel Çevreyle İletişim: Kısmen olumlu etkisi var

ETFE panellerin şeffaf yapısı dış çevreyle güçlü bir görsel bağlantı sağlarken, panellerin şişirilip opak hale gelmesi bu bağlantıyı sınırlandırır. Dolayısıyla, dış fiziksel çevreyle iletişim "kısmen olumlu etkisi var" olarak değerlendirilebilir.

DOE2: Estetik Görünüm: Olumlu etkisi var

Media TIC binasının adaptif cephe sistemi, ETFE panellerin hareketliliği ve yapısal dinamizmi sayesinde görsel olarak etkileyici bir örüntü oluşturur. Cephe, estetik açıdan yenilikçi ve dikkat çekici bir tasarım sunar. Bu nedenle estetik görünüm performansı "olumlu etkisi var" olarak değerlendirilir.

5) Bloom Projesi

KK1: Görsel Konfor: Kısmen olumlu etkisi var

Bloom projesinin termobimetal panelleri, güneş ışığına tepki vererek yapı kabuğunun şekil değiştirmesini sağlar. Paneller, sıcaklık arttığında açılarak daha fazla gün ışığının geçmesine ve iç mekânın aydınlanmasına katkıda bulunur. Ancak bu süreç manuel kontrol olmadan pasif olarak gerçekleştiği için gün ışığının doğrudan kontrol edilmesi mümkün değildir. Bu nedenle görsel konfor performansı "kısmen olumlu etkisi var" olarak değerlendirilir.

KK2: İklimsel Konfor: Olumlu etkisi var

Bloom projesi, termobimetal panellerin sıcaklık karşısında genişleyip daralmasıyla dinamik bir havalandırma sağlar. Sıcaklık arttığında panellerin açılması, iç mekânda hava sirkülasyonunu artırarak serinleme sağlar. Soğuk havalarda ise paneller kapanarak ısı kaybını önler. Bu, yapının termal konforunu etkin bir şekilde iyileştirir. Dolayısıyla iklimsel konfor performansı "olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

KK3: İşitsel Konfor: Etkisi yok

Bloom projesinin termobimetal panelleri havalandırma amacıyla açıldığında dış ortam seslerine karşı bir engel teşkil etmez. Panellerin hareketi, ses yalıtımı sağlamadığı gibi, yapı hafif ve geçici bir tasarıma sahip olduğu için ses geçişi konusunda bir katkı sağlamaz. Bu nedenle işitsel konfor performansı "etkisi yok" olarak değerlendirilmiştir.

ÇP1: Enerji Tüketimi: Olumlu etkisi var

Bloom projesi tamamen pasif bir teknoloji kullanarak işlevini sürdürmektedir. Termobimetal paneller, dışarıdan enerji kaynağına ihtiyaç duymadan çevresel koşullara tepki verir. Bu sayede enerji tüketimi konusunda büyük bir tasarruf sağlanır. Bu nedenle enerji tüketimi performansı "olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

ÇP2: Enerji Üretimi: Etkisi yok

Bloom projesinde enerji üretimine yönelik bir teknoloji kullanılmamaktadır. Pasif sistemler üzerine kurulu yapı kabuğu, enerji üretimi sağlamaz. Bu nedenle enerji üretimi performansı "etkisi yok" olarak değerlendirilmiştir.

ÇP3: Çevre Kirliliği ve Karbon Emisyonları: Olumlu etkisi var

Bloom projesinin enerji tüketimi gerektirmeyen pasif bir sistem olması, karbon emisyonlarını büyük ölçüde azaltır. Yapının malzeme tabanlı adaptif teknolojisi, çevresel etkiyi minimize ederek sürdürülebilir bir çözüm sunar. Bu nedenle çevre kirliliği ve karbon emisyonları performansı "olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

DOE1: Dış Fiziksel Çevreyle İletişim: Kısmen olumlu etkisi var

Bloom projesi, çevresel değişikliklere tepki vererek fiziksel çevreyle doğrudan etkileşim sağlar. Paneller, sıcaklık değişimine göre şekil değiştirerek çevredeki hava hareketine ve ışığa bağlı olarak dinamik bir yapı sunar. Ancak, pasif bir sistem olduğundan görsel bağlantı tam kontrol edilemez. Bu nedenle dış fiziksel çevreyle iletişim performansı "kısmen olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

DOE2: Estetik Görünüm: Olumlu etkisi var

Termobimetal panellerin biyomimetik hareketi, estetik açıdan dikkat çekici ve inovatif bir görsellik sunar. Panellerin açılıp kapanarak şekil değiştirmesi, yapının dinamik bir örüntü oluşturmasını sağlar. Bu nedenle estetik görünüm performansı "olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

6) Al Bahar Kuleleri

KK1: Görsel Konfor: Kısmen olumlu etkisi var

Attia'nın 2017 yılında yaptığı bir çalışmadaki anket sonuçlarına göre, Al bahar Kulelerindeki kullanıcıların %60'ı doğal aydınlatmadan memnun olmadığını belirtmiştir. İlk başta bu durumun parlamadan kaynaklandığı düşünülmüş olsa da asıl sebebin cepheye entegre olan otomatik mashrabiya panellerinin açılıp kapanması olduğu ortaya çıkmıştır. Kullanıcılar, cepheyle doğrudan etkileşime giremedikleri ve bu nedenle ortamlarını kişisel olarak kontrol edemedikleri için rahatsızlık yaşamaktadırlar. Bu durum görsel konforun bazı kullanıcılar için olumsuz olduğunu gösterir. Sonuç olarak, görsel konfor performansı "kısmen olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

KK2: İklimsel Konfor: Kısmen olumlu etkisi var

Ankete katılanların %54'ü termal konfor açısından rahat olduğunu belirtmiştir. Ancak, %14'lük bir kesim rahatsızlık yaşamaktadır ve kadın kullanıcılar arasında rahatsızlık hissi genellikle aşırı soğumadan kaynaklanmaktadır. Bu, iklimsel konforun kullanıcılar arasında tam olarak sağlanmadığını ve bazı durumlarda otomatik sistemlerin yetersiz kaldığını göstermektedir. Bu nedenle, iklimsel konfor performansı "kısmen olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

KK3: İşitsel Konfor: Etkisi yok

Otomatik mashrabiya panelleri, termal ve görsel konforla ilgili işlevlere odaklanmakta olup işitsel konfor üzerinde bir etkisi yoktur. Bu nedenle işitsel konfor performansı "etkisi yok" olarak değerlendirilmiştir.

ÇP1: Enerji Tüketimi: Olumlu etkisi var

Cephe sistemi sayesinde binada enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Güneş ışığına karşı otomatik gölgeleme elemanlarıyla ısı kazancı azaltılarak ofis alanlarında %50, bina genelinde ise %20 enerji tasarrufu sağlandığı rapor edilmiştir. Bu nedenle enerji tüketimi performansı "olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

ÇP2: Enerji Üretimi: Etkisi yok

Al Bahar Kuleleri'nin cephe sistemi enerji üretimi sağlamamaktadır, sadece enerji tasarrufuna yöneliktir. Bu nedenle enerji üretimi performansı "etkisi yok" olarak değerlendirilmiştir.

ÇP3: Çevre Kirliliği ve Karbon Emisyonları: Olumlu etkisi var

Gölgeleme sistemi sayesinde enerji tasarrufu sağlanması, yıllık karbon emisyonlarının yaklaşık %30 oranında azalmasına katkı sağlamaktadır. Bu, cephe sisteminin çevre üzerindeki olumlu etkilerini göstermektedir. Çevre kirliliği ve karbon emisyonları performansı "olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

DOE1: Dış Fiziksel Çevreyle İletişim: Kısmen olumlu etkisi var

Anket sonuçlarına göre, kullanıcılar mashrabiya ile doğrudan etkileşime girememenin dış çevreyle olan bağlantılarını sınırladığını belirtmiştir. Otomatik açılıp kapanan paneller, dışarıya bakış açısını kısıtladığı için kullanıcılar arasında rahatsızlık yaratmaktadır. Bu nedenle dış fiziksel çevreyle iletişim performansı "kısmen olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

DOE2: Estetik Görünüm: Olumlu etkisi var

Mashrabiya deseninden ilham alınarak oluşturulan cephe, estetik açıdan hem geleneksel hem de modern unsurları bir araya getirerek dinamik bir görünüm sunmaktadır.

Otomatik panellerin hareketi binaya estetik bir derinlik kazandırır. Bu nedenle estetik performansı “olumlu etkisi var” olarak değerlendirilmiştir.

7) Biyoreaktör Evi (BIQ House)

KK1: Görsel Konfor: Kısmen olumlu etkisi var

Biyoreaktör panelleri güneş ışığını filtreleyerek iç mekâna kontrollü bir şekilde girmesini sağlar. Ancak, panellerin yoğunluğu ve rengi değiştikçe iç mekânın ışık kalitesi de değişir, bu da bazı kullanıcılar için rahatsız edici olabilir. Ayrıca, paneller tam şeffaf olmadığından dış görüşü sınırlar. Bu nedenle görsel konfor performansı "kısmen olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

KK2: İklimsel Konfor: Kısmen olumlu etkisi var

Mikroalg panelleri teoride güneş ışığını absorbe ederek binanın ısı kazancını azaltır ve iç mekân sıcaklığını düzenler. Ancak, uygulamada sistemin termal performansı beklenen düzeyde olmamıştır. Kışın ısı kaybını azaltma ve yazın aşırı ısınmayı önleme konusunda tam verimlilik sağlanamamıştır. Bu nedenle iklimsel konfor performansı "kısmen olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

KK3: İşitsel Konfor: Etkisi yok

Biyoreaktör panellerinin ses yalıtımı üzerinde önemli bir etkisi olmamıştır. Paneller, dış ortam gürültüsünü önemli ölçüde azaltmaz. Bu nedenle işitsel konfor performansı "etkisi yok" olarak değerlendirilmiştir.

ÇP1: Enerji Tüketimi: Kısmen olumlu etkisi var

Biyoreaktör cephesi, binanın enerji tüketimini azaltma potansiyeline sahiptir. Ancak, sistemin işletilmesi için gereken enerji, beklenen tasarrufun bir kısmını dengeler. Ayrıca, ısıtma ve soğutma performansı beklenen düzeyde olmamıştır. Bu nedenle enerji tüketimi performansı "kısmen olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

ÇP2: Enerji Üretimi: Kısmen olumlu etkisi var

Biyoreaktör cephesi, mikroalglerin fotosentezi sonucu biyokütle üretir. Ancak, üretilen biyokütle miktarı ve bunun enerjiye dönüştürülme verimliliği beklenen düzeyde

olmamıştır. Binanın enerji ihtiyacına katkısı sınırlı kalmıştır. Bu nedenle enerji üretimi performansı "kısmen olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

ÇP3: Çevre Kirliliği ve Karbon Emisyonları: Kısmen olumlu etkisi var
Mikroalgler, fotosentez yoluyla karbondioksit absorbe eder ve oksijen üretir. Ancak, sistemin genel karbon ayak izi üzerindeki etkisi beklenenden daha az olmuştur. Sistemin işletilmesi için gereken enerji, karbon emisyonu azaltma potansiyelini kısmen dengeler. Bu nedenle çevre kirliliği ve karbon emisyonları performansı "kısmen olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

DOE1: Dış Fiziksel Çevreyle İletişim: Etkisi yok
Biyoreaktör panelleri, dış ortamla iç mekân arasında yarı geçirgen bir bariyer oluşturur. Bu, dış çevreyle görsel bağlantıyı önemli ölçüde sınırlar. Panellerin yoğunluğu, dış görünümü engeller ve kullanıcıların dış çevreyle iletişimini kısıtlar. Bu nedenle dış fiziksel çevreyle iletişim performansı "etkisi yok" olarak değerlendirilmiştir.

DOE2: Estetik Görünüm: Olumlu etkisi var
Biyoreaktör cephesi, mikroalglerin büyümesi ve hareketiyle sürekli değişen canlı bir yüzey oluşturur. Bu dinamik görünüm, binaya benzersiz ve estetik bir karakter kazandırır. Panellerin rengi ve yoğunluğu gün içinde ve mevsimler boyunca değişerek ilgi çekici bir görsel örüntü oluşturur. Bu açıdan, estetik performans beklentileri karşılamıştır. Bu nedenle estetik görünüm performansı "olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

8) House of Natural Resources (Adaptive Solar Facade)

KK1: Görsel Konfor: Olumlu etkisi var
Adaptive Solar Facade (ASF), güneş ışığını takip eden fotovoltaik panellerle donatılmış olup iç mekanlarda gölgeleme ve gün ışığı kontrolü sağlar. Panellerin açılarının dinamik olarak ayarlanması sayesinde, ışığın yoğunluğunu optimize ederek kullanıcıların konforunu artırır. Ayrıca, kullanıcıların bireysel olarak müdahale edebilmesi, görsel konforu daha da iyileştiren bir özelliktir. Bu nedenle görsel konfor performansı “olumlu etkisi var” olarak değerlendirilmiştir.

KK2: İklimsel Konfor: Olumlu etkisi var

ASF, cepheye entegre sensörler aracılığıyla ısı, nem ve termal konforun sürekli izlenip optimize edilmesini sağlar. Panellerin açılarının değişmesiyle binanın ısıtma ve soğutma talepleri dengelenir, bu da iç mekânın iklimsel konforunu olumlu yönde etkiler. Simülasyonlar, sabit panjurlu cephelere kıyasla %24'e kadar enerji tasarrufu sağladığını göstermektedir. Bu nedenle iklimsel konfor performansı "olumlu etkisi var" olarak değerlendirilebilir.

KK3: İşitsel Konfor: Etkisi yok

Adaptive Solar Facade sisteminin birincil işlevi güneş enerjisini üretmek ve termal-görsel konfor sağlamaktır; dolayısıyla sistemin işitsel konfora doğrudan bir etkisi yoktur. Bu nedenle işitsel konfor performansı "etkisi yok" olarak değerlendirilmiştir.

ÇP1: Enerji Tüketimi: Olumlu etkisi var

Simülasyonlar, ASF'nin güneşten elektrik üretirken, bina enerji tüketimini büyük ölçüde azalttığını ortaya koymuştur. Sabit panjurlu cepheye kıyasla %24 ve gölgelemesiz bir cepheye kıyasla %56 enerji tasarrufu sağlamaktadır. Bu nedenle enerji tüketimi performansı "olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

ÇP2: Enerji Üretimi: Olumlu etkisi var

ASF'nin güneş ışığını takip eden PV panelleri, elektrik enerjisi üreterek binanın enerji ihtiyacını karşılar. Panellerin açısı güneşin hareketine göre optimize edilerek maksimum enerji üretimi sağlanmaktadır. Bu nedenle enerji üretimi performansı "olumlu etkisi var" olarak değerlendirilebilir.

ÇP3: Çevre Kirliliği ve Karbon Emisyonları: Olumlu etkisi var

ASF, yenilenebilir güneş enerjisi üreterek enerji ihtiyacını karşılar ve fosil yakıt tüketimini azaltır. Bu durum karbon emisyonlarının düşmesine katkıda bulunur. Bu nedenle çevre kirliliği ve karbon emisyonları performansı "olumlu etkisi var" olarak değerlendirilebilir.

DOE1: Dış Fiziksel Çevreyle İletişim: Olumlu etkisi var

Güneş panelleri, kullanıcıların gün ışığını ve dış çevreyi kontrol etmesine olanak tanır. Kullanıcılar panelleri açıp kapatarak dışarıyla olan etkileşimlerini artırabilirler. Bu nedenle dış fiziksel çevreyle iletişim performansı "olumlu etkisi var" olarak değerlendirilebilir.

DOE2: Estetik Görünüm: Olumlu etkisi var

Panellerin sürekli hareketi ve farklı açılarda konumlandırılması, binaya estetik bir dinamizm katar. Panellerin düzeni ve hareketi, cepheye modern ve ileri teknoloji bir görünüm kazandırır. Bu nedenle estetik performansı "olumlu etkisi var" olarak değerlendirilebilir.

9) Festo Otomasyon Merkezi

KK1: Görsel Konfor: Olumlu etkisi var

Festo Otomasyon Merkezi'nde kullanılan elektrokromik camlar, gün ışığı ve sıcaklık kontrolü sağlar. Bu camlar, ışık geçirgenliğini kontrol ederek istenmeyen parlama ve aşırı ışık girişini önler. Kullanıcı kontrolüyle açılabilen pencereler, doğal ışık ile aydınlatmayı optimize ederken görsel konforu artırır. Bu nedenle görsel konfor açısından "olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

KK2: İklimsel Konfor: Olumlu etkisi var

Elektrokromik camlar ve içten havalandırmalı giydirme cephe sistemi sayesinde, yapı içindeki sıcaklık ve havalandırma dinamik olarak kontrol edilir. Gün ışığı ve sıcaklığın etkili bir şekilde yönetilmesi, iklimsel konforun iyileştirilmesine katkı sağlar. Soğutma sistemi, istenmeyen sıcak havanın iç mekâna ulaşmasını önleyerek ortam sıcaklığını düzenler. Bu nedenle iklimsel konfor "olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

KK3: İşitsel Konfor: Kısmen olumlu etkisi var

Yapıda kullanılan çift cidarlı cam cephe sistemi, ses yalıtımı konusunda tek cidarlı camlara göre daha iyi bir performans sunabilir. Çift cidarlı camlar, dış çevreden gelen seslerin iç mekâna girmesini büyük ölçüde engelleyerek işitsel konforu iyileştirebilir. Bu nedenle, işitsel konfor açısından "kısmen olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

ÇP1: Enerji Tüketimi: Olumlu etkisi var

Elektrokromik camların ve doğal havalandırma sisteminin entegre kullanımı, binada %35'e varan enerji tasarrufu sağlar. Gün ışığı ve sıcaklık kontrolü enerji verimliliğini artırarak, yapının enerji tüketimini önemli ölçüde azaltır. Bu nedenle enerji tüketimi performansı "olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

ÇP2: Enerji Üretimi: Etkisi yok

Festo Otomasyon Merkezi'nde enerji üretimi sağlayan bir sistem bulunmamaktadır. Cephe sistemi enerji üretimi sağlamadığı için bu başlık altında "etkisi yok" olarak değerlendirilmiştir.

ÇP3: Çevre Kirliliği ve Karbon Emisyonları: Olumlu etkisi var

Yapının enerji tasarrufu sağlayan adaptif cephe sistemi, karbon emisyonlarının önemli ölçüde azalmasına katkıda bulunur. %35'e varan enerji tasarrufu ve doğal havalandırma sayesinde, çevreye verilen zararın en aza indirildiği söylenebilir. Çevre kirliliği ve karbon emisyonları performansı "olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

DOE1: Dış Fiziksel Çevreyle İletişim: Kısmen olumlu etkisi var

Elektrokromik camların şeffaf yapısı, dış çevre ile görsel bir bağlantı sağlar. Ancak camların opak hale gelebilmesi, dış çevreyle olan görsel bağlantıyı sınırlandırır. Bu nedenle dış fiziksel çevreyle iletişim "kısmen olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

DOE2: Estetik Görünüm: Olumlu etkisi var

Elektrokromik camlar ve alüminyum çerçeveli birleşik cam pencereler, estetik bir örüntü oluşturarak modern ve yenilikçi bir cephe tasarımı sunar. Bu estetik özellikler hem işlevsel hem de görsel olarak binanın dış görünüşünü güçlendirir. Estetik görünüm performansı "olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

10) Protel Yönetim Ofisi

KK1: Görsel Konfor: Olumlu etkisi var

Protel Yönetim Binası'nın ikincil cephesi, alüminyum delikli metal güneş kırıcı panellerden oluşmakta olup, panellerin pivot hareketi sayesinde gün ışığı kontrolü

sağlanmaktadır. Otomasyon sistemi aracılığıyla panellerin açısı ayarlanarak iç mekânda gün ışığı ihtiyacı optimize edilir. Bu esnek yapı, görsel konforu yüksek seviyede sağlayarak "olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

KK2: İklimsel Konfor: Olumlu etkisi var

Alüminyum güneş kırıcı paneller, iç mekânda güneş ışığı ve ısı kazancını kontrol ederek, iç ortam sıcaklığının dengelenmesine ve termal konforun iyileştirilmesine olanak tanır. Panellerin açısı güneşin açısına göre ayarlanabildiği için iklimsel konforun sağlanmasında etkin bir rol oynar. Bu nedenle, iklimsel konfor performansı "olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

KK3: İşitsel Konfor: Kısmen olumlu etkisi var

Delikli metal paneller, tamamen kapalı durumda dış ortam seslerinin bir kısmını engelleyebilir. Ancak, açık veya yarı açık durumlarda ses yalıtımı sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle işitsel konfor performansı "kısmen olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

ÇP1: Enerji Tüketimi: Kısmen olumlu etkisi var

Gün ışığını ve güneş ısısını kontrol eden adaptif paneller, iç ortamın termal dengesini sağlayarak enerji tüketimini kısmen azaltabilir. Otomasyon sistemi, enerji verimliliğini optimize etmeye yönelik bir potansiyele sahiptir, ancak enerji tüketiminde önemli bir azalma sağlamayabilir. Bu nedenle, enerji tüketimi performansı "kısmen olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

ÇP2: Enerji Üretimi: Etkisi yok

Protel Yönetim Binası'nda enerji üretimi sağlayan bir sistem bulunmamaktadır. Bu nedenle enerji üretimi performansı "etkisi yok" olarak değerlendirilmiştir.

ÇP3: Çevre Kirliliği ve Karbon Emisyonları: Kısmen olumlu etkisi var

Panellerin aktif kontrolü, iç mekân enerji ihtiyacını azaltarak dolaylı olarak karbon emisyonlarını ve çevre kirliliğini kısmen azaltabilir. Ancak kullanılan aktif sistemler enerji tüketimine ihtiyaç duyduğu için bu etki sınırlıdır. Bu nedenle çevre kirliliği ve karbon emisyonları performansı "kısmen olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

DOE1: Dış Fiziksel Çevreyle İletişim: Kısmen olumlu etkisi var

Cephenin güneş kırıcı panelleri, farklı açılarda sabitlenerek dış mekânla görsel bir ilişki sağlar. Paneller tamamen açık olduğunda dış çevreyle güçlü bir görsel etkileşim sunulsa da kapalı veya kısmen açık olduğunda bu iletişim kısıtlanır. Bu nedenle, dış fiziksel çevreyle iletişim performansı "kısmen olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

DOE2: Estetik Görünüm: Olumlu etkisi var

Pivot hareket yapan panellerin dinamik yapısı, cephenin estetik açıdan dikkat çekici ve modern bir görünüm sunmasına olanak tanır. Cephenin hareketli ve yenilikçi yapısı, binanın estetik görünümsına önemli katkıda bulunur. Bu nedenle, estetik görünüm performansı "olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

1) OdeaBank Suadiye Şubesi

KK1: Görsel Konfor: Kısmen olumlu etkisi var

Likit kristal cam teknolojisi, opaklık değişimiyle iç mekandaki parlama kontrolü ve gün ışığı yönetimi için kullanılabilir. Ancak, bu yapıda gündüz boyunca cephede opaklık değişimi gerçekleşmediği ve yapı kuzey cephesine baktığı için görsel konforu sağlama işlevi kısıtlı kalmıştır. Dolayısıyla, görsel konforu sadece "kısmen olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

KK2: İklimsel Konfor: Etkisi yok

Yapının kuzey cephesine bakması ve likit kristal camın sıcaklık kontrolünde kullanılamaması, iklimsel konfor açısından sınırlı bir katkı sağlar. Bu nedenle, cephe sisteminin iklimsel konfora katkısı yok denecek kadar az olup "etkisi yok" olarak değerlendirilmiştir.

KK3: İşitsel Konfor: Kısmen olumlu etkisi var

Çift cidarlı cam sisteminin bir miktar işitsel yalıtım sağlayabileceği düşünülse de cam teknolojisinin temel işlevinin işitsel konfor olmadığından dolayı "kısmen olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

ÇP1: Enerji Tüketimi: Kısmen olumsuz etkisi var

Adaptif cephe teknolojisinin bu yapıda estetik ve mesai dışı görünüm amacıyla kullanılması, enerji verimliliğini iyileştirici bir etki yaratmıyor. Aksine, cam teknolojisi ek enerji tüketimine neden oluyor ve sık sık arızalanması da enerji verimliliği açısından olumsuz bir tablo çiziyor. Bu nedenle, enerji tüketimi performansı "olumsuz etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

ÇP2: Enerji Üretimi: Etkisi yok
Cephede enerji üretimi yapılmadığından bu kategori "etkisi yok" olarak değerlendirilmiştir.

ÇP3: Çevre Kirliliği ve Karbon Emisyonları: Kısmen olumsuz etkisi var
Sistemin ek enerji tüketmesi ve bakım gerektirmesi, çevre kirliliği ve karbon emisyonları açısından olumsuz bir etki yaratıyor. Bu nedenle, çevre kirliliği ve karbon emisyonlarına katkısı "olumsuz etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

DOE1: Dış Fiziksel Çevreyle İletişim: Olumlu etkisi var
Likit kristal camın opak hale gelmesi, yapının dış çevreyle etkileşimini güçlendiren bir estetik değer katar. Mesai saatleri dışında opak olan cephe, çevredeki insanlar için dikkat çekici bir görünüm sunar. Bu nedenle, dış çevreyle iletişim performansı "olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

DOE2: Estetik Görünüm: Olumlu etkisi var
Estetik olarak likit kristal cam teknolojisi, yapının mesai dışındaki görünümünü değiştirerek ikonik bir görüntü sunar. Opaklaşma sayesinde yapı, çevrede dikkat çeken ve markayı yansıtan bir tasarım sunar. Bu nedenle, estetik olarak örüntü oluşturma performansı "olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

Yukarıda sırayla adaptif cephe performans değerlendirmesi ile ilgili bulgular açıklanan 12 yapı örneği, Çizelge 4.1'de özetlenmiş ve elde edilen sonuçlar üç performans kriteri özelinde yorumlanmıştır.

Kullanıcı konforu açısından yapılar değerlendirildiğinde çoğu yapı görsel konfor açısından yüksek performans sergilemiştir. Örneğin, Media TIC ve Kiefer Technic Showroom gibi yapılar, güneş ışığını optimize ederek iç mekanlardaki görsel konforu

artırmıştır. Benzer şekilde, House of Natural Resources ve Festo Otomasyon Merkezi gibi yapılar, kullanıcıların görsel konforunu artırmak için güneş ışığı ve sıcaklık kontrolü sağlayan gelişmiş cam teknolojileri kullanmıştır. Ancak, Arap Dünya Enstitüsü gibi bazı yapılarda teknolojik arızalar, görsel konforu tam anlamıyla sağlayamamış ve performanslarını olumsuz etkilemiştir.

12) Garanti BBVA Kampüsü

KK1: Görsel konfor: Olumlu etkisi var

Garanti BBVA Kampüsü'nün çift cidarlı cam cephesi, doğal gün ışığını etkin bir şekilde iç mekâna taşıyarak görsel konforu yüksek seviyede sağlar. Ofis alanlarının doğal ışık alacak şekilde yerleştirilmesi, gün boyu sabit bir aydınlatma düzeyinin korunmasını desteklemektedir. İç avluların etrafında konumlanan çalışma alanları da doğal ışık alımını maksimize eder. Bu nedenle, görsel konfor performansı "olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

KK2: İklimsel konfor: Olumlu etkisi var

Yapının çift cidarlı cam cephe sistemi, iç ortam sıcaklığını dengelemek ve enerji verimliliğini artırmak için bir termal bariyer oluşturur. Havalandırma menfezleri, iç ortam sıcaklığının doğal yollarla kontrol edilmesine katkı sağlar ve iç mekânda iklimsel konforu destekler. Gün ışığı ve sıcaklık kontrolü için bu sistemin kullanılması, termal konforu artırmaktadır. Bu nedenle, iklimsel konfor performansı "olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

KK3: İşitsel konfor: Kısmen olumlu etkisi var

Çift cidarlı cam cephe, dışarıdan gelen sesleri kısmen azaltarak işitsel konforu iyileştirir. Ancak, açık avlular ve geniş cam yüzeyler nedeniyle işitsel konfor tam olarak sağlanamayabilir. Yine de ses izolasyonu bakımından kısmi bir iyileşme sunmaktadır. Bu nedenle, işitsel konfor performansı "kısmen olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

ÇP1: Enerji tüketimi: Kısmen olumlu etkisi var

Garanti BBVA Kampüsü'nün adaptif cephe sistemi, enerji verimliliğine katkıda bulunmak amacıyla tasarlanmıştır. Çift cidarlı cam cephe ve entegre aydınlatma

sistemleri, enerji tüketimini optimize etmeye yardımcı olabilir. Ancak, yüksek teknoloji kullanımı enerji tüketimini kısmen azaltır, bu nedenle enerji tüketimi performansı "kısmen olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

ÇP2: Enerji üretimi: Etkisi yok

Yapıda enerji üretimi sağlayan herhangi bir teknoloji bulunmamaktadır. Bu nedenle, enerji üretimi performansı "etkisi yok" olarak değerlendirilmiştir.

ÇP3: Çevre kirliliği ve karbon emisyonları: Kısmen olumlu etkisi var

Cephe sisteminin enerji verimliliği sağlama potansiyeli, çevre kirliliği ve karbon emisyonlarını kısmen azaltabilir. Bununla birlikte, kullanılan aktif sistemler belirli bir enerji tüketimi gerektirdiği için karbon emisyonlarına etkisi sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle, çevre kirliliği ve karbon emisyonları performansı "kısmen olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

DOE1: Dış fiziksel çevreyle iletişim: Kısmen olumlu etkisi var

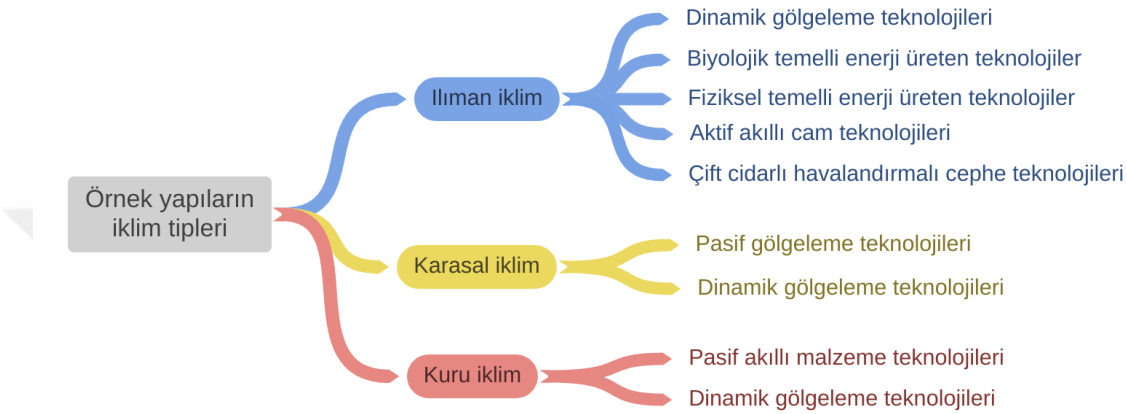
Çift cidarlı cam cepheler, dış çevreyle görsel bağlantıyı sürdürürken, geniş cam yüzeyler dış mekânla görsel bir ilişki kurulmasına olanak tanır. Ancak, kapalı cephe sistemleri nedeniyle dış çevreyle olan fiziksel etkileşim sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle, dış fiziksel çevreyle iletişim performansı "kısmen olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

DOE2: Estetik görünüm: Olumlu etkisi var

Kristal biçimli ana yapı ve cam cephenin estetik yerleşimi, yapı boyunca ilgi çekici bir örüntü oluşturur. Çift cidarlı cam yüzeyler ve avluların arasındaki zarif köprüler, yapıya mimari bir estetik katar. Bu nedenle, estetik görünüm performansı "olumlu etkisi var" olarak değerlendirilmiştir.

Tez kapsamında incelenen örnek yapıların iklim tipine göre dağılımı incelendiğinde; 8 yapı ılıman iklim, 2 yapı karasal iklim ve 2 yapı kuru iklime sahiptir. Örnek yapıların iklim tiplerine ve adaptif cephe teknolojilerine göre dağılımı Şekil 4.1'te gösterilmiştir.

Şekil 4.1 Örnek yapıların iklim tiplerine ve adaptif cephe teknolojilerine göre dağılımı (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)



Ilıman iklimde yer alan yapıların adaptif cephe teknolojilerine bakıldığında *Dinamik gölgeleme teknolojileri* (Arap Dünya Enstitüsü (Fransa,1987); Media TIC (İspanya, 2009); Protel Yönetim Ofisi (Türkiye, 2015)), *Biyolojik temelli enerji üreten teknolojiler* (Biyoreaktör Evi (Almanya, 2013)), *Fiziksel temelli enerji üreten teknolojiler* (Natural Resources House (Almanya, 2015)), *Aktif akıllı cam teknolojileri* (Festo Otomasyon Merkezi (Almanya, 2015); Odeabank Suadiye Şubesi (Türkiye, 2016)), *Çift cidarlı havalandırmalı cephe teknolojileri* (Garanti BBVA Teknoloji Kampüsü (Türkiye, 2017)) kullanıldığı görülmektedir.

Karasal iklimde yer alan yapıların adaptif cephe teknolojilerine bakıldığında *Pasif kinetik gölgeleme teknolojileri* (Pittsburgh Çocuk Müzesi (ABD, 2004)) ve *Dinamik gölgeleme teknolojileri* (Kıefer Technic Showroom (Avusturya, 2007)) kullanıldığı görülmektedir.

Kuru iklimde yer alan yapıların adaptif cephe teknolojilerine bakıldığında *Pasif akıllı malzeme teknolojileri* (Bloom Projesi (ABD, 2011)) ve *Gölgeleme teknolojileri* (Al Bahar Kuleleri (Birleşik Arap Emirlikleri, 2013)) kullanıldığı görülmektedir.

Çizelge 4.1 Örnek yapıların performans kriterleri açısından karşılaştırmalı değerlendirme çizelgesi (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

Yapılar / Performans Parametreleri		Dünyadan Örnekler									Türkiye'den Örnekler		
		Arap Dünya Enstitüsü	Pittsburgh Çocuk Müzesi	Kıefer Technic Showroom	Media TIC	Bloom Projesi	Al Bahar Kuleleri	Biyoreaktör Evi (BIQ House, Solar Leaf)	House of Natural Resources (Adaptive Solar Facade)	Festo Otomasyon Merkezi	Protel Yönetim Ofisi	Garanti BBVA Teknoloji Kampüsü	Odeabank Suadiye Şubesi
KULLANICI KONFORU	KK1: Görsel konfor	+	+	++	++	+	+	+	++	++	++	++	+
	KK2: İklimsel konfor	+	+	++	++	++	+	+	++	++	++	++	0
	KK3: İşitsel konfor	0	-	+	0	0	0	0	0	+	+	+	+
ÇEVRESEL PERFORMANS	ÇP1: Enerji tüketimi	-	+	+	++	++	++	+	++	++	+	+	-
	ÇP2: Enerji üretimi	0	0	0	0	0	0	+	++	0	0	0	0
	ÇP3: Çevre kirliliği ve karbon emisyonları	0	+	+	++	++	++	+	++	++	+	+	-
DIŞ ORTAM ETKİLEŞİMİ	DOE1: Dış fiziksel çevreyle iletişim	+	-	+	+	+	+	0	++	+	+	+	++
	DOE2: Estetik görünüm	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
-- (Olumsuz etkisi var), - (Kısmen olumsuz etkisi var), 0 (Etkisi yok), +(Kısmen olumlu etkisi var), ++ (Olumlu etkisi var)													

İklimsel konfor açısından incelenen yapılar, genellikle iyi performans göstermiştir. Kiefer Technic Showroom ve Media TIC, iklimsel konforu iyileştiren adaptif sistemleri sayesinde iç mekanlarda ısı kazancını ve sıcaklık kontrolünü sağlamışlardır. Ancak, bazı yapılar, örneğin Arap Dünya Enstitüsü, teknolojik sorunlar nedeniyle bu konuda beklenen verimliliği sağlayamamıştır.

İşitsel konfor açısından ise çoğu yapı bu konuda sınırlı performans göstermiş, yalnızca birkaç yapı işitsel konforu iyileştirmiştir. Özellikle Garanti BBVA Kampüsü ve Festo Otomasyon Merkezi gibi yapılar, çift cidarlı cam cepheleri sayesinde işitsel konforu

kısmen sağlamıştır. Ancak, Pittsburgh Çocuk Müzesi gibi yapılar işitsel konfor açısından olumsuz bir performans göstermiştir, çünkü panellerin hareketi rahatsız edici sesler oluşturmuştur.

Çevresel performans açısından yapılar değerlendirildiğinde adaptif cepheler enerji tüketimini azaltmada başarılı sonuçlar elde etmiştir. Örneğin, Media TIC binası, ETFE panelleri sayesinde geleneksel binalara kıyasla %75'e varan enerji tasarrufu sağlamıştır. Benzer şekilde, House of Natural Resources binası, enerji üretimi yaparak bina enerji ihtiyacını büyük ölçüde azaltmıştır. Ancak, enerji üretimi konusunda çoğu yapı yetersiz kalmış ve bu alanda gelişime ihtiyaç duyulduğu ortaya çıkmıştır. Örneğin mikroalg teknolojisi kullanılan Biyoreaktör Evi (BIQ House) projesi enerji üretimine katkı sağlamış ancak verimlilik açısından beklenen sonuçları elde edememiştir. Odeabank Suadiye Şubesi'nde ise kullanılan akıllı cam teknolojisi enerji tüketimini artıran ve çevresel performansı kötüleştiren örnekler arasında yer almıştır.

Çevre kirliliği ve karbon emisyonları açısından bakıldığında, enerji tüketimlerini azaltan ve/veya enerji üreten yapılar karbon emisyonlarını da azaltmıştır. Media TIC ve House of Natural Resources gibi binalar, karbon emisyonlarını %95'e varan oranlarda azaltarak çevresel sürdürülebilirliğe önemli katkılar sunmuştur.

Dış fiziksel çevreyle etkileşim ve estetik açısından, Kiefer Technic Showroom ve Media TIC, kinetik panelleri sayesinde dış çevreyle güçlü bir görsel ve fiziksel etkileşim sağlamıştır. Özellikle Media TIC'deki ETFE paneller, şeffaf yapıları ile dış çevreyle güçlü bir görsel bağlantı sağlarken, opak hale geldiğinde bu bağlantı sınırlanmıştır. Al Bahar Kuleleri ise otomatik açılan mashrabiya panelleri ile dış çevreyle olan etkileşimi kontrol etmeyi zorlaştırmış, kullanıcılar açısından sınırlı bir görsel etkileşim sunmuştur.

Estetik olarak, adaptif cephelerin çoğu dikkat çekici performans sergilemiştir. Media TIC ve Al Bahar Kuleleri, hareketli panelleri sayesinde estetik olarak bir örüntü oluşturmuş ve çevreye görsel olarak değer katmıştır. Mashrabiya panelleri gibi yerel ve modern unsurları birleştiren tasarımlar, estetik performansı olumlu yönde etkilemiştir. Bloom Projesi, termobimetal panellerin hareketi ile estetik olarak inovatif bir görsellik sunmuştur.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, adaptif cephe sistemine sahip yapıların performansını değerlendirmek amacıyla, Türkiye ve dünya genelinden seçilen 12 örnek yapı incelenmiştir. Yapılar, kullanıcı konforu, çevresel performans ve dış ortam etkileşimi olmak üzere üç ayırt edici performans kriteri çerçevesinde ve her bir kritere bağlı alt performans parametreleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda, adaptif cephelerin avantaj ve dezavantajları şu şekilde özetlenebilir:

Avantajları;

- Kullanıcı konforunu iyileştirme,
- Enerji tüketimlerini ve karbon emisyonlarını azaltma,
- Enerji verimliliği sağlama,
- Estetik ve dinamizm katma,
- Dış mekân konforunu iyileştirme,
- Sürdürülebilirliğe katkı sağlama.

Dezavantajları;

- İşitsel konforun geri planda kalması,
- Enerji üretimi konusunda yetersizlik,
- Teknolojik aksaklıklar ve bakım ihtiyacı,
- Kullanıcı kontrolü sınırlamaları,
- Dış çevreyle etkileşim kısıtlamaları,
- Karmaşık tasarımlara sahip olması,
- Tasarım ve bakım maliyeti yüksekliği.

Bu çalışma kapsamında yazar tarafından adaptif cephelerin performansı ile ilgili olarak aşağıdaki çıkarımlara ulaşılmıştır.

- Kinetik sisteme sahip adaptif cepheler yapının dış görünümüne dinamizm katmaktadır.
- Adaptif cepheler, çoğunlukla gün ışığı ve sıcaklık kontrolü sağlayarak kullanıcı konforunu iyileştirmektedir.

- Adaptif cephe sistemleri, görsel, iklimsel ve işitsel konforu iyileştirme potansiyeline sahiptir. Ancak, bu üç konfor parametresinin her birini optimize etmek her zaman mümkün olmamaktadır.
- Adaptif cephelerde görsel ve iklimsel konfor genellikle daha fazla ön planda tutulmaktadır. Örneğin kinetik bir sisteme sahip adaptif cephede sistem çalışırken mekanik sesler yaratabilir ya da çift cidarlı aktif havalandırılan bir adaptif cephe gürültü problemi yaratabilir. Cephede cam yüzey oranının fazla olması ise iç ortamdaki sesin camdan yansıması ile yankı; dış ortamdan gelen gürültünün iç ortama kolay iletilmesi ile gürültü problemine neden olabilir. Bu nedenle işitsel konforun geri planda kaldığı düşünülmektedir.
- Adaptif cephelerde kullanıcı kontrolü genellikle sınırlıdır ve çoğu sistem otomatik çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Bu durum, enerji verimliliğini ve konforu artırmayı hedeflese de kullanıcıların bireysel tercihlerini dikkate almayan sistemler bazen olumsuz sonuçlar doğurabilmektedir.
- Karmaşık teknolojik yapıya sahip adaptif cepheler düzenli bakım ve yenileme gerektirmektedir. Teknolojik aksaklıklar yapıların performansını olumsuz etkilemektedir.
- Adaptif cepheler, enerji tüketimini azaltma ve karbon emisyonlarını düşürme açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Ancak, enerji üretimi konusuna odaklanan adaptif cepheler az sayıdadır ve verimlilik açısından beklentiyi karşılamada yetersizdir.
- Makro ölçekte tasarlanan, gün ışığı kontrolü yapan gölgeleme bileşen ve sistemler bakış açısını sınırlandırarak dış ortamla etkileşimi kısıtlamaktadır.
- Farklı iklim tiplerine göre yapıların adaptif cephe teknolojileri çeşitlilik göstermektedir.
- Ilıman iklim bölgesinde yer alan adaptif cephe tasarımlarında özellikle görsel ve iklimsel konforu iyileştiren ve gün ışını kontrol ederek gölgeleme sağlayan kinetik veya akıllı cam teknolojileri görülmektedir. Ayrıca güneşten enerji elde eden teknolojiler kullanılarak çevresel performansı artıran tasarımlar bulunmaktadır.

- Karasal iklimlerde sıcaklık kontrolü ve ısı yalıtımı sağlayarak iklimsel konforu ve enerji tüketimlerini iyileştiren adaptif cephe çözümleri öne çıkmaktadır.
- Kuru iklimlerde, sıcaklık kontrolü sağlamaya yönelik aktif veya pasif gölgeleme sistemlerinin kullanıldığı adaptif cephe tasarımları dikkat çekmektedir.
- Bu tez kapsamında maliyet faktörü incelenmemiştir ancak genel olarak geleneksel cephelere kıyasla adaptif cepheler yüksek maliyet gerektirebilmektedir. Özellikle sensörler, aktüatörler, yapay zekâ ve otomasyon sistemleri gibi karmaşık teknolojilerin entegre edildiği projelerde, ilk yatırım maliyeti tasarım ve inşaat aşamalarında artış gösterebilir. Yapının işletim aşamasında ise kullanıcılar, bu sistemlerin yönetimi ve sürdürülmesi (işletim ve bakım) için ek ücretler ödemek zorunda kalabilirler.

Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlara dayanarak, adaptif cephe sistemlerinin performansını artırmak için dayanıklılığın ve kullanılan teknolojilerin geliştirilmesi önerilmektedir. Mekanik aksaklıkların konfor üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için bu sistemlerin daha güvenilir hale getirilmesi önem taşımaktadır. Ayrıca, görsel, iklimsel ve işitsel konforun dengeli bir şekilde optimize edilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda işitsel konforun projelerde daha fazla öncelik kazanması, kullanıcı memnuniyetini artıracaktır. Adaptif cephelerin performansını uzun vadeli koruyabilmek için düzenli bakım ve yenileme planlarının oluşturulması hem yapıların performansını sürdürmesi hem de ekonomik sürdürülebilirliği sağlaması açısından önemlidir. Bunun yanı sıra, enerji verimliliği sağlayan teknolojilerin geliştirilmesi, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılmasını kolaylaştıracaktır. Kullanıcılara manuel kontrol imkânı sunulan adaptif cephe tasarımları ise bireysel konfor ihtiyaçlarına daha iyi yanıt vererek kullanıcı memnuniyetini yükseltebilecektir. İklim tipi, adaptif cephelerin tasarımında kritik bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, her iklimin özelliklerine göre özelleştirilmiş teknolojiler ve stratejiler kullanılarak, yapının performansı optimize edilmelidir. Son olarak, adaptif cephe tasarımlarında estetik ve işlevsellik arasında dengenin sağlanması ile cepheler hem görsel etkileşim hem de kullanım kolaylığı açısından daha kullanıcı dostu hale getirilebilir.

Adaptif cephelerin maliyetlerini düşürmek için, yapı yaşam döngüsünün her aşamasında bazı stratejiler uygulanabilir. Kaynak üretimi, taşıma ve nakliye aşamalarında maliyeti azaltmak için tasarım aşamasında yerel malzemeler tercih edilebilir. Tasarımda basit sistemler tercih etmek, karmaşık teknolojiler kullanılıyorsa, entegrasyonu optimize etmek adaptif cepheleri daha verimli ve uygun maliyetli hale getirebilir. İnşaat aşamasında özel üretilmiş bileşenlerin montajını daha kolay hale getirecek ve işçilik maliyetlerini düşürecek standartlaştırma veya modüler tasarımlar tercih edilebilir. Ayrıca az denetim gerektiren tasarımların tercih edilmesi inşaat sürecindeki maliyet artışlarını azaltabilir. İşletim ve bakım aşamalarındaki maliyeti azaltmak için ise uzun vadeli, sürdürülebilir olan, daha az enerji tüketen ve düşük bakım gerektiren sistemler tercih edilebilir.

Adaptif cepheler hem Türkiye'de hem de dünya genelinde binaların performansını artırma, enerji verimliliği sağlama ve estetik bir mimari sunma açısından önemli katkılar sağlamaktadır. Dünya genelinde enerji üretimi ve çevresel sürdürülebilirlik açısından başarılı uygulamalar bulunurken, Türkiye'de de bu alanda gelişim potansiyeli mevcuttur. Türkiye'de adaptif cephelerin potansiyelini daha verimli kullanabilmek için; iklimsel koşullara uyum sağlayan tasarımlar yapılması, enerji maliyetlerinin yüksek olması sebebiyle enerji verimli sistemlerin tercih edilmesi, yerel malzeme kullanımının önceliklendirilmesi, kentsel dönüşüm projelerine adaptif cephelerin entegre edilmesi, farkındalık ve bilinçlendirme için bu konuda eğitimlerin düzenlenmesi ve bu cephelerin maliyetlerini düşürmek için devlet teşviklerinin sağlanması önerilmektedir. Gelecekte Türkiye'de daha fazla enerji üreten adaptif cephe sistemlerinin uygulanması, sürdürülebilir binaların yaygınlaşmasına katkı sağlayacaktır. Ayrıca, kinetik ve dinamik cephelerin kullanımının artması hem estetik hem de işlevsel açıdan Türkiye'deki binaların performansını daha da iyileştirebilir. Türkiye'nin yerel iklim koşulları ve enerji ihtiyaçlarına uygun cephe sistemlerinin geliştirilmesi, bu alandaki performansı artıracak ve dünya genelindeki adaptif cephe uygulamaları ile rekabet gücünü yükseltecektir.

Sonuç olarak, adaptif cephe teknolojilerinin bina performansına katkıları büyük ölçüde kullanılan sistemin türüne, işlevselliğine ve yapı tasarımına bağlıdır. Çoğu yapı kullanıcı konforu, çevresel performans ve dış ortam etkileşimi açısından olumlu

sonuçlar verse de bazı cephelerin uzun vadede bakım ve işlevsellik sorunları yaşadığı görülmüştür. Bu çalışmanın literatüre dünyada ve Türkiye'de adaptif cephe teknolojilerinin performansını değerlendirme açısından katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Gelecek çalışmalarda, Türkiye'ye özgü adaptif cephe uygulamaları daha kapsamlı olarak ele alınabilir. Özellikle yerel iklim koşullarına ve enerji ihtiyaçlarına uygun sistemlerin geliştirilmesi, bu alandaki eksikliğin giderilmesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Addington, M., & Schodek, D. (2005). Smart materials and technologies. *Architecture and Urbanism, 5*(3), 8-13.

Aelenei, D., Aelenei, L., & Vieira, C. P. (2016). Adaptive Façade: concept, applications, research questions. *Energy Procedia, 91*, 269-275.

Aelenei, L., Brzezicki, M., Knaack, U., Luible, A., Perino, M., & Wellershoff, F. (2015). COST action TU1403-adaptive facades network. *Aelenei, L., Brzezicki, M., Knaack U., Luible, A., Perino, M., & Wellershoff, F., Adaptive façade network—Europe. Delft: TU Delft Open.*

Alice, P., Valentina, S., Lorenza, B., & Andrea, K. (2015). Innovative technologies for transparent building envelopes: Experimental assessment of energy and thermal comfort data to facilitate the decision-making process. *Proceedings of the International Conference on Innovations in Construction, Seville, Spain*, 18-20.

Anonim. (t.y.). Çatalhöyük izlenimi. Içinde *archaeologs*. Geliş tarihi 12 Kasım 2023, gönderen https://www.archaeologs.com/i/111/catalhuyuk?gobacklng=el

Antoszkiewicz, P., & Gupta, P. (2018). *Architecture in Motion.*

ArchDaily. (2014, Temmuz 15). *"Parking Structure Art Facade / Rob Ley Studio"* . ArchDaily. https://www.archdaily.com/536756/parking-structure-art-facade-urbana

ArchDaily. (2019). *Garanti BBVA Bankası Teknoloji Kampüsü*. https://www.arkitera.com/proje/garanti-teknoloji-kampusu/

Archello. (2023). *Children's Museum of Pittsburgh*. https://archello.com/project/childrens-museum-of-pittsburgh

Architizer. (2013). *Al Bahr Towers*. Architizer. https://architizer.com/projects/al-bahr-towers/

Architonic. (2013). *BIQ HOUSE Hamburg, Germany, 2013* . https://www.architonic.com/en/project/arup-biq-house/5101636

Arkitektuel. (2017, Mart 6). *Kristal saray*. Arkitektuel. https://www.arkitektuel.com/kristal-saray/

Arkitektuel. (2018). *Media-TIC*. https://www.arkitektuel.com/media-tic/

Arkitektuel. (2020). *Garanti BBVA Kampüsü* . https://www.arkitektuel.com/garanti-bbva-teknoloji-kampusu/garanti-bbva-teknoloji-kesit-perspektif/

Arkiv. (2024a). *Garanti BBVA Bankası Teknoloji Kampüsü*. https://www.arkiv.com.tr/proje/garanti-teknoloji-kampusu/4432#:~:text=ERA%20%C5%9Eehircilik%20Mimarl%C4%B1k%20taraf%C

4%B1ndan%20tasarlanan,yerine%20getirmek%20%C3%BCzere%20in%C5%9Fa%20edildi

Arkiv. (2024b). *Odeabank Suadiye Şubesi*. Arkiv. https://www.arkiv.com.tr/proje/odeabank-suadiye-subesi/6614

Arkiv. (2024c). *Protel Yönetim Binası*. https://www.arkiv.com.tr/proje/protel-binasi/4734

Arpacıoğlu, Ü. T. (2010). *Günışığı öncelikli fiziksel çevre tasarım destek modeli*.

Arup. (2013). *World-first façade system to cultivate micro-algae to generate heat and biomass as renewable energy sources*. Arup. https://www.arup.com/projects/solarleaf/

ASHRAE. (2009). ASHRAE Hand book – Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc. Içinde *Atlanta-USA*.

ASHRAE. (2017). *2017 ASHRAE Handbook—Fundamentals* .

ASHRAE 55. (2017). *Thermal environmental conditions for human occupancy*.

Attia, S. (2017). Evaluation of adaptive facades: The case study of Al Bahr Towers in the UAE. *QScience Connect*, *2017*(2), 6.

Attia, S. (2019). *Adaptive Facades Performance Assessment, interviews with facade experts*.

Attia, S., Bilir, S., Safy, T., Struck, C., Loonen, R., & Goia, F. (2018). Current trends and future challenges in the performance assessment of adaptive façade systems. *Energy and Buildings*, *179*. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.09.017

Attia, S., Favoino, F., Loonen, R., Petrovski, A., & Monge-Barrio, A. (2015a). Adaptive façades system assessment: An initial review. *10th Conference on Advanced Building Skins, 3-4 November 2015, Bern, Switserland*, 1275-1283.

Attia, S., Favoino, F., Loonen, R., Petrovski, A., & Monge-Barrio, A. (2015b). Adaptive façades system assessment: An initial review. *10th Conference on Advanced Building Skins, 3-4 November 2015, Bern, Switserland*, 1275-1283.

Attia, S., Garat, S., & Cools, M. (2019a). Development and validation of a survey for well-being and interaction assessment by occupants in office buildings with adaptive facades. *Building and Environment*, *157*, 268-276. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.04.054

Attia, S., Garat, S., & Cools, M. (2019b). Development and validation of a survey for well-being and interaction assessment by occupants in office buildings with adaptive facades. *Building and Environment*, *157*, 268-276.

Bayazıt, N. T., & Aşcıgil, M. (2007). Sağlıklı ve yaşanabilir çevreler için akustiğin önemi. *VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi syf, 289*.

Berkmen Çelikağ, H. (2023). *Ofis yapılarında iklime uyarlı cephe tasarımlarının irdelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi.

Bojovic, M. (2013). *Bloom by DOSU is environmentally responsive installation*. http://www.evolo.us/bloom-by-dosu-is-environmentally-responsiveinstallation/

Broeckmann, A. (2016). *Machine art in the twentieth century*. MIT Press.

Brzezicki, M. (2021). A typology of adaptive façades. An empirical study based on the morphology of glazed facades. *Cogent Arts & Humanities*, *8*(1), 1960699.

BS EN ISO 7730. (2005). Ergonomics of the thermal environment. Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Içinde *International Standardization Organization*.

Caffrey, R. J. (1988). *The intelligent building: an ASHRAE opportunity*. ASHRAE.

Carocari, M. (2023). *House of Natural Resources*. ETH Zurich. https://honr.ethz.ch/en/fotogalerie.html

Carson, R. (2015). Silent spring. Içinde *Thinking about the environment* (ss. 150-155). Routledge.

Chen, G.-D., Lin, C.-W., & Fan, H.-W. (2015). The history and evolution of kinetic art. *International Journal of Social Science and Humanity*, *5*(11), 922.

Çakır Aydoğan, Ö. (2018). *Ses verileri etkileşimli dinamik adaptif bir cephe önerisi Sound shıeld* [Tüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.

ÇŞB. (2024). Gürültü Kirliliği. *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*. https://tekirdag.csb.gov.tr/gurultu-kirlili-sharp287-i-i-1748

Davies, M. (1981). A Wall for all seasons+ Uses for glass in building. *Riba Journal-Royal Institute of British Architects*, *88*(2), 55-57.

Dobzhansky, T., Hecht, M. K., & Steere, W. C. (1968). On some fundamental concepts of Darwinian biology. Içinde *Evolutionary Biology: Volume 2* (ss. 1-34). Springer.

Drozdowski, Z. (2011a). The adaptive building initiative: the functional aesthetic of adaptivity. *Architectural Design*, *81*(6), 118-123.

Drozdowski, Z. (2011b). The adaptive building initiative: the functional aesthetic of adaptivity. *Architectural Design*, *81*(6), 118-123.

Elzeyadi, I. (2017). The impacts of dynamic façade shading typologies on building energy performance and occupant's multi-comfort. *Architectural science review*, *60*(4), 316-324.

Ergin, Ö. (2019). *Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi.

Escrig, F., & Brebbia, C. A. (1996). *Mobile and Rapidly Assembled Structures II: Second International Conference on Mobile and Rapidly Assembled Structures, MARAS 96* (C. 24). Computational Mechanics Publications.

ETH Zürich. (2024a). *ASF – Adaptive Solar Facade*. https://systems.arch.ethz.ch/research/adaptive-solar-facade

ETH Zürich. (2024b). *House of Natural Resources: Mission Statement*. https://honr.ethz.ch/en/ueber-uns.html

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*, 249-263.

Festo Sustainability Report. (2020). *Festo Sustainability Report 2017-2019*.

Furuto, A. (2012). *Bloom / DO|SU Studio Architecture*. ArchDaily. https://www.archdaily.com/215280/bloom-dosu-studio-architecture

Galison, P. (1994). The ontology of the enemy: Norbert Wiener and the cybernetic vision. *Critical inquiry*, *21*(1), 228-266.

Gediri Gökçen, G. Ş. (2023). *Uyum gösteren (adaptif) cepheler: Hareketli güneş kontrol elemanlarının ısıl enerji performansının değerlendirilmesi*.

Güney, N. N. (2024). *Adaptif cephelerde gün ışığı performansı üzerine bir analiz çalışması* [Yüksek Lisans Tezi]. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi.

Hauashdh, A., Nagapan, S., Jailani, J., & Gamil, Y. (2024). An integrated framework for sustainable and efficient building maintenance operations aligning with climate change, SDGs, and emerging technology. *Results in Engineering*, *21*, 101822.

Heidari Matin, N., & Eydgahi, A. (2020). Factors affecting the design and development of responsive facades: a historical evolution. *Intelligent buildings international*, *12*(4), 257-270.

Heidari Matin, N., & Eydgahi, A. (2022). Technologies used in responsive facade systems: a comparative study. *Intelligent buildings international*, *14*(1), 54-73.

Hemmelgarn, D. (2015). *Efficiency-Facade PLUS-to form an urban Benchmark*.

Hosseini, S. M., Mohammadi, M., & Guerra-Santin, O. (2019). Interactive kinetic façade: Improving visual comfort based on dynamic daylight and occupant's positions by 2D and 3D shape changes. *Building and Environment, 165*, 106396.

IES. (2004). Light + Design: A Guide to Designing Quality Lighting for People and Buildings. . Içinde *Illuminating Engineering Society (IES).* .

İnan, N. (2014). *Kinetik yapı tasarımında işlevsel esneklik ve entegre sistemlerin kullanım önerisi* [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. Gazi Üniversitesi.

IPCC. (2015). *Fifth Assessment Report: Mitigation of Climate Change*.

Jayathissa, P., Schmidli, J., Hofer, J., & Schlueter, A. (2016). Energy performance of PV modules as adaptive building shading systems. *EU PVSEC*, 2513-2517.

Juaristi, M., & Monge-Barrio, A. (2016). Adaptive façades in temperate climates. An in-use assessment of an office building. *11th conference on advanced building skins*.

Kabir, M. M. (2021). *Varsayımsal Bir Hücre Tipi Ofis İçin Farklı Uyarlanabilir Cephe Sistemlerinin Günışığı ve Enerji Performansının Değerlendirilmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.

Karakoç, E. (2015). *Performansa dayalı adaptif bina kabuğu tasarımı* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.

Karakoç, E. (2021). *Çevresel performans odaklı adaptif cephe modülü için akıllı sistem tasarımı* [Doktora Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.

Kearch. (2024). *Children's Museum of Pittsburgh*. Kearch. https://www.kearch.com/childrens-museum-of-pittsburgh

Kızıltoprak, S. (2019). *Akıllı Yapı Kabuğunda Cephe Bileşeni Olarak Kullanılan Akıllı Camların Seçimi İçin Sistem Önerisi*. İstanbul Teknik Üniversitesi.

Kim. Erika. (2011). *doris sung: bloom at materials & applications*. designboom.

Kocaağa, M. (2022). *Çevresel performans odaklı adaptif cephe sistemlerinin incelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi.

Koglin, T. L. (2003). *Movable bridge engineering*. John Wiley & Sons.

Kolarevic, B., & Parlac, V. (2015). *Building Dynamics: Exploring Architecture of Change*.

Koyaz, M. (2022). *Human centred performance approach (hcpa) for adaptive facade design* [Doktora Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.

Kroner, W. M. (1997). An intelligent and responsive architecture. *Automation in construction, 6*(5-6), 381-393.

Kükdamar, İ. (2016). *Biyo adaptif cephe elemanları* [Yüksek Lisans Tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi.

Lee, C., Lee, H., Choi, M., & Yoon, J. (2019). Design optimization and experimental evaluation of photovoltaic double skin facade. *Energy and Buildings*, *202*, 109314.

Lehman, M. L. (2016). *Adaptive sensory environments: An introduction*. Taylor & Francis.

Linn, C. (2014). *Kinetic architecture: design for active envelopes*. Images publishing.

Loonen, R. C. G. M., Favoino, F., Hensen, J. L. M., & Overend, M. (2017). Review of current status, requirements and opportunities for building performance simulation of adaptive facades. *Journal of Building Performance Simulation*, *10*(2), 205-223.

Loonen, R. C. G. M., Rico-Martinez, J. M., Favoino, F., Brzezicki, M., Menezo, C., La Ferla, G., & (Laura) Aelenei, L. (2015). *Design for façade adaptability: Towards a unified and systematic characterization*.

Loonen, R. C. G. M., Trčka, M., Cóstola, 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.

Marzo. (2014). *Arab World Institute*. WIKIARQUITECTURA. https://en.wikiarquitectura.com/building/arab-world-institute/

Moloney, J. (2011). *Designing kinetics for architectural facades: state change*. Routledge.

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*, *2015*(18), 1-12.

Nagy, Z., Svetozarevic, B., Jayathissa, P., Begle, M., Hofer, J., Lydon, G., Willmann, A., & Schlueter, A. (2016). The adaptive solar facade: from concept to prototypes. *Frontiers of Architectural Research*, *5*(2), 143-156.

Ned Kahn. (2024). *Articulated Cloud Pittsburgh Children's Museum, Pittsburgh, PA. 2004*. https://nedkahn.com/portfolio/articulated-cloud

Odaman Kaya, H. (2018). *Ofis binalarinin enerji performansini iyileştirmek üzere iklime uyarli gölgeleme elemanlari tasarimi için bir model: Bayrakli Tower örneği* [Doktora Tezi]. Dokuz Eylül Üniversitesi.

Oral, G. K., Yener, A. K., & Bayazit, N. T. (2004). Building envelope design with the objective to ensure thermal, visual and acoustic comfort conditions. *Building and Environment*, *39*(3), 281-287.

Öner, D. (2020). *Uyum gösteren gölgeleme bileşenlerinin parametrik tasarım araçlarıyla performans değerlendirmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.

Pask, G. (1969). The Architectural Relevance of Cybernetics. *Architectural Design*, *7*(6), 494-496.

Pgh Murals. (2016, Ocak 4). *Articulated Cloud by Ned Kahn*. Pgh Murals. https://pghmurals.blogspot.com/2016/01/articulated-cloud-by-ned-kahn.html

Powell, D., Hischier, I., Jayathissa, P., Svetozarevic, B., & Schlüter, A. (2018). A reflective adaptive solar façade for multi-building energy and comfort management. *Energy and Buildings*, *177*, 303-315.

Romano, R., Aelenei, L., Aelenei, D., & Mazzucchelli, E. S. (2018). What is an adaptive façade? Analysis of Recent Terms and definitions from an international perspective. *Journal of Facade Design and Engineering*, *6*(3), 65-76.

Ruiz-Geli, E. (2011). *Media-ICT building CZFB.*

Sadegh, S. O., Haile, S. G., & Jamshidzehi, Z. (2022). Development of two-step biomimetic design and evaluation framework for performance-oriented design of multi-functional adaptable building envelopes. *Journal of Daylighting*, *9*(1), 13-27.

Saint-Gobain. (2024). *SageGlass | HOW ELECTROCHROMIC GLASS WORKS*. https://www.sageglass.com/smart-windows/how-electrochromic-glass-works

Sezer, F. Ş. (2005). Farkli Cam Türlerinin Performans Kriterlerinin İncelenmesi. *Cilt*, *10*(1).

Simon, J., Leal, B., Petroski, H., & Calder, A. (2008). Alexander Calder: The Paris Years, 1926-1933. *(No Title).*

Smith, G. W. (2015). Swing Low, Sweet Chariot: Kinetic Sculpture and the Crisis of Western Technocentrism. *Arts*, *4*(3), 75-92.

Souza, E. (2024, Şubat 15). *How Do Double-Skin Façades Work?* ArchDaily. https://www.archdaily.com/922897/how-do-double-skin-facades-work

Struck, C., Almeida, M. G. de, Silva, S. M., Mateus, R., Lemarchand, P., Petrovski, A., Rabenseifer, R., Wansdronk, R., Wellershoff, F., & De Wit, J. (2015). *Adaptive facade systems-review of performance requirements, design approaches, use cases and market needs*.

Svetozarevic, B., Nagy, Z., Hofer, J., Jacob, D., Begle, M., Chatzi, E., & Schlueter, A. (2016). SoRo-Track: A two-axis soft robotic platform for solar tracking and building-integrated photovoltaic applications. *2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 4945-4950.

Şenkal, F. (2002). *Yapıda giydirme cephe sisteminin kullanımında optimal konfor koşullarının sağlanması için performans kriterlerinin araştırılması* [Doktora Tezi]. Trakya Üniversitesi.

Tabadkani, A., Roetzel, A., Li, H. X., & Tsangrassoulis, A. (2021a). A review of occupant-centric control strategies for adaptive facades. *Automation in Construction*, *122*, 103464. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103464

Tabadkani, A., Roetzel, A., Li, H. X., & Tsangrassoulis, A. (2021b). Design approaches and typologies of adaptive facades: A review. *Automation in Construction*, *121*, 103450.

Tanisha, Y. (2011). *Media TIC, Barcelona: A bold approach to Building Performance*. Re-thinking The Future. https://www.re-thinkingthefuture.com/case-studies/a7039-media-tic-barcelona-a-bold-approach-to-building-performance/

Veliko, K., & Thun, G. (2013). *Responsive Building Envelopes: Characteristics and Evolving Paradigms in Design and Construction of High-Performance Homes*. Routledge Press: New York, NY, USA.

Vinnitskaya, I. (2010, Ekim 17). *Kiefer Technic Showroom / Ernst Giselbrecht + Partner*. ArchDaily. https://www.archdaily.com/89270/kiefer-technic-showroom-ernst-giselbrecht-partner

Wigginton, M., & Harris, J. (2013). *Intelligent skins*. Routledge.

WilfriedC. (2013). *EWE-Arena.jpg*. Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EWE-Arena.jpg

Wilkinson, C., & Wood, A. (2012). *Al Bahar Towers: External Automated Shading System: Jury Statement of CTBUH Innovation Award.*

Winstanley, T. (2011, Ekim 2). *"AD Classics: Institut du Monde Arabe / Enrique Jan + Jean Nouvel + Architecture-Studio"*. ArchDaily. https://www.archdaily.com/162101/ad-classics-institut-du-monde-arabe-jean-nouvel

Wu, W., Skye, H. M., & Domanski, P. A. (2018). Selecting HVAC systems to achieve comfortable and cost-effective residential net-zero energy buildings. *Applied Energy*, *212*, 577-591. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.12.046

Wurm, J., & Pauli, M. (2016). SolarLeaf: The world's first bioreactive façade. *Arq: Architectural Research Quarterly, 20*(1), 73-79.

Yaman, B. (2022). *Performans tabanlı parametrik ve adaptif bina kabuğu tasarım önerisi* [Yüksek Lisans Tezi]. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi.

Yapı Kataloğu. (2023). *Çift Cidarlı Cephelerin Çalışma Sistemleri*. https://www.yapikatalogu.com/blog/cift-cidarli-cephelerin-calisma-sistemleri_308

Zhang, X., Zhang, H., Wang, Y., & Shi, X. (2022). Adaptive façades: Review of designs, performance evaluation, and control systems. *Buildings*, *12*(12), 2112.

Zimmer, L. (2013, Mart 26). *Mexico City's Manuel Gea Gonzalez Hospital Has an Ornate Double Skin that Filters Air Pollution*. Inhabitat.

Zuk, W., & Clark, R. H. (1970). *Kinetic architecture*. Van Nostrand Reinhold Company.