



**UYARLANABİLİR CEPHELERİN
SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARLIĞA ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Mehmet ESGİL

Eskişehir 2025

**UYARLANABİLİR CEPHELERİN SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARLIĞA
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Mehmet ESGİL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mimarlık Anabilim Dalı

Bina Bilgisi Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Leyla Yekdane TOKMAN

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Haziran 2025

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Mehmet ESGİL'in UYARLANABİLİR CEPHELERİN SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARLIĞA ETKİSİNİN İNCELENMESİ başlıklı çalışması 13/06/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, Mimarlık Anabilim dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvan Adı Soyadı

İmza

Üye

: Prof. Dr. Leyla Yekdane TOKMAN

Üye

: Prof. Dr. Ruşen YAMAÇLI

Üye

: Doç. Dr. Orkun ALPTEKİN

Prof. Dr. Harun BÖCÜK

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

DANIşMAN ONAYI

Danişmanlığını yürüttüğüm Yüksek Lisans ğrencisi Mehmet ESGİL, UYARLANABİLİR CEPHELERİN SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARLIğA ETKİSİNİN İNCELENMESİ başlıklı tez çalışmasını tamamlamıştır. Hazırlamış olduğu tez tarafımca incelenmiş ve öğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun görülmüştür.

Tez Danişmanı

Prof. Dr. Leyla Yekdane TOKMAN

ÖZET

UYARLANABİLİR CEPHELERİN SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARLIĞA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Mehmet ESGİL

Mimarlık Anabilim Dalı

Bina Bilgisi Bilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Haziran 2025

Danışman: Prof. Dr. Leyla Yekdane TOKMAN

Yapılan araştırmalar, dünya olarak 2030 yılı için belirlenen sera gazı emisyonu hedefinden hala uzakta olduğumuzu ifade etmektedir. Bu durum karşısında ciddi önlemler alınmaması iklim değişikliği başta olmak üzere pek çok çevresel sorunun her geçen yıl etkisini artırmasına sebep olacaktır. Binalar, yapım-kullanım-yıkım süreçleri ile bu durumun oluşmasında önemli bir pay sahibidir. Bu yüzden binalarda temiz ve yenilenebilir enerji kullanarak, fosil yakıt tüketimi ve karbon emisyonunu azaltmayı, yenilenebilir ve geri dönüştürülebilir kaynak kullanımı ile de atık oluşumunu en aza indirmeyi teşvik eden ve bütün bunları kullanıcı konforunun gözetilerek yapılmasını hedefleyen sürdürülebilir mimari her geçen gün önemini artırmaktadır. Binanın çevresi ile bağlantısını sağlayan cepheler, sürdürülebilir mimari anlayışın tasarıma yansıtılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bu kapsamda geliştirilen uyarlanabilir cepheler binanın, çevresi ile uyumunu üst düzeye çıkarma potansiyeline sahiptir. Bu tez çalışmasında, binaların çevre üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılması için uyarlanabilir cephelerin farklı çözüm önerileriyle, çok yönlü sürdürülebilir katkı sunması hipotezinden yola çıkarak, ilk olarak sürdürülebilir mimarlığın tanımı yapılmış ve çevresel risklerden bahsedilerek önemi vurgulanmıştır. Daha sonra uyarlanabilir cephelerin uygulama çeşitliliğini sağlayan sistemler incelenmiş ve sistemlerin sürdürülebilir performanslarının etkisini ve çok yönlülüğünün değerlendirilmesi için yeşil bina sertifikalarından yararlanılarak performans kriterleri oluşturulmuştur. Oluşturulan performans kriterleri ile örnek uygulamalar incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, uyarlanabilir cephelerin sürdürülebilir potansiyelleri hakkında bilinç oluşturularak kullanımının yaygınlaştırılmasına katkı sunulması hedeflenmektedir.

Anahtar Sözcükler: Uyarlanabilir cepheler, Sürdürülebilir mimarlık, Pasif sistem, Aktif sistem, Yeşil bina sertifikaları.

ABSTRACT
**EXAMINING THE IMPACT OF ADAPTIVE FACADES ON SUSTAINABLE
ARCHITECTURE**

Mehmet ESGİL

Department of Architecture

Programme in Building Design

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, June 2025

Supervisor: Prof. Dr. Leyla Yekdane TOKMAN

Research shows that the world is still far away from the greenhouse gas emission target set for 2030. Failure to take serious measures against this situation will cause many environmental problems, especially climate change, to increase their impact each year. Buildings have an important share in the formation of this situation with their construction-use-demolition processes. Therefore, sustainable architecture, which encourages the use of clean and renewable energy in buildings to reduce fossil fuel consumption and carbon emissions, and minimizes waste generation by using renewable and recyclable resources, and aims to do all of this while taking user comfort into account, is increasing its importance day by day. Facades that connect the building with its surroundings play an important role in reflecting the sustainable architectural concept in the design. Adaptive facades developed in this context have the potential to maximize the harmony of the building with its environment. In this thesis, based on the hypothesis that adaptive facades provide versatile sustainable contributions with different solution proposals to reduce the negative impacts of buildings on the environment, firstly, sustainable architecture is defined and its importance is emphasized by mentioning environmental risks. Then, the systems that provide the application diversity of adaptive facades are analysed and performance criteria are established by using green building certificates to evaluate the impact and versatility of the sustainable performance of the systems. The performance criteria and sample applications are analysed and evaluated. In this study, it is aimed to contribute to the widespread use of adaptive facades by raising awareness about their sustainable potential.

Keywords: Adaptive facades, Sustainable architecture, Passive system, Active system, Green building certificates.

TEŞEKKÜR

Tezi hazırlama sürecimde değerli görüşleriyle bana yol gösteren tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Leyla Yekdane TOKMAN'a sonsuz teşekkürlerimi iletiyorum. Bu süreçte desteğini eksik etmeyen Sayın Prof. Dr. Ruşen YAMAÇLI'ya minnettarlığımı sunuyorum. Bütün eğitim hayatım boyunca olduğu gibi bu süreçte de hep yanımda olan ve beni destekleyen değerli ailem; annem Nalan ESGİL, babam Mustafa ESGİL ve kardeşim Taha ESGİL'e sevgi ve teşekkürlerimi gönderiyorum.

Mehmet ESGİL



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Mehmet ESGİL

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	I
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	II
DANIŞMAN ONAYI	III
ÖZET	IV
ABSTRACT.....	V
TEŞEKKÜR	VI
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	VII
İÇİNDEKİLER.....	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	XI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XIII
GÖRSELLER DİZİNİ	XVI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XVII
1. GİRİŞ.....	1
1.1.Amaç.....	2
1.2.Kapsam	2
1.3.Yöntem	2
2. SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARİ.....	4
2.1. Sürdürülebilirlik Kavramı ve Mimarlıktaki Konumu	4
2.2.Sürdürülebilir Mimarinin Önemi ve Uygulama Parametreleri	6
2.3.Sürdürülebilir Mimari Tasarımda Bina Cephelerinin Rolü.....	11
3.UYARLANABİLİR CEPHELER	14
3.1. Uyarlanabilir Cephelerin Tanımı	14
3.2. Uyarlanabilir Sistemler	15
3.2.1. Kontrol sistemleri	16
3.2.1.1. <i>Aktif sistem</i>	16
3.2.1.2. <i>Pasif sistem</i>	19

3.2.2. Cephe gölgeleme sistemi	25
3.2.2.1. <i>Kinematik yaklaşım</i>	26
3.2.2.2. <i>Elastik kinetik yaklaşımı</i>	28
3.2.3. Sistemlerin cephedeki konumu	29
3.2.3.1. <i>Dışarıdan (harici) uygulanan sistemler</i>	30
3.2.3.2. <i>Cepheye entegre(gömülü) sistemler</i>	31
3.2.3.3. <i>İçerden (dahili) uygulanan sistemler</i>	32
4. UYARLANABİLİR CEPHELERİN SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARLIK KAPSAMINDA PERFORMANS KRİTERLERİNİN BELİRLENMESİ	33
4.1. Bina Sürdürülebilirliği Derecelendirme Sertifikaları	33
4.1.1. LEED sertifikası	33
4.1.2. BREEAM sertifikası.....	36
4.1.3. DGNB sertifikası.....	38
4.2. Sürdürülebilirlikte Cephenin Rolü ve Cephenin Sürdürülebilir Performans Kriterleri.....	40
4.2.1 İç mekân kalitesi.....	42
4.2.1.1. <i>İç hava kalitesi</i>	44
4.2.1.2. <i>Görsel konfor</i>	45
4.2.1.3. <i>Termal konfor</i>	46
4.2.1.4. <i>Akustik performans</i>	47
4.2.2 Enerji yönetimi	48
4.2.2.1. <i>Enerji tüketimi ve karbon emisyonunun azaltılması</i>	50
4.2.2.2. <i>Yenilenebilir enerji üretimi</i>	51
4.2.2.3. <i>Yenilenebilir enerji kullanımı</i>	53
4.2.2.4. <i>Enerji verimli ekipmanlar</i>	54
4.2.3. Malzeme Kullanımı	55
4.2.3.1. <i>Sürdürülebilir Kaynak Kullanımı</i>	57
4.2.3.2. <i>Dayanıklılık ve Verimlilik</i>	58
4.2.4. Atık	59
4.2.4.1. <i>Bina Yaşam Döngüsü Etkisi</i>	60
4.2.4.2. <i>Uyarlanabilir Yapı Kullanımı</i>	62
4.2.5. İnovasyon	62

4.2.5.1.Öncü ve Özgün Tasarım.....	64
5. UYARLANABİLİR CEPHE UYGULAMALARININ BELİRLENEN PERFORMANS KRİTERLERİNE GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ	66
5.1.Hipotez	66
5.2. Uyarlanabilir Cephe Uygulamaları.....	66
5.2.1. Water Cube	66
5.2.2. KfW Westarkade	68
5.2.3. Al Bahar Kuleleri	70
5.2.4. Brisbane İç Hatlar Terminali Otoparkı	73
5.2.5. Manuel Gea Gonzalez Hastanesi.....	74
5.2.6.BIQ.....	76
5.2.7. SDU Kolding Kampüsü.....	78
5.2.8.İtalya Pavyonu	80
5.2.9. IVRV Evi.....	82
5.2.10. Cube Berlin	84
5.3.Bulguların Değerlendirilmesi.....	86
6. SONUÇ	90
KAYNAKÇA.....	92
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 3.1. Uyarlanabilir Cephe Sistemleri (Tablo yazar tarafından; Stankovic, Tanic, Cvetanovic, 2019'den uyarlanarak oluşturulmuştur.).....	15
Tablo 3.2. Uyarlanabilir Cepheelerde Kontrol Sistemleri (Tablo yazar tarafından; Stankovic, Tanic, Cvetanovic, 2019'den uyarlanarak oluşturulmuştur.).....	16
Tablo 3.3. Uyarlanabilir Cepheelerde Gölgeleme Sistemleri (Tablo yazar tarafından; Stankovic, Tanic, Cvetanovic, 2019'den uyarlanarak oluşturulmuştur.).....	25
Tablo 3.4. Uyarlanabilir Cepheelerde Sistemlerin Cephedeki Konumu (Stankovic, Tanic, Cvetanovic, 2019'den uyarlanmıştır.)	29
Tablo 4.1. LEED Sertifikası Puan Kategorileri (USGBC, 2025)	35
Tablo 4.2. BREEAM Sertifika Dereceleri (BREEAM, 2016).....	37
Tablo 4.3. BREEAM Uluslararası Yeni İnşaat Sertifikası 2016 Puan Kategorileri (BREEAM, 2016)	38
Tablo 4.4. İç Mekân Kalitesinin Yeşil Bina Sertifikalarındaki Alt Kategorileri (Tablo yazar tarafından; USGBC, 2025; BREEAM, 2016; (http-17) kaynaklarından uyarlanarak oluşturulmuştur.)	43
Tablo 4.5. Enerjinin Yeşil Bina Sertifikalarındaki Alt Kategorileri (Tablo yazar tarafından; USGBC, 2025; BREEAM, 2016; (http-17) kaynaklarından uyarlanarak oluşturulmuştur.)	49
Tablo 4.6. Malzemenin Yeşil Bina Sertifikalarındaki Alt Kategorileri (Tablo yazar tarafından; USGBC, 2025; BREEAM, 2016; (http-17) kaynaklarından uyarlanarak oluşturulmuştur.)	56
Tablo 4.7. Atığın Yeşil Bina Sertifikalarındaki Alt Kategorileri (Tablo yazar tarafından; USGBC, 2025; BREEAM, 2016; (http-17) kaynaklarından uyarlanarak oluşturulmuştur.)	59
Tablo 4.8. İnovasyonun Yeşil Bina Sertifikalarındaki Alt Kategorisi (Tablo yazar tarafından; USGBC, 2025; BREEAM, 2016 kaynaklarından uyarlanarak oluşturulmuştur.)	63
Tablo 4.9. Sürdürülebilir Performans Kriterleri Gereklilikler ve Olasılıklar (Yazar tarafından oluşturulmuştur.).....	64
Tablo 5.1. Water Cube Hakkında Genel Bilgi (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)	66
Tablo 5.2. KfW Westarkade Hakkında Genel Bilgi (Yazar tarafından oluşturulmuştur.).....	68

Tablo 5.3. Al Bahar Kuleleri Hakkında Genel Bilgi (Yazar tarafından oluşturulmuştur.).....	70
Tablo 5.4. Brisbane İç Hatlar Terminali Otoparkı Hakkında Genel Bilgi (Yazar tarafından oluşturulmuştur.).....	73
Tablo 5.5. Manuel Gea Gonzalez Hastanesi Hakkında Genel Bilgi (Yazar tarafından oluşturulmuştur.).....	74
Tablo 5.6. BIQ Hakkında Genel Bilgi (Yazar tarafından oluşturulmuştur.).....	76
Tablo 5.7. SDU Kolding Kampüsü Hakkında Genel Bilgi (Yazar tarafından oluşturulmuştur.).....	78
Tablo 5.8. İtalya Pavyonu Hakkında Genel Bilgi (Yazar tarafından oluşturulmuştur.).....	80
Tablo 5.9. IVRV Evi Hakkında Genel Bilgi (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)	82
Tablo 5.10. Cube Berlin Hakkında Genel Bilgi (Yazar tarafından oluşturulmuştur.).....	84
Tablo 5.11. İncelenen Örnek Uygulamaların Sürdürülebilir Performans Kriterleri (Yazar tarafından oluşturulmuştur.).....	86

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. 1990-2022 yılları arasında toplam net insan kaynaklı sera gazı emisyonları (UNEP, 2023)	7
Şekil 2.2. 2021 yılında binaların toplam enerji tüketimi(solda) ve CO ₂ emisyonundaki(sağda) payı (UNEP, 2022)	8
Şekil 2.3. Sürdürülebilir Mimarlığın Temel İlkeleri ve Tasarım Kriterleri (Şekil yazar tarafından; Sassi, 2006; Özmehmet, 2007; Akadiri, Chinyio, Olomolaiye, 2012 kaynaklarından uyarlanarak oluşturulmuştur.)	11
Şekil 3.1. The Polyvalent Wall(solda), Shearing Layers of Change(sağda) (Kaynak: Davies, 1981, Brand, 1995)	14
Şekil 3.2. Özelliklerine göre uyarlanabilir cephe sistemleri (Şekil yazar tarafından oluşturulmuştur.).....	16
Şekil 3.3. İklimle duyarlı aktif cephe tasarım algoritması (Şekil yazar tarafından, Korniyenko, 2021'dan uyarlanarak oluşturulmuştur.).....	18
Şekil 3.4. Dışsal kontrol sistemi (Loonen, 2010)	19
Şekil 3.5. Havalandırılmalı ve Havalandırmasız Trombe Duvarı Modeli (Ahmed vd., 2020)	21
Şekil 3.6. Trombe duvarının çalışma sistematığı (Konstantinou ve Hoces, 2018)	21
Şekil 3.7. Çift Katmanlı Cephelerin Sınıflandırılması (Şekil yazar tarafından, Tascon, 2008; Barbosa, Ip, 2014; http-1; http-2; http-3, http-4 kaynaklarından uyarlanarak oluşturulmuştur.)	22
Şekil 3.8. İçsel Kontrol Sistemi (Loonen, 2010)	23
Şekil 3.9. Uyarlanabilir sistemin yapıdaki konumu; (a) içerde, (b) ciltte, (c) dışarda (Zaimen, Laouar, 2020).....	30
Şekil 4.1. LEED Etki Kategorileri (Owens vd., 2013)	34
Şekil 4.2. DGNB Uluslararası Yeni İnşaat Sertifikası 2023 Puan Kategorileri (http-17)	40
Şekil 4.3. Binaların Sürdürülebilirlik Parametreleri (Şekil yazar tarafından oluşturulmuştur.).....	42
Şekil 4.4. Cephenin İç Mekân Kalitesi Parametreleri (Yazar tarafından oluşturulmuştur.).....	44
Şekil 4.5. Cephenin Enerji Performans Parametreleri (Yazar tarafından oluşturulmuştur.).....	50

Şekil 4.6. Binalarda Net Sıfır Enerji Hedefinin Temel Adımları (http-21).....	51
Şekil 4.7. Fotovoltaik Hücre İçinde Işığın Difüzyonu (Jalloul, 2020)	52
Şekil 4.8. Uyarlanabilir Cephelerde Güneş ve Rüzgâr Enerjisinden Yararlanma Çeşitleri (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)	54
Şekil 4.9. Malzeme Performansı Alt Parametreleri (Yazar tarafından oluşturulmuştur.).....	57
Şekil 4.10. Cephede kullanılacak sürdürülebilir malzemenin kriterleri (Yazar tarafından oluşturulmuştur.).....	58
Şekil 4.11. Atık Performansı Alt Parametreleri (Yazar tarafından oluşturulmuştur.).....	60
Şekil 4.12. Binanın Yaşam Döngüsü Aşamaları (One Click LCA, 2021)	61
Şekil 4.13. TiO ₂ Kaplamalı camın kendini temizleme aşamaları (Yunus vd., 2012).....	62
Şekil 4.14. İnovasyon Kategorisinin Alt Parametreleri (Yazar tarafından oluşturulmuştur.).....	64
Şekil 5.1. Water Cube Sürdürülebilir Performans Şeması (Yazar tarafından oluşturulmuştur.).....	68
Şekil 5.2. Rüzgâr kontrol şeması ve temiz havanın iç mekâna girişi (Sauerbruch, 2011)	69
Şekil 5.3. KfW Westarkade Sürdürülebilir Performans Şeması (Yazar tarafından oluşturulmuştur.).....	70
Şekil 5.4. Mashrabia'nın Ayrıntılı Modeli (Habibi, Valladares & Pena, 2022).....	71
Şekil 5.5. Al Bahar Kuleleri Sürdürülebilir Performans Şeması (Yazar tarafından oluşturulmuştur.).....	72
Şekil 5.6. Brisbane İç Hatlar Terminali Sürdürülebilir Performans Şeması (Yazar tarafından oluşturulmuştur.).....	74
Şekil 5.7. Fotokatalitik Cephenin Ayrıntılı Modeli (Habibi vd., 2022)	75
Şekil 5.8. Manuel Gea Gonzalez Hastanesi Sürdürülebilir Performans Şeması (Yazar tarafından oluşturulmuştur.).....	76
Şekil 5.9. BIQ Cephesinin Panel Detayı (Habibi vd.)	77
Şekil 5.10. BIQ Sürdürülebilir Performans Şeması (Yazar tarafından oluşturulmuştur.).....	78
Şekil 5.11. SDU Kolding Kampüsü Sürdürülebilir Performans Şeması (Yazar tarafından oluşturulmuştur.).....	80

Şekil 5.12. İtalya Pavyonu Sürdürülebilir Performans Şeması (Yazar tarafından oluşturulmuştur.).....	82
Şekil 5.13. IVRV Evi Sürdürülebilir Performans Şeması (Yazar tarafından oluşturulmuştur.).....	84
Şekil 5.14. Cube Berlin Sürdürülebilir Performans Şeması (Yazar tarafından oluşturulmuştur.).....	86



GÖRSELLER DİZİNİ

Sayfa

Görsel 3.1. HygroSkin Pavilion'un cephedeki açıklıklarının bağlı neme göre; Açık durumu(solda), Kapalı durumu(sağda)(http-5)	25
Görsel 3.2. Garden by the Bay; cephenin genel görünümü(solda), cephenin çalışma prensibi(sağda) (http-6)(http-7)	27
Görsel 3.3. Kiefer Technic Showroom; cephenin genel görünümü ve cephenin çalışma prensibi ((http-8), Moloney, 2011)	27
Görsel 3.4. Flectofin®'nin cennet kuşu çiçeğinden esinlenilen hareket prensibi(solda), örnek uygulaması(sağda) (Lienhard vd., 2011; Schleicher vd., 2015)	28
Görsel 3.5. Thematic Pavilion Expo 2012 cephesinin genel görünümü(solda), cephenin çalışma konsepti(sağda) ((http-9); Knippers vd., 2012)	29
Görsel 3.6. Thyssenkrupp Quartier Essen Q1 Ofis Binası Cephesi (http-10).....	31
Görsel 3.7. 1987 Institut du Monde Arabe'nin cephesi (http-11)	31
Görsel 3.8. Stony Brook Üniversitesi'nin Geometri ve Fizik Bilimleri Binası'nın cephesi (http-12)	32
Görsel 4.1. LEED Sertifikasyon Seviyeleri (USGBC, 2014)	35
Görsel 4.2. DGNB Sertifikasyon Seviyeleri (http-16)	39
Görsel 4.3. UTC Binası'nın Cephesindeki Sabit Güneş Kırıcılar (http-18)	46
Görsel 4.4. Katlanabilir Rüzgâr Türbini (Jalloul, 2020)	53
Görsel 5.1. Water Cube'nin ETFE Cephesi (http-27).....	67
Görsel 5.2. Al Bahar Kuleleri Cephesi (http-29)	71
Görsel 5.3. Brisbane İç Hatlar Terminali Otoparkı Cephesi (http-31).....	73
Görsel 5.4. Cephenin Delikli ve Kademeli Yapısı (http-34).....	75
Görsel 5.5. SDU Kolding Cephesi (http-38).....	79
Görsel 5.6. İtalya Pavyonu'nun cephesi ve çatısının iç mekândan görünümü (http-40)	81
Görsel 5.7. IVRV House Giriş Avlusu Cephesi (http-44)	83
Görsel 5.8. Cube Berlin Cephesi (http-45).....	85

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ASHRAE	: American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers
BIPV	: Building-Integrated Photovoltaics (Binaya Entegre Fotovoltaikler)
BIQ	: Bio Intelligent Quotient
BRE	: Building Research Establishment
BREEAM	: Building Research Establishment Environmental Assessment Method
CCF	: Closed cavity façade (Kapalı boşluklu cephe)
CO ₂	: Karbondioksit
CTBUH	: Council on Tall Buildings and Urban Habitat
DGNB	: Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
ETFE	: Etilen tetrafloroetilen
GFRP	: Cam elyaf takviyeli polimer
GlobalABC	: Global Alliance for Buildings and Construction
HVAC	: Isıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemleri
IEA	: International Energy Agency
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change
LEED	: Leadership in Energy and Environmental Design
LEED BD+C	: LEED for Building Design and Construction
OECD	: The Organization for Economic Cooperation and Development
PCM	: Faz değişim malzemeleri
PV	: Photovoltaic (Fotovoltaik)
PVB	: Polivinil bütiral
SCI-Arc	: Southern California Institute of Architecture
TDK	: Türk Dil Kurumu
TiO ₂	: Titanyum dioksit
UNEP	: United Nations Environment Programme
UV	: Ultraviolet (Ultraviyole)
USGBC	: U.S. Green Building Council
WCED	: World Commission on Environmental and Development
WHO	: World Health Organization

1. GİRİŞ

Günümüzde hızlı nüfus artışı ile bağlantılı olarak ekonomik büyüme, kentleşme ve sanayileşme gibi alanlarda enerji talebinin artışı, CO₂ emisyonunun artmasına, bu da iklim değişikliği başta olmak üzere pek çok sorunun ortaya çıkmasına neden olmaktadır. İnşaat sektörü toplam enerji tüketimi ve karbon emisyonunun yaklaşık üçte birini temsil etmektedir. Bu durum geleneksel bina tasarımının gelecekte çeşitli faktörlerin etkisiyle yeniden şekillendirilmesinin gerekliliğini göstermektedir. Günümüzde binaların tasarım ve işletim süreçlerini şekillendirecek en önemli faktörler arasında enerjinin temiz ve yenilenebilir kaynaklardan kullanımı ve karbonsuzlaştırma yer almaktadır. Binaların iklim değişikliğine, iklim değişikliğinin de binalardaki enerji tüketimine etkisi düşünüldüğünde, sürdürülebilir stratejilerle enerji verimliliğinin sağlanması, karşılıklı etkileşimin pozitif dönüşümüne sağlayacaktır.

Gelişmiş ülkelerde insanlar, gününün büyük bir kısmını kapalı ortamlarda geçirmektedir. Bu durum, binaların kullanım aşamasında enerjilerinin önemli bir kısmını ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma ve çeşitli bina ekipmanları için harcamasına neden olmaktadır. Dolayısıyla binaların sebep olduğu enerji tüketimi ve karbon emisyonunun azaltılması teknik bir süreçle sınırlı olmamakla birlikte, kullanıcı konfor koşullarının da gözetildiği bütüncül bir süreci kapsamaktadır. Bu bakımdan, binaların çevre üzerindeki etkisinin azaltılması için tasarımın çevresel, sosyal ve ekonomik olmak üzere üç boyutuna odaklanan sürdürülebilir mimari yaklaşımın benimsenmesi gerekmektedir.

Sürdürülebilir mimaride bina cepheleri, yapının çevresiyle kurduğu ilişki bakımından önemli bir rol üstlenmektedir. Cephe, binanın iç ve dış ortam arasındaki ısı, ışık ve hava kontrolünü sağlamaktadır. Bu bakımdan cephenin, günlük, mevsimsel ve yıllık olarak değişkenlik gösterebilen çevresel koşullara uyum sağlayabilmesi için uygun çözümler geliştirilmesi gerekmektedir. Son yıllardaki teknolojik gelişmeler hem malzeme ve sistem hem de farklı tasarım stratejilerinin uygulanabilirliği açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Bu kapsamda geliştirilen uygulamalardan birisi de uyarlanabilir cephelerdir.

Uyarlanabilir cepheler, çevresel koşullara pasif ve aktif şekilde uyum sağlayarak enerji verimliliğini artırırken, iç mekân konfor koşullarının da optimize edilmesini sağlamaktadır. Farklı tasarım stratejileri, teknolojik sistemler ve akıllı malzemelerin cephelere entegrasyonu ile yapının durumuna göre farklı uygulama çeşitleri sunarak

cephenin sürdürülebilir performansını artırmaktadır. Teknolojik gelişmeler, uyarlanabilir cephelerin uygulama alanını genişleterek, bu kapsamda yapılacak araştırmaların önemini artırmaktadır.

Bu çalışmada, uyarlanabilir cephelerin çevresel koşullara yanıt vermesini sağlayan sistemler ve bu sistemlerin sürdürülebilir performansları incelenecektir. Sürdürülebilir performans kriterlerinin belirlenmesinde yeşil bina sertifikalarından yararlanılarak bir şema oluşturulacak ve bu şema ile uyarlanabilir cephe uygulamaları değerlendirilecektir. Bu bağlamda, uyarlanabilir cephelerin sürdürülebilir bina tasarımında sunduğu farklı çözüm önerileri ve sürdürülebilir bir çevre için sağladığı avantajlara değinilerek, kullanımının yaygınlaştırılmasının önemine vurgu yapılacaktır.

1.1.Amaç

Bu tez çalışmasının amacı, binaların sebep olduğu çevresel etkinin azaltılmasına yönelik geliştirilen çözümler arasından uyarlanabilir cephelerin, sürdürülebilirlik hedeflerine ne ölçüde katkı sunduğunu ortaya koymaktır. Ayrıca belirli kriterler doğrultusunda sürdürülebilir hedefleri sağlamak için sunduğu uygulama ve fırsat çeşitliliğine vurgu yapılarak, tasarımlarda daha çok yer verilmesi ve kullanımının yaygınlaştırılması amaçlanmıştır.

1.2.Kapsam

Çalışma kapsamında, sürdürülebilir mimarlık kavramının tanımı ve önemi, uyarlanabilir cepheleri oluşturan sistemlerin özellikleri ve sağlayacakları potansiyel sürdürülebilir fayda ifade edilecektir. Yeşil bina sertifikalarından yararlanılarak beş ana kategori ve on üç alt kategoriden oluşan sürdürülebilirlik değerlendirme kriterleri oluşturulacaktır. Bu değerlendirme kriterlerine göre örnek uygulamaların sürdürülebilir çözümleri incelenerek, belirli bulgular elde edilecektir. Sonuç olarak, uyarlanabilir cephelerin sürdürülebilir mimarlık kapsamında sunduğu faydalar belirtilecektir.

1.3.Yöntem

Bu tez çalışması, literatür taraması yöntemiyle uyarlanabilir cepheler ile ilgili verilerin toplanmasını, toplanan verilerin sürdürülebilir mimarlık kapsamında analiz edilmesini içermektedir. Tez, altı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, çalışmanın

amacı, kapsamı ve yöntemi açıklanmıştır. İkinci bölümde, sürdürülebilir mimarlık kavramına odaklanılmıştır. Çevresel riskler verilerle desteklenerek, kavramın küresel ölçekteki önemi üzerinde durulmuştur. Üçüncü bölümde uyarlanabilir cephelerin tanımı ve sistem özellikleri örnek uygulamalarla ifade edilmiştir. Dördüncü bölümde yeşil bina sertifikalarından yararlanılarak, beşinci bölümde incelenecek uyarlanabilir cephe uygulamaları için sürdürülebilir kriterler belirlenmiştir. Beşinci bölümde örnek uygulamalar, belirlenen sürdürülebilir kriterlere göre değerlendirilerek, belirli bulgular elde edilmiştir. Altıncı bölümde sonuç ve öneri belirtilmiştir.



2. SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARİ

2.1. Sürdürülebilirlik Kavramı ve Mimarlıktaki Konumu

Çevresel sorunların artmasıyla birlikte bina tasarımı, tedarik ve bakımı gibi konularda sürdürülebilirlik kavramı sıkça karşımıza çıkmaktadır. Sürdürülebilirliğin pek çok alanda farklı uygulamalarla ortaya konan çok yönlü bir kavram olması nedeniyle literatürde birbirinden farklı tanımlarına rastlamak mümkündür. Bu nedenle sürdürülebilir kalkınmayı amaçlayan herhangi bir girişimi anlayabilmek için sürdürülebilirliğin ilgili alandaki karşılığının da iyi anlaşılması gerekmektedir.

Sürdürülebilirliğin, düşünce olarak ortaya çıkışı ve gelişimi Orta Çağ'a hatta eski Yunan mitolojisine kadar dayansa da somut olarak literatürde öncelikle tarım, ormanlar ve balıkçılık gibi alanlarda yenilenebilir kaynaklar konusunda yer almaya başlaması 19.yüzyılın başlarını bulmuştur. Sürdürülebilirliğin İngilizce'deki karşılığı olan "Sustainability" kelimesinin fiil köküne indiğimizde karşımıza çıkan "sustain" kavramı, "birşeyi aşağıdan tutmak veya desteklemek" anlamına gelen 13.yüzyılın Fransızca'sındaki "sustenir" ve Latince'deki "sustinere" kelimelerinden türetilmiştir (Newton ve Freyfogle, 2005). Ayrıca kelimenin kendisi ise "sürdürmek, devam ettirmek" anlamına gelmektedir.

Sürdürülebilirlik kavramı ise ilk defa Oxford Dictionary'nin online versiyonu tarafından 1980'li yılların ortalarında "belli bir oranda veya düzeyde devam ettirebilme" şeklinde tanımlanmıştır (Oxford University Press, b.t.). Daha sonra 1987'de Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu (WCED) tarafından yayımlanan "Ortak Geleceğimiz (Brundtland) Raporu"nun ardından kavramın içeriği genişlemiştir. Ortak Geleceğimiz Raporu, 1983 yılında dönemin Norveç Başbakanı Gro Harlem Brundtland başkanlığında yirmi ülkeden katılımcıların katıldığı WCED tarafından hazırlanarak Birleşmiş Milletler Genel Kurulu'na sunulmuştur. "Sürdürülebilir gelişme" fikrine detaylı bir şekilde değinilen raporda, bunun gerçekleşmesi adına, artan çevresel sorunlara karşı çevresel gelişme ve ekonomik kalkınma arasında kurulacak köprünün insanlık için kritik öneme sahip olduğu bildirilmiştir (Keeble,1988). Sürdürülebilir gelişme kavramının ortaya çıkması ve ekonomik kalkınma ile ilişkilendirilmesi sonucunda kavram, sadece çevresel duyarlılığı ifade eden bir fikir olmaktan çıkıp; sağlık, iletişim, finans vs. pek çok alanda kullanılan bir terim haline gelmiştir. Bu nedenle, sürdürülebilirlik kavramı kullanıldığı alana göre farklı bir anlama ve farklı bir içeriğe bürünmektedir.

Türk Dil Kurumu Sözlüğü (2024)'ne göre sürdürülebilir kavramı; “Aynı düzeyde veya biçimde devam edebilen”, sürdürülebilirlik kavramı ise “sürdürülebilir olma durumu” şeklinde tanımlanmıştır. Terimin fiil kökü olan “sürdürme” fiilini ele aldığımızda; fiil, bir öznenin yani sürdüren bir şeyin, bir nesneyle yani sürdürülen bir şey ile bağlantısını ifade etmektedir. Burada öznenin kim ya da ne olduğu, kavramın uygulama alanına göre değişkenlik göstermektedir. Sürdürülebilirlik; tarım veya kalkınma gibi insani bir sisteme eklendiğinde, burada öznenin insanlar olduğu açıktır. Kavram, gelecek veya gezegen gibi bir nesneye eklendiğinde ise özne belirsizleşmektedir. Çünkü gelecek, her zaman bize doğru gelecek; gezegen ise ne yaparsak yapalım varlığını sürdürecektir. Burada insanın etkisi mütevazidir (Newton ve Freyfogle, 2005). Bu etki, yakın geleceğin bize ne şekilde geleceği ve içinde yaşadığımız gezegenin varlığını ne şekilde devam ettireceği ile, kısacası insanların kendilerine ve gelecekteki bütün canlılara nasıl bir dünya bırakmak istemeleri ile alakalıdır. Bu konudaki bir başka ikilemde, sürdürülebilirliğin bazen bir hedef bazen de hedefe ulaşmak için bir araç olarak görülmesidir. Araçların sürdürülebilirliği, kendini tekrarlayabilme özelliği ile sağlanabilmektedir. Bu durumda sürdürülebilirliği bir araç olarak kabul etmek ve ona odaklanmak, doğal dünyayı göz ardı etmek demektir (Newton ve Freyfogle, 2005). Sürdürülebilirlik bir amaç olarak belirlendiğinde ise neyin sürdürüleceği ve bunun nasıl yapılacağı net bir şekilde ifade edilmelidir.

Dünyada yaşayan tüm canlılar açısından bakıldığında önem arz eden öncelikli konu yaşadığı doğal çevrenin sürdürülebilir olmasıdır. Çünkü iyi veya kötü her şey burada olup bitmektedir. Bununla ilgili, Brundtland Raporu(1987) 'nda; dünyayı canlılar için daha yaşanabilir kılmak amacıyla, doğal kaynakları daha fazla tüketmeden, çevrede geri dönüşü olmayan tahribatlara sebep olmadan sürdürülebilir kalkınmanın ivedilikle uygulanması konusunda uyarı yapılmıştır. Bu raporun yayımlanmasının ardından; 1988'de Birleşmiş Milletler Çevre Programı ve Dünya Meteoroloji Örgütü'nün desteğiyle kurulan Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), 1992'de Rio Konferansı, 1997'de Kyoto Protokolü, 2002'de Johannesburg Dünya Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi ve 2015'te Paris İklim Anlaşması bu alanda yapılan önemli uluslararası hamlelerden bazılarıdır. Bu girişimlerin odak noktası sera gazı emisyonunu azaltmaktır. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde sera gazı emisyonlarının yaklaşık üçte birinin sorumlusu da yapı sektörüdür (GlobalABC, 2020). Yapı sektörünün diğer sektörlere göre

bu konuda daha büyük bir pay sahibi olması, sürdürülebilir kalkınmanın sağlanabilmesi için önlem alınması gereken ana konulardan biri olmasına neden olmuştur.

Hızlı kentleşme, büyük ölçekli inşaat faaliyetlerinin artmasına ve kırsal alanlarda yaşayan nüfusun kentlere göçünün yoğunlaşmasına sebep olmaktadır. Üstelik küresel kentleşme oranının 2030 yılına kadar %60'lara ulaşması beklenmektedir (Li vd., 2019). Bu durum, gelecek nesillere daha yaşanılabilir bir dünya bırakmak için yerel sosyo-ekonomik, kültürel ve çevresel bağlamlara göre uyarlanmış tasarım anlayışıyla binalar üretmeyi hedefleyen sürdürülebilir mimarinin önemini artırmaktadır (Guedes, Pinheiro ve Alves, 2009). Sürdürülebilir mimari, ekolojik ve çevresel konulara daha çok odaklansa da finansal, kültürel ve sosyal konulara da önem vermesi nedeniyle sadece sera gazı emisyonunun azaltılmasını sağlayan bir anlayış yerine tasarımda daha bütünsel bir yaklaşımı temsil etmektedir (Li, 2011). Sürdürülebilir mimarinin ana hedeflerinden bazılarını maddeler halinde özetleyecek olursak;

- Değişen koşullara karşı uyarlanabilir özelliğe sahip uzun ömürlü bina tasarımı
- Enerji etkin tasarım
- Etkin kaynak kullanımı
- Yapısal atıkların azaltımı
- Temiz su kaynaklarının korunması
- Zararlı ve tehlikeli madde kullanımından kaçınılması
- Sağlık ve güvenlik risklerinin en aza indirilmesi
- İdeal iç mekân hava kalitesinin sağlanması
- Biyolojik çeşitliliğin korunması şeklinde sayılabilmektedir (Özmehmet, 2007).

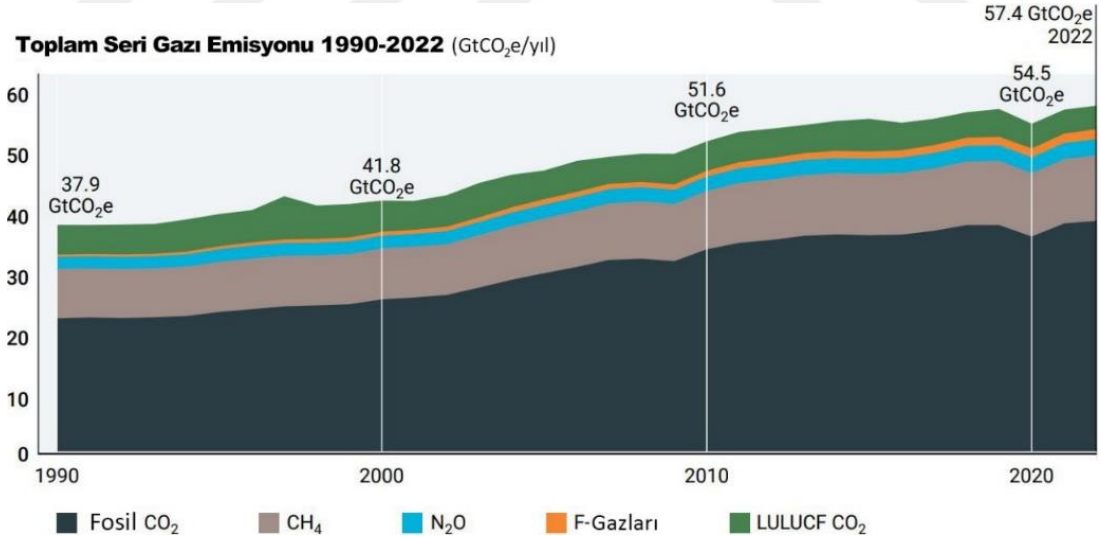
Sürdürülebilir mimarlık anlayışı farklı uzmanlık alanlarının tasarımda bir arada yer almasını sağlamaktadır. Sürdürülebilir mimarlıkta, tasarımın çevresel, sosyal ve ekonomik boyutları göz önünde bulundurularak, bütüncül bir yaklaşım ile ele alınması gerekmektedir.

2.2.Sürdürülebilir Mimarinin Önemi ve Uygulama Parametreleri

Yapı sektörü, bütün ulusal ekonomilerde en fazla enerjinin harcandığı alanlardan biri olarak kabul edilmektedir. Bina bölümü ise yapıların inşaat, kullanım ve yıkım süreçleri; kullanılan yapı malzemeleri ve bileşenleri, bunların üretim ve tedariği gibi aşamalarda yaklaşık olarak küresel enerjinin %40'ını, doğal kaynakların %30'unu,

üretileen elektriğın ise %70'ini tüketmektedir (IPCC, 2023) (GlobalABC, 2020). Bunların sera gazı emisyonuna katkısı ise %30'dur. İnşaat alanındaki büyüme ve dünyadaki mevcut bina stoğının verimsizliğı önümüzdeki yıllarda bu etkinin artabileceğini göstermektedir (UNEP, 2009).

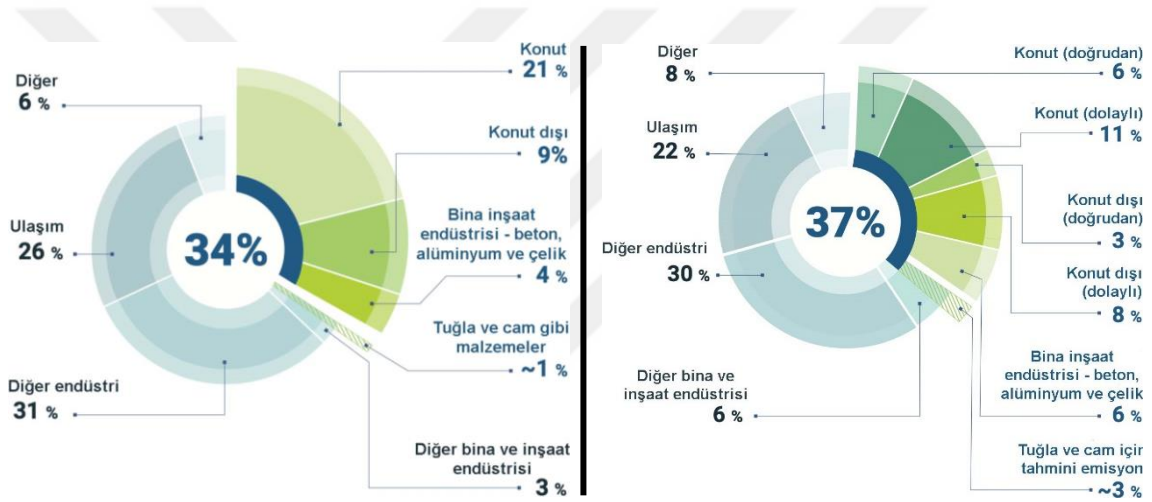
Sera gazlarının birikmesi, atmosferin alt katmanlarının ısınması sonucunda dünyanın yüzey sıcaklığının artmasına neden olan sera etkisine yol açmaktadır. Bu da hava sıcaklığının olması gerekenden daha yukarıya çıkmasıyla iklim değışikliğı ve küresel ısınma gibi geri dönüşü olmayan sonuçlara yol açmaktadır (Mikhaylov vd., 2020). Küresel sera gazı emisyonları 2021'den 2022'ye %1,2 artış ile yeni bir rekora ulaşmıştır. Başlıca sera gazları CO₂, metan (CH₄) ve nitröz oksittir (N₂O). Fosil yakıt yanması ve endüstriyel süreçler sonucunda açığa çıkan CO₂, mevcut sera gazı emisyonlarının yaklaşık üçte ikisini oluşturarak, artışta önemli bir pay sahibidir (UNEP, 2023). Şekil 2.1.'de görüldüğü üzere sera gazı emisyonları 1990-2022 yılları arasında, yakın zamanda sadece COVID-19 nedeniyle inşaat talebinin azalması, karantina nedeniyle iş yerlerinin kapalı kalması gibi sebeplerden ötürü 2020 yılında yaşadığı düşüş haricinde genellikle yukarıya doğru bir grafik çizmektedir.



Şekil 2.1. 1990-2022 yılları arasında toplam net insan kaynaklı sera gazı emisyonları (UNEP, 2023)

2021 yılında yapı sektörü ve binalar için harcanan enerji, küresel enerji talebinin %34'ten fazlasını ve CO₂ emisyonlarının yaklaşık %37'sini oluşturmuştur. Bunda yapıların operasyonel enerji harcamaları ve binaların yapımında kullanılan beton, çelik, alüminyum, tuğla, cam gibi malzemelerin üretiminde harcanan enerjiler etkili olmuştur

(UNEP, 2022). Operasyonel enerji, bir yapının kullanım ömrü süresince ihtiyaç duyduğu aydınlatma, ısıtma, soğutma, havalandırma sistemleri ve bina cihazlarının çalıştırılması için gerekli olan enerjiyi ifade etmektedir (Tuladhar ve Yin, 2019). Binalardaki operasyonel enerji talebi, toplam enerjinin %30'unu, harcanan enerji sonucunda açığa çıkan CO₂ emisyonlarının ise yaklaşık %27'sini oluşturmaktadır (UNEP, 2022). Operasyonel enerjinin sebep olduğu CO₂ emisyonlarının %8'i binalardaki fosil yakıt kullanımından (doğrudan emisyon), %19'u ise elektrik kullanımından (dolaylı emisyon) kaynaklanmaktadır. Binaların yapımında kullanılan beton, çelik, alüminyum tuğla ve cam üretiminde harcanan enerji, toplam enerjinin %5'ini, küresel emisyonların ise %8-10'unu oluşturduğu tahmin edilmektedir (Şekil 2.2) (UNEP, 2022).



Şekil 2.2. 2021 yılında binaların toplam enerji tüketimi(solda) ve CO₂ emisyonundaki(sağda) payı (UNEP, 2022)

Sera gazı bileşenlerinin atmosferde ısı tutma özellikleri ile atmosferdeki sıcaklığı arttırmasının neden olduğu küresel ısınmayı ve beraberinde sera gazı içerisinde en yüksek paya sahip olan CO₂ emisyonunun artarak doğadaki karbondioksit dengesinin bozulması sonucunda oluşacak iklim değişikliğini önlemek amacıyla ülkeler ortak hareket ederek çeşitli hamleler yapmışlardır. Bu hamlelerden en önemlisi, 2015 yılında oluşturulan ve günümüzde de hala geçerliliğini sürdüren Paris İklim Anlaşması'dır. 1992'de Rio Konferansı'nda imzaya açılan ve 1994'te yürürlüğe giren Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin ilk uygulama aracı olan Kyoto Protokolü (1997) yalnızca gelişmiş ülkelerin sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik taahhütleri içermesinden dolayı, sera gazı emisyonunun %55'inden sorumlu 55 ülkenin onayı ile 2016 yılında Paris İklim anlaşması yürürlüğe girmiştir (Mulder, Conti ve Mancinelli,

2021). Paris İklim Anlaşması'nın temel amacı, küresel sıcaklık artışını sanayileşme öncesi dönemin sıcaklıklarına göre ortalama 2°C'nin altında tutma ve 1,5°C'yi yakalamaktır (T.C. Dışişleri Bakanlığı, 2022). Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP)'nin 2023 yılında yayımladığı raporda; 2030 yılı için öngörülen sera gazı emisyonlarının, 2°C hedefi için %28, 1,5°C hedefi için ise %42 oranında düşmesi gerektiği belirtilmiştir. Günümüzde ise 2030 yılı emisyonu için %3 artış öngörülmektedir (UNEP, 2023). Dünya üzerinde yaşayan tüm paydaşların, çevresel bozulmayı önleyip dünyayı daha yaşanılabilir hale getirmek için sorumluluk alması gerekmektedir. Bu durumda, binaların yıllık harcanan toplam enerji ve emisyonunda bu kadar büyük bir paya sahip olması göz önünde bulundurulduğunda, çevresel bozulmayı önlemek için sürdürülebilir mimarinin önemi ortaya çıkmaktadır.

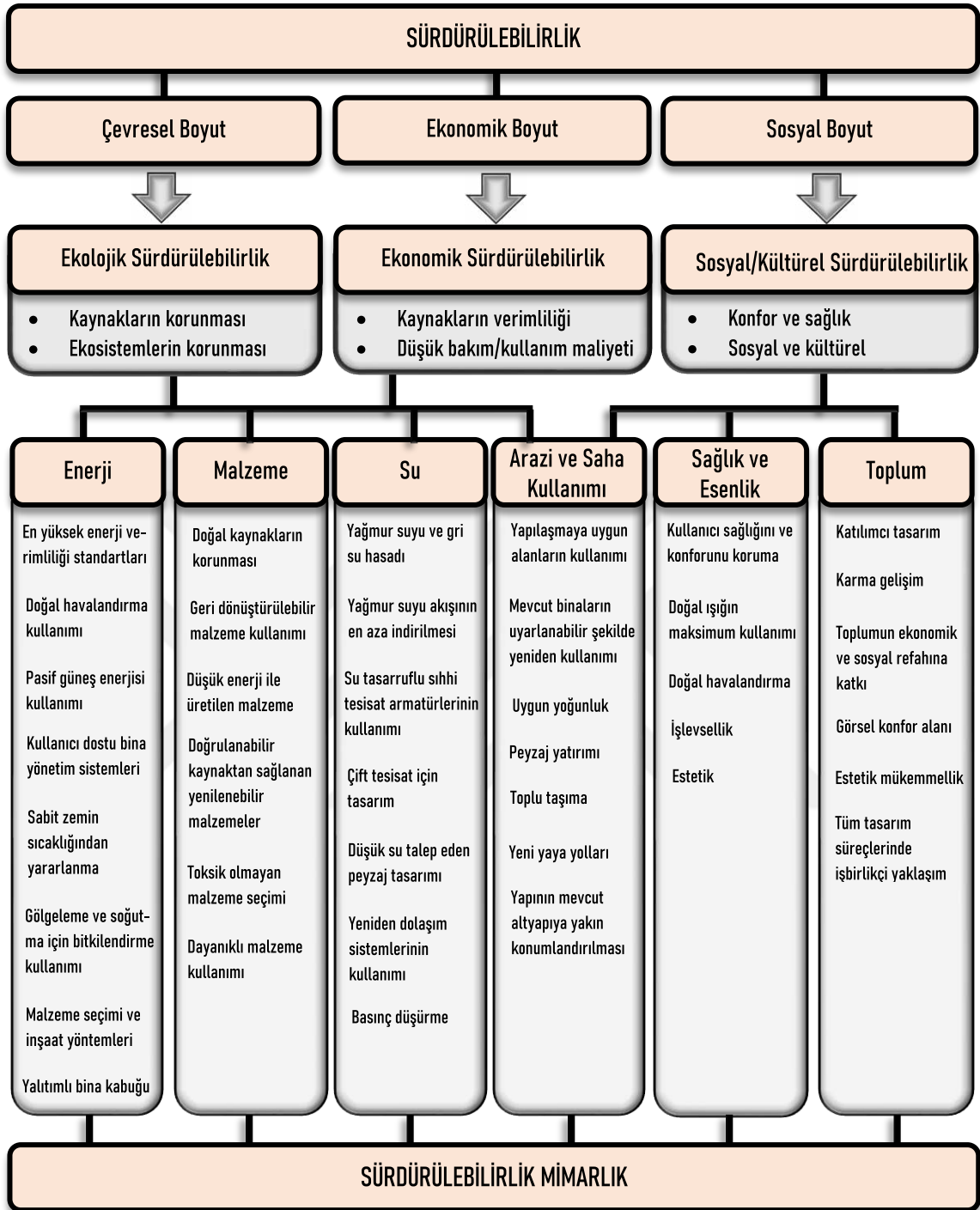
Çevresel sorunların getirdiği problemler çok yönlüdür, bu nedenle sürdürülebilir çözümler veya önlemler de bütüncül bir şekilde ele alınmalıdır. Sürdürülebilir mimari, binalarda geleneksel fosil yakıt tüketimini azaltıp, yenilenebilir enerji kullanımını artırma amacıyla tasarımın sadece enerji yönüne odaklanan biyoklimatik mimariden farklı olarak yapı ile dış çevre arasındaki dinamik ilişkileri kontrol etmeyi ve iç mekânı sosyal, doğal ve mimari çevreyle uyumlu hale getirmeyi amaçlayan yaklaşımları da içermektedir (Tebbouche, Bouchair ve Grimes, 2017).

Binalardaki sürdürülebilirliğin sağlanması için, ekolojik sürdürülebilirlik, ekonomik sürdürülebilirlik ve sosyal/kültürel sürdürülebilirlik olmak üzere üç alt gösterge mevcuttur (Özmehmet, 2007). Ekolojik sürdürülebilirlik için doğal kaynakların korunup, çevre kirliliğinin azaltılarak, çevresel bozulmanın önlenmesi gerekmektedir. Ekonomik sürdürülebilirlik için binalardaki su ve enerji kullanımı azaltılarak, kaynakların verimli kullanımı sağlanıp, maliyetin düşürülmesi gerekmektedir. Sosyal ve kültürel açıdan sürdürülebilirlik için ise kullanıcıların konfor ve sağlıkları ön planda tutularak, sosyal ve kültürel değerlerin korunduğu, estetik görünüme sahip, yerel altyapı üzerinde asgari düzeyde baskı oluşturacak binalar tasarlanması gerekmektedir.

Sürdürülebilir mimarlığın tam olarak tasarımlara uygulanabilmesi için çeşitli sınıflandırmalar yapılarak belirli bir çerçeve oluşturulmak istenmiştir. Bu kapsamda Sassi (2006), sosyal açıdan topluma karşı sorumlu ve arzu edilen, ekonomik olarak uygulanabilir, çevreye karşı duyarlı, sürdürülebilir bir mimari anlayış oluşturmayı 6 temel ilke ile ilişkilendirmiştir. Bunlar; “saha ve arazi kullanımı, toplum, sağlık ve esenlik,

malzeme, enerji, su”dur. Bu parametrelerden kısaca bahsettikten sonra, parametrelerin uygulama aşamasında öne çıkan tasarım kriterleri ile Şekil 2.3 hazırlanmıştır.

- **Saha ve arazi kullanımı;** arazinin verimli kullanımı, doğal ekosisteme verilen zararın en aza indirilip, ekosistemin iyileştirilmesi ve geliştirilmesi,
- **Toplum;** yapıları çevre oluşturulurken, toplumun dahil edilmesi veya ihtiyaçlarının göz önünde bulundurulması, insan ölçeğinde ve kaliteli tasarımları, insan etkileşiminin ön planda olduğu ortamları, temel barınma ihtiyaçlarını karşılayacak ideal bina çözümleri,
- **Sağlık ve esenlik;** insan yaşamı için sağlıklı ortamlar oluşturulması, insan refahının artırılması ve bununla birlikte sağlık bozukluklarının önlenmesi,
- **Malzeme;** üretim ve kullanım aşamasında çevreye duyarlı, enerji tüketimine en az ihtiyaç duyan, kullanım ömrü dolduğunda ise çevre ve insan sağlığı için tehdit oluşturmayacak malzeme seçimi,
- **Enerji;** kullanıcıların yaşam kalitelerinin korunmasını ve iyileştirilmesini, en az miktarda CO₂ emisyonu üreterek sağlama,
- **Su;** binalardaki atık suyun arıtılması, su kullanımının ve kanalizasyon sistemine boşaltılan siyah, gri, yağmur suyunun azaltılması gibi konuları kapsamaktadır (Sassi, 2006).



Şekil 2.3. *Sürdürülebilir Mimarlığın Temel İlkeleri ve Tasarım Kriterleri (Şekil yazar tarafından; Sassi, 2006; Özmehmet, 2007; Akadiri, Chinyio ve Olomolaiye, 2012 kaynaklarından uyarlanarak oluşturulmuştur.)*

2.3.Sürdürülebilir Mimari Tasarımda Bina Cephelerinin Rolü

Araştırmalara göre, gelişmiş ülkelerde insanlar zamanlarının %90'ını kapalı mekânlarda geçirmektedir. Bu durum binaların insan refahı üzerindeki etkisinin ve iç mekânlarda karşılanması gereken çok sayıda gereksinimin bir göstergesidir (Aelenei,

Aelenei ve Vieira, 2016). Sürdürülebilir mimari de kullanıcıların yaşam alanlarındaki organizasyonel faaliyetlerinin tümünü etkileyen binaların, tüm sistemlerinin kullanıcı konforu odaklı tasarlanması önemlidir. Fakat iç mekânlarda kullanıcı konforunun sağlanması için de ısıtma-soğutma, havalandırma, aydınlatma gibi işlemler çok fazla enerji gerektirmektedir. Binaların enerji talebinin azaltılarak, termal konfor, hava kalitesi ve görsel konforun sağlanmasında; iç ve dış mekân arasında bariyer görevi gören ve binanın çevreye bakan yüzü olan cephelerin rolü büyüktür. Doğal çevre ile binanın karşılıklı etkileşimlerinde ilk temas yüzeyi olan cephelerin sıcaklık, enerji ve maliyet olmak üzere üç faktör üzerindeki etkisi ön plana çıkmaktadır.

Cephe-sıcaklık ilişkisi; insanların konforlu bir şekilde yaşayabilmesi için ideal sıcaklık gündüzleri 32°C'nin ve geceleri ise 24°C'nin altında olması gerekmesine rağmen doğal şartlarda bu sıcaklık, ancak dünyanın bazı yerlerinde belirli zamanlarda sağlanmaktadır (WHO, b.t.). Konfor sıcaklığını olumsuz çevresel etmenlerden etkilenmeyerek sabit tutabilmek için ısıtma ve soğutma cihazlarına ihtiyaç duyulmakta, bu cihazlar da enerji tüketimine yol açmaktadır (Jalloul, 2020). İç mekân koşullarını olumsuz yönde etkileyecek güneş ışığı, rüzgâr gibi etmenlere karşı bina cephelerinde alınacak herhangi bir önlem, kullanıcı konforunun en az enerji tüketimi ile sağlanmasına katkıda bulunacaktır.

Cephe-enerji ilişkisi; cephenin, hava ve iklimdeki değişime uyum sağlayarak iç mekândaki ideal konfor koşullarının dengede tutulması için harcanacak enerji miktarından tasarruf edilebilecek şekilde tasarlanması gerekmektedir (Jalloul, 2020). Ayrıca cepheler enerjiden yararlanılarak sürdürülebilir fayda sağlayacak şekilde işlevselleştirilmelidir.

Cephe-maliyet ilişkisi; sıcaklık ve enerji konusunda önlem amaçlı cephelerde yapılacak herhangi bir uygulamanın maliyeti her zaman düşük olamayabilmektedir. Fakat uygulanacak etkili bir yöntem uzun vadede enerji harcamalarında büyük bir düşüş sağlayacak ve rutin olarak diğer giderleri azaltacaktır (Jalloul, 2020).

İç mekânda sıcaklığın ideal seviyede tutulup, enerji kullanımının ve buna bağlı olarak maliyetin düşürülmesi amacıyla cephede yapılacak herhangi bir uygulama; kullanıcı konforu, fazla enerji kullanımının sebep olduğu olumsuz etkilerin azaltılması ve uzun vadede ekonomik fayda sağlanması bakımından tasarımdaki sürdürülebilir etkiyi arttırılabilmektedir. Bu kapsamda geliştirilen uyarlanabilir cepheler, değişen çevresel koşullara uyum sağlama özelliği ile kullanıcı konforunun, en az enerji tüketimi ile

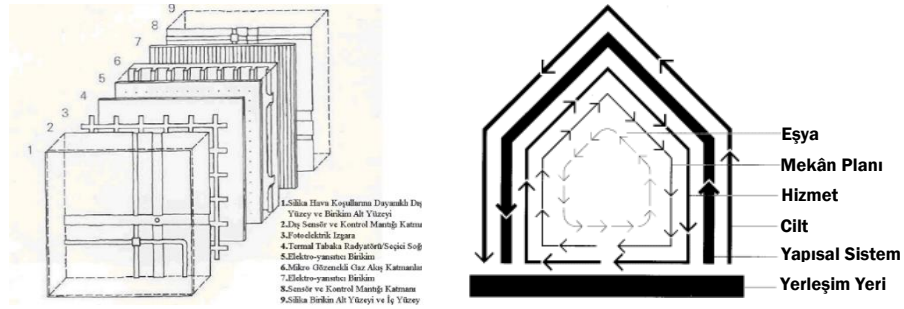
sağlanmasına imkân sunmaktadır. Çalışmanın bir sonraki bölümünde uyarlanabilir cephelere uyum sağlama yeteneği kazandıran sistemler ve tasarım yaklaşımları hakkında bilgi verilecektir.



3.UYARLANABİLİR CEPHELER

3.1. Uyarlanabilir Cephelerin Tanımı

Uyarlanabilirlik; değişen koşullara göre kendini ayarlama ve uyum sağlama yeteneği anlamına gelmektedir (Hasselaar, 2006). Bina cephelerinin uyarlanabilirliği ise geçmişten günümüze mimarların ve inşaat bilimcilerin ilgi alanlarından birisi olmuştur. Banham (1969), çevresel etkilere karşı sınırlarında ve termal özelliklerinde değişiklik gösterebilen yapıları, temsili olarak çadır ve kamp ateşi gibi küçük ölçekteki çevresel çözümler ile ilişkilendirmiştir. Negroponte (1976), aktif rol oynayabilen, basit ya da kompleks fonksiyonlar aracılığıyla düşük veya yüksek derece de değişiklik yapma yeteneğine sahip duyarlı çevre konsepti geliştirmiştir. Davies (1981), çeşitli özelliklerin tek bir katmanda toplandığı bir kaplama sistemi olan ‘The Polyvalent Wall (Çok Değerlikli Duvar)’ fikrini sunmuştur. Brand (1995), ‘Shearing Layers of Change (Değişim Katmanlarının Kesilmesi)’ diyagramı ile binayı oluşturan farklı katmanların, farklı aralıklardaki değişim gereksinimleri nedeniyle birbirlerini sınırladığını ifade etmiştir. (Şekil 3.1) Örneğin, yapının taşıyıcı sistemlerinin ömrü, on yıllardan yüzyıllara kadar ölçülebilirken, binanın yüzeyinin 20 yılda bir değiştirilmesi gerekebilir. Bu nedenle bina bileşenlerinin değişim oranlarına göre ayrılması gerektiği fikrini savunmuştur.



Şekil 3.1. The Polyvalent Wall(solda), Shearing Layers of Change(sağda) (Kaynak: Davies, 1981, Brand, 1995)

Son yıllarda yapılan araştırmalar, binaların dış yüzeylerindeki enerji hareketlerinin değişimine ve bu değişimin yapıların genel işleyişine etkisine odaklanmaktadır. Geleneksel bina cephelerinde barınma ve koruma odaklı tasarım anlayışı genellikle iç ortamın çevresine karşı duyarsız hale getirilmesiyle sağlanmaktadır. Bu durum, iç mekân da konfor koşullarını sağlamak için ısıtma, soğutma, havalandırma, iklimlendirme (HVAC) ve yapay aydınlatma gibi ihtiyaçları karşılamak amacıyla kurulacak mekanik ve elektrik sistemler ile daha fazla enerji tüketimine ve çeşitli doğal kaynakların kullanımına

sebeptir (Loonen vd., 2013). Günümüzdeki teknolojik gelişmeler, cephelerin statik ve duyarlı yapısını işlevselleştirerek çevresel koşullara yanıt verebilmesini mümkün kılmaktadır. Uyarlanabilir cepheler, bu işlevselliği farklı kontrol mekanizmaları yardımıyla sağlayan ve bu sayede değişen çevresel koşullara adapte olabilen cephelerdir.

3.2. Uyarlanabilir Sistemler

Uyarlanabilir cepheler, dış koşullara adaptasyon yeteneğini belirli sistemler ve tasarım yaklaşımlarıyla sağlamaktadır. Uyarlanabilir sistemlerin çeşitliliği, cephenin uyum kabiliyetini genişleterek, farklı iklimsel koşullara ve kullanıcı taleplerine karşı yüksek performans sergilemelerini mümkün kılmaktadır.

Uyarlanabilir sistemlerde hareketli gölgeleme, sabit olana kıyasla daha işlevseldir. Bu özelliği; kinematik ve elastik kinetik olmak üzere iki farklı yaklaşımla sağlamaktadır. Cephenin çevreyle bağlantısını aktif kontrol sistemleriyle hızlı, pasif kontrol sistemleriyle enerji tüketmeden gerçekleştirebilmektedir. Ayrıca sistemler, yapının durumuna göre cephenin farklı bölümlerinde konumlanabilmektedir (Stankovic, Tanic ve Cvetanovic, 2019). Uyarlanabilir cephelerin verimliliğini artırabilmek için binanın durumuna en uygun sistemi seçmek önemlidir. Bu başlıkta, uyarlanabilir cephelerin kontrol sistemleri, gölgeleme çeşitleri ve sistemlerin cephedeki konumunun verimliliğine etkisinden bahsedilecektir (Tablo 3.1).

Tablo 3.1. Uyarlanabilir Cephe Sistemleri (Tablo yazar tarafından; Stankovic, Tanic ve Cvetanovic, 2019'den uyarlanarak oluşturulmuştur.)

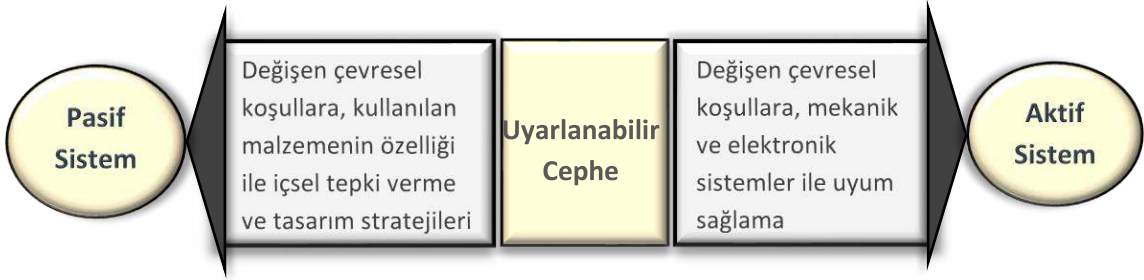
Sistemler	Uyum Sağlama Yaklaşımları	Olasılıklar
Kontrol Sistemleri	- Harici - Aktif - Dahili - Pasif	- Sensörler, aktüatörler vs. - Akıllı malzemeler
Cephe Gölgeleme	- Kinematik Yaklaşımlar - Elastik Kinetik Yaklaşımlar	
Cephedeki Konumu	- Dışardan Uygulanan Sistemler - Cepheye Entegre Sistemler - İçerden Uygulanan Sistemler	- Çift Katman - Değiştirilebilir Cam

3.2.1. Kontrol sistemleri

Tablo 3.2. Uyarlanabilir Cephelerde Kontrol Sistemleri (Tablo yazar tarafından; Stankovic, Tanic ve Cvetanovic, 2019'den uyarlanarak oluşturulmuştur.)

Sistemler	Uyum Sağlama Yaklaşımları	Olasılıklar
Kontrol Sistemleri	• Harici - Aktif • Dahili - Pasif	• Sensörler, aktüatörler vs. • Akıllı malzemeler

Bina cephesine uyarlanabilir özellikler eklemek, etkili ve başarılı bir sonuç için yeterli olamayabilmektedir. Uyarlanabilir cephenin istenen hedeflere ulaşabilmesi için değişen koşullara sağlıklı bir şekilde yanıt vermesi gerekmektedir (Loonen, 2010). Cephenin dinamik ve duyarlı hale getirilerek sağlıklı bir şekilde yanıt vermesini sağlamak için cepheye kontrollü bir şekilde hareket girişinin sağlanması gerekmektedir (Barozzi vd., 2016). Cephedeki alt sistemler, problemleri çözmek, denge kurmak, performans gereksinimlerini sinerjik ve en iyi şekilde karşılamak için hem birbirleriyle hem de diğer bina hizmetleri ile uyumlu bir şekilde çalışmak zorundadır (Loonen, 2010). Bu durum; aktif sistem ve pasif sistem olmak üzere, iki uyarlanabilir sistem ile sağlanmaktadır (Şekil 3.2).



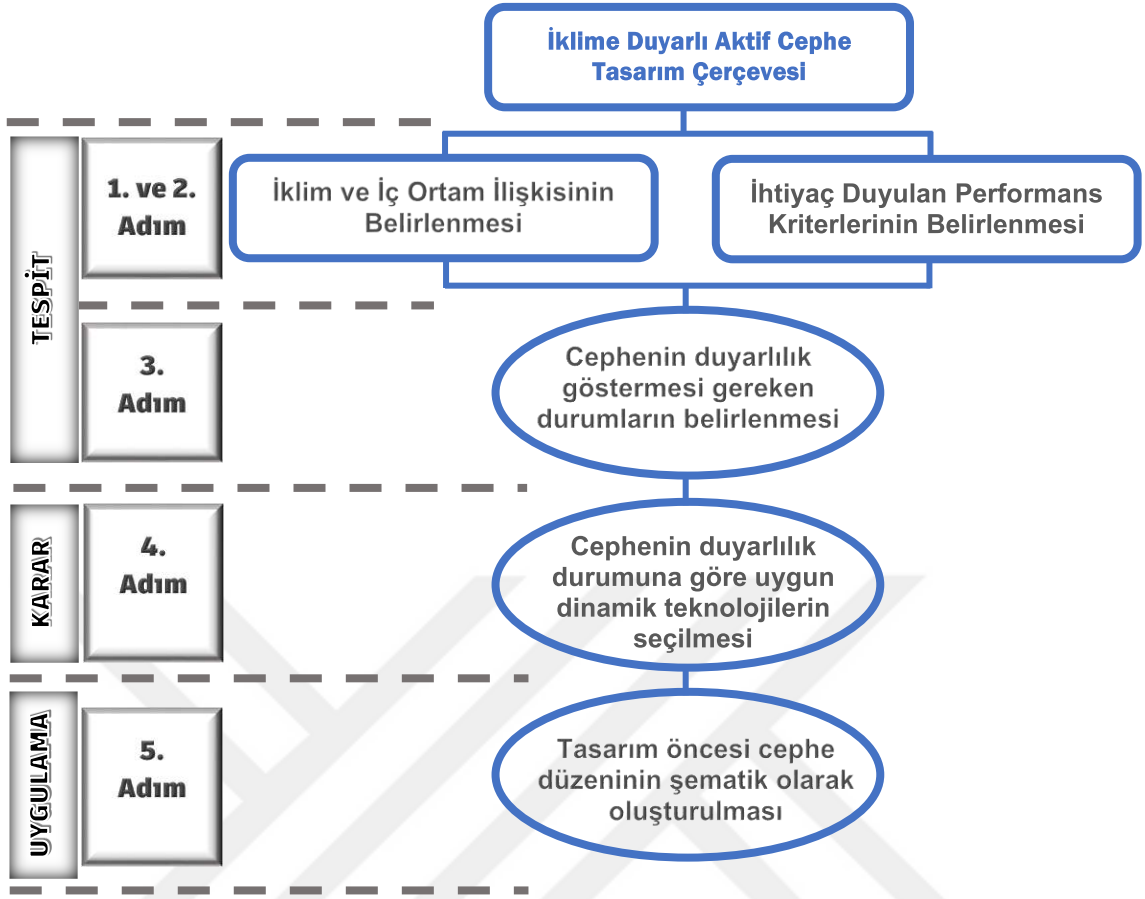
Şekil 3.2. Özelliklerine göre uyarlanabilir cephe sistemleri (Şekil yazar tarafından oluşturulmuştur.)

3.2.1.1. Aktif sistem

Aktif sistemler, yenilikçi teknik cihazlar yardımı ile yapılı çevredeki sürdürülebilirliği arttırmayı amaçlamaktadır. Bu tür cihazlar, merkezi olmayan üretim, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı veya kaynakların verimliliğinin artırılmasını sağlamaktadır. (Loonen vd., 2013). Aktif sistemler, kullanıcı müdahalesine ihtiyaç duyulmadan iç ve dış etkenlere kendini dinamik olarak ayarlayarak enerji tasarrufunu arttırmaktadır (Tabadkani vd., 2021). Aktif sistemlere örnek olarak; 'hareketli panjurlar,

jaluziler, stor perdeler, aktif olarak havalandırılan CCF, otomatik çalıştırılabilir pencereler vs.” verilebilmektedir (Attia, Lioure ve Declaude, 2020). Aktif sistemler, dinamik özelliği sayesinde değişen çevresel koşullara cephenin hızlı adaptasyonu ile sürdürülebilir fayda sağlamasının yanında cepheye kattığı hareketlilik ile estetik görünüme katkı sağlayabilmektedir.

Çevresel koşullar yıllık, mevsimlik ve günlük olarak bile değişim gösterebilmektedir. Bu nedenle aktif bir sisteme sahip uyarlanabilir cephe tasarımı; binanın konumuna, durumuna vb. etmenlere karşılık farklı kararlar alınmasını gerektirebilmektedir. Alınan kararlar genellikle gölgeleme sağlamayı amaçlasa da farklı estetik algılar ve yapıya etki eden çevresel koşulların değişkenliğine göre farklı tasarım stratejileri ile uygulandığı için cephenin aktifliğini belli sistemler üzerinden incelemek yerine tasarım sürecine ve dikkat edilmesi gereken kriterlere odaklanmak, çalışma prensibinin daha net anlaşılmasını sağlayacaktır. Soudian ve Berardi (2021), çok işlevli uyarlanabilir cephe için performans dayalı bir tasarım prosedürü sunmuştur. Bu prosedür, cephenin performans hedeflerinin belirlenip, uyarlanabilir cephelerin bu hedeflere göre uygun teknolojiler seçilerek tasarlanmasına odaklanan bir ön çalışma niteliğinde olup, 5 adımdan oluşmaktadır (Korniyenko, 2021). Bu adımlar, performans hedeflerinin belirlenmesi ile başlamakta, ardından değişen dış mekân koşulları ve iç mekân konfor gereksinimlerine göre istenilen uyarlanabilir tepki tespit edilmektedir. Mevcut teknolojilerin tasarıma entegrasyonu değerlendirilip, elde edilen bulgular uyarlanabilir cephenin kavramsal tasarımının oluşturulmasına katkı sağlamaktadır (Şekil 3.3) (Voigt vd., 2023).



Şekil 3.3. İklim duyarlı aktif cephe tasarım algoritması (Şekil yazar tarafından, Korniyenko, 2021'dan uyarlanarak oluşturulmuştur.)

Aktif sistemler, cepheye entegre edildikten sonra harekete geçebilmek için belli bir miktar enerjiye gerek duymaktadır. Bu enerjiyi sensör, işlemci ve aktüatörler yardımıyla mekanik harekete dönüştürmektedir.

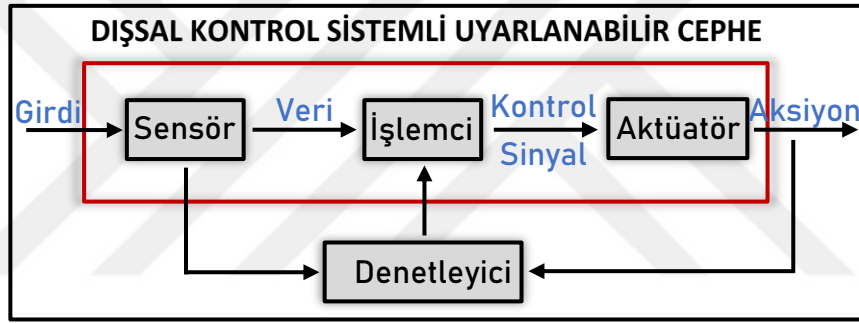
Dışsal kontrol

Uyarlanabilir cephe, bazı bileşenler sayesinde geri bildirimleri kabul etme yeteneği ile kendisini aktif olarak ayarlayabilmektedir. Buna dışsal kontrol denir. Sensörler, işlemciler (kontrolörler) ve aktüatörler olmak üzere üç ana bileşenden oluşmaktadır (Şekil 3.4):

- **Sensörler (algılama);** sıcaklık, nem, basınç, ses, parlaklık ve ivme gibi belirli fiziksel veya kimyasal çevre koşullarını kaydetmektedir. Bu veriler işlemci tarafından yorumlanabilecek büyüklüklere (örn. elektriksel işaretler veya dijital verilere) dönüştürülür (Loonen, 2010). Elde edilen bilgiyi işlemciye aktardıktan

sonra yapı üzerindeki tüm etkileri ve tepkilerini izlerler (Barozzi vd., 2016). Sensörler tipik olarak algılayabildikleri uyaran türüne göre sınıflandırılmaktadır.

- **İşlemciler (kontrolörler);** sensörlerden gelen sinyalleri ve verileri toplayan bileşenlerdir. Gelen veri işlemciler tarafından tasarım gereksinimlerine uygun olarak yorumlanır ve tek sesli bir kontrol sinyali şeklinde aktüatöre aktarılır (Loonen, 2010; Barozzi vd., 2016).
- **Aktüatörler (uygulama);** kontrol sinyali şeklindeki girdiyi, mekanik, kimyasal veya fiziksel bir eyleme dönüştüren cihazlardır. Aktüatörler, enerjiyi harekete dönüştürerek sistemde kinetik bir eyleme neden olması ile makro düzeyde; geometriyi veya ana özellikleri (boyut veya sertlik) değiştirmesi ile mikro düzeyde etki oluşturabilmektedir (Loonen, 2010; Barozzi vd., 2016).



Şekil 3.4. Dışsal kontrol sistemi (Loonen, 2010)

3.2.1.2. Pasif sistem

Pasif sistemler, güç ve kontrol mekanizmasına ihtiyaç duyulmayan, çok az bakım gerektiren veya hiç bakım gerektirmeyen; duyuşal sisteme veya motor fonksiyona gerek duymadığı için enerji tüketimine sebep olmayan sistemlerdir (Mazzucchelli vd., 2018; Menges, Reichert ve Krieg, 2014). Bu sistemlere sahip cephelerin değişen koşullara yanıt verebilirliği, tasarım stratejileriyle veya cephede kullanılan malzemelerin algılama, kontrol ve harekete geçme özellikleriyle sağlanmaktadır (Orhon, 2016). Pasif sisteme sahip cephelere; çift katmanlı cepheler, ahşap bazlı duyarlı bina kaplamaları, geçirgenlikleri değişebilen akıllı camlar, brise-soleil, sabit veya döner montajlı panjurlar, statik ışık yönlendirme sistemleri ve Trombe duvarı gibi uygulamalar örnek olarak verilebilmektedir (Mazzucchelli vd., 2018). Bu tür cepheler herhangi mekanik veya elektronik sistem barındırmadığı için enerji tüketimi gerektirmemekte ve daha sürdürülebilir çözümler olarak ön plana çıkmaktadır. Fakat değişen çevresel koşullara

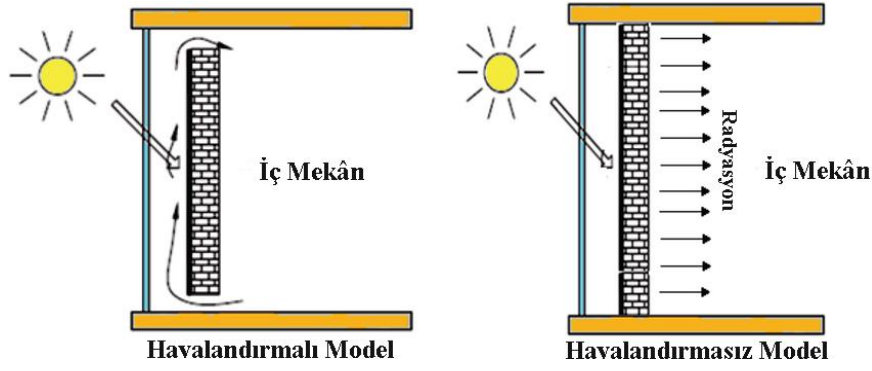
hızlı yanıt verebilme kabiliyetleri, aktif sistemlere göre sınırlıdır. Pasif sistemlerin sağlayacağı avantajların bazıları kısaca şu şekildedir:

- Yüksek ısı yalıtımı sağlayan cam yüzeyler ile parlamayı önleyerek yeteri kadar doğal ışığın alınması ve özellikle yaz aylarında güneş ışınlarının zararlı etkilerinden koruma sağlamasıyla güneş ışınından maksimum düzeyde fayda sağlayabilmektedir.
- Trombe duvarları, hava veya su kolektörleri gibi sistemler ile güneş enerjisi depolanabilmektedir.
- Çift katmanlı cepheler ile iç mekân ve dış mekân arasında oluşturulan tampon bölgeler sayesinde; kışın, iç mekâna soğuk hava geçişi azaltılmakta ve güneş enerjisinden yararlanılmaktadır.
- Güneş camları (solar screen) ile iç mekânda aşırı ısınma önlenabilmektedir.
- Doğal havalandırma ile yazın iklimlendirmeye harcanan enerji azaltılmaktadır (Mazzucchelli vd., 2018).

Pasif sistemlerin sağladığı avantajların yanında dezavantajları da bulunmaktadır. Bu dezavantajlardan bazıları kısaca şu şekildedir:

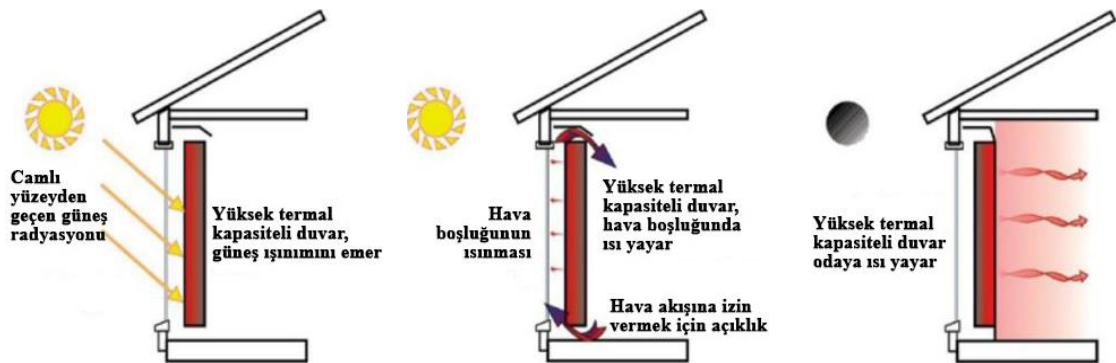
- Bazı uygulamaları, yapıya göre çok fazla değişiklik göstermeyen standart çözümler olduğu için mimari tasarımı kısıtlayabilmektedir.
- Biyoklimatik konforu sağlamak amacıyla farklı konfigürasyonlarda çalışmasını sağlayabilecek aktif sistemlere entegre değilse manuel kullanıcı ayarlamalarını gerektirebilmekte veya her koşula esnek çözümler sunamayabilmektedir.
- Hem sistemin bileşenlerinin düşük alım kabiliyeti hem de alınan ısıyı biriktirme ve dağıtım konusunda etkili çözümleri bulunmaması güneş enerjisinden maksimum fayda sağlanamamasına sebep olabilmektedir (Mazzucchelli vd., 2018).

Trombe duvarları, pasif sistemler arasında yaygın ve pratik bir çözüm olarak ön plana çıkan toplayıcı duvarlardır. Beton veya tuğladan oluşturulan duvarların yüzeyinde, güneş ışığı emiliminin artırılması için siyah veya koyu renkli boya kullanılmakta, güneş radyasyon yoğunluğunun artırılması için ise duvara 5-10 cm mesafede cam tabaka yer almaktadır (Ahmed vd., 2020). Trombe duvarlarının havalandırılmalı ve havalandırmasız olmak üzere iki çeşidi bulunmaktadır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Havalandırılmalı ve Havalandırmaz Trombe Duvarı Modeli (Ahmed vd., 2020)

Sera etkisinin kullanıldığı sistemde, kısa dalgalı güneş ışığı cam tabakadan geçerek koyu renkli duvar tarafından emilir ve uzun dalgalı ısı radyasyonuna dönüştürülür (Mazzucchelli vd., 2018). Cam tabaka ile siyah yüzey arasındaki ısı; havalandırmaz modelde, doğrudan duvar tarafından iç mekâna iletilmektedir. Havalandırılmalı modelde ise ısı hem duvar tarafından hem de duvarın altında ve üstünde yer alan boşluklardan havanın taşınımı yoluyla iç mekâna iletilmektedir (Ahmed vd., 2020). Duvar aracılığıyla odaya iletilen ısı, duvarın yapısı ve depolama kapasitesine bağlı olarak hızlı veya belli bir süreye yayılarak odaya aktarılabilir. Açıklıklardan ısı aktarımı ise soğuk havanın duvarın alt açıklığından iki katman arasına geçip boşlukta ısıtılarak, üst açıklıktan odaya tekrar yayılması şeklinde hava sirkülasyonu ile gerçekleşmektedir (Mazzucchelli vd., 2018; Ahmed vd., 2020) (Şekil 3.6). Trombe duvarı, depoladığı güneş ışığı ile güneşten faydalanılamayan zamanlarda iç mekân sıcaklığının dengede tutulmasına katkı sunarak ek enerji harcamasından tasarruf edilmesini sağlamaktadır.



Şekil 3.6. Trombe duvarının çalışma sistemi (Konstantinou ve Hoces, 2018)

Genellikle yüksek katlı binalarda tercih edilen, aktif sistemlerinde entegre edilebilmesi ile hibrit bir sistem imkânı sunan bir diğer yaygın pasif sistem ise çift

katmanlı cephelerdir. Çift katmanlı cepheler; iç mekânı çevreleyen cephe elemanları, bu elemanlardan ayrı bir dış cephe katmanı ve bu katmanlar arasındaki tampon bölgeden oluşmaktadır. Güneş ışıını ile ısıtılan tampon bölgedeki sıcaklık, dış çevre sıcaklığından yüksek olduğu için iç mekânın ısı iletim kaybı azalmaktadır (Konstantinou ve Hoces, 2018). Dış katmandan tampon bölgeye hava ve ışık girişi ile doğal aydınlatma ve iç katmandaki pencerelerin açılmasıyla doğal havalandırma sağlamaktadır (Sönmez ve Kıasf, 2018). Çift katmanlı cephe uygulamaları, iki katman arasındaki mesafe ve boşlukta havanın iletimi için kullanılan yöntemler farklılık göstermesi nedeniyle dört ana gruba ayrılmaktadır. Şekil 3.7’de uygulama çeşitleri, örnek uygulamaları ile birlikte ifade edilmiştir.

SINF	TANIM	UYGULAMA
Kutu Tipi Çift Katmanlı Cephe	Kutu tipi çift katmanlı cepheler, katlar arasındaki yatay elemanlar ve kat bazında düşey elemanlar ile birbirinden ayrılarak bölmeler oluşturmaktadır. Bu tip cephelerde hava, sadece bir cephe elemanında dolaşmaktadır. Londra’da bulunan Watling konutu bu tip cephelere örnektir. 7 katlı binanın her bir pencere bölümüne kutu tipi çift cidarlı cephe uygulanmıştır. Kutu pencere modüllerinde yer alan hava giriş ve çıkış menfezleri ile doğal havalandırma sağlanmaktadır.	 Watling Konutu
Şaft Tipi Çift Katmanlı Cephe	Şaft tipi çift katmanlı cepheler, kutu tipinin düşey de birden fazla katta devam ettirilip, şaft sistemi ile birbirine bağlanan cephelerdir. Hava girişi için her katta açıklıklar bulunmakta, çıkışı şaftın en üstündeki açıklıktan yapılmaktadır. Her katta bulunan açıklıklardan giren temiz hava, ısınarak yükselir ve kutu pencerelerin üst kısmındaki açıklıktan şafta aktarılır, şaftın üst kısmından da tahliye edilir. Düsseldorf’ta bulunan ARAG Kulesi bu tip cephelere örnektir. Her kutu pencerelerde hava giriş açıklığı, her üç açıklıkta bir şaft bulunmaktadır.	 ARAG Kulesi
Koridor Tipi Çift Katmanlı Cephe	Koridor tipi çift katmanlı cepheler, katlar arasındaki yatay elemanlar yardımıyla birbirinden ayrılan cephelerdir. Bu tip cephelerde hava, yatay olarak bir kat boyunca dolaşmaktadır. Bazı uygulamalarda menfezler aracılığıyla dikey hava akışı da sağlanabilmektedir. İstanbul’da bulunan Küçükçekmece Belediye Binası bu tip cephelere örnektir. İç cephede, mekânların işlevlerine göre bırakılan açıklıklar ve yüzeyinde dikey güneş kırıcılar bulunan cam dış cephe sayesinde iç mekânlara doğal havalandırma ile, kontrollü doğal aydınlatma da sağlanmaktadır.	 Küçükçekmece Belediye Binası
Çok Katlı Çift Katmanlı Cephe	Çok katlı çift katmanlı cepheler, herhangi yatay veya düşey elemanlar ile bölünmeyen, havanın bütün bina boyunca kesintisiz şekilde dolaşabildiği cephelerdir. Bu tip cephelerde dış katmanın alt ve üst kısmında hava giriş ve çıkış menfezleri bulunmaktadır. Alt menfezden içeri alınan soğuk hava, ısınıp içerideki sıcak havayı da iterek yükselmekte ve üst menfezden dışarı çıkmaktadır. İstanbul’da bulunan Maslak No:1 Ofis Binası bu tip cephelere örnektir. İç ile dış katman arasındaki mesafenin belli bölümlerde 17 metreye kadar ulaştığı yapı da tampon bölge akustik fayda ve enerji korunumu sağlamaktadır.	 Maslak No:1 Ofis Binası

Şekil 3.7. Çift Katmanlı Cephelerin Sınıflandırılması (Şekil yazar tarafından, Tascon, 2008; Barbosa ve Ip, 2014; http-1; http-2; http-3, http-4 kaynaklarından uyarlanarak oluşturulmuştur.)

Pasif sistemler, cephede uygulanan pasif tasarım stratejilerinin yanında akıllı malzemelerin kendi özellikleriyle verdikleri uyarlanabilir tepkileri de kapsamaktadır.

Akıllı malzemelerin pasif ve aktif olarak adlandırılması, harekete geçerken enerjiye ihtiyaç duyup duymamaları ile ilgilidir. Uyarlanabilir cephelerde kullanılan akıllı malzemeler genellikle pasif özelliğe sahiptir.

İçsel kontrol

İçsel kontrole sahip cephelerin uyarlanabilir kapasitesi, cepheyi oluşturan alt sistemlerin doğal özellikleri ile karşılanmaktadır. Bu cepheler; sıcaklık, bağıl nem, yağış, rüzgâr hızı ve yönü, güneş radyasyonu, CO₂ seviyesi gibi etmenlere karşı tetiklenerek, kendini ayarlayabilmektedir (Loonen vd., 2013). İçsel kontrol sisteminde yapısal anlamda, mekanik hareket yer alsa da doğrudan kontrol edebilen bir cihaz veya mekanizma bulundurmamaktadır (Fox ve Yeh, 2000) Burada alt sistemler, dışsal kontrolden farklı olarak hem sensör bazı durumlarda da aktüatör görevi görmektedir (Şekil 3.8).

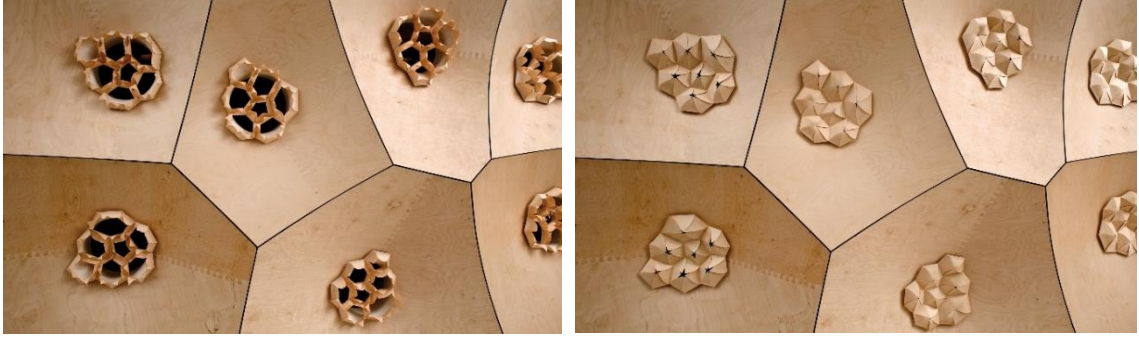


Şekil 3.8. İçsel Kontrol Sistemi (Loonen, 2010)

İçsel kontrol, pratik uygulamalarda genellikle gelişmiş işlevselliğe sahip ‘akıllı malzemeler’ olarak adlandırılan özel bir malzeme sınıfı ile sağlanmaktadır (Loonen vd., 2013). Akıllı malzemeler, kendi kendini ayarlama ve harekete geçme kabiliyetini, bünyesindeki malzeme sensörleri sayesinde iç enerjisindeki dalgalanmalarla sağlamaktadır (Tabadkani vd., 2020). Bu bakımdan dışsal kontrol ile karşılaştırıldığında, herhangi bir elektrik veya yakıt tüketimi gerektirmemesi; kontrol üniteleri, işlemciler veya kablolarla ihtiyaç duymaması nedeniyle bileşen sayısının kısıtlı olması; karmaşık sistemlerden oluşmaması gibi avantajlar sağlayabilmektedir (Loonen vd., 2013). Fakat dışsal kontrole göre çeşitli dezavantajları da bulunmaktadır. Bu kontrol türünde uyarlanabilirlik, tercih edilen malzeme özelliklerinin veya diğer sistem değişkenlerinin tasarım aşamasında ön görülen koşullara yanıt verebilecek şekilde seçilmesiyle sağlanmaktadır. Ön görülen koşulların dışına çıktığında kısıtlı yanıt verme kabiliyeti

nedeniyle amaçlanan performans verimliliğini karşılayamayabilmektedir (Loonen vd., 2013). Mimaride iklim duyarlılığı genellikle birçok mekanik ve elektronik algılama, harekete geçirme ve düzenleme cihazlarından yararlanılarak sağlanmaktadır. Bu tür sistemler uyaranlara dinamik olarak hızlı tepki verme fırsatı sunmaktadır. Uyaranların fiziksel olarak algılanıp malzeme özellikleri yoluyla içsel bir tepki vermesi enerji tüketimini önlese de aktif sistemlerdeki gibi dinamik hareket kabiliyeti olmadığı için hızlı adaptasyon konusunda yetersiz kalabilmektedir. Fakat akıllı malzeme alanındaki gelişmeler, içsel kontrol yoluyla dinamik hareket özelliği kazandırılan prototiplerin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Buna örnek olarak 2013 yılında Fransa’da sergilenmiş olan HygroSkin-Meteorosensitive Pavilion verilebilmektedir. Bu proje, herhangi harici mekanik veya elektronik kontroller ya da harici enerji kaynağı gerektirmeden, duyarlı malzemelerden oluşan sistem aracılığıyla fiziksel olarak kendini ayarlayabilme özelliğine sahiptir.

HygroSkin; higroskopik hareket özelliği olan duyarlı ahşap malzemelerin işlevsel, modüler ve uyarlanabilir kabuğa entegrasyonu ile elde edilen mimari bir prototiptir (Krieg, 2016). Cephedeki gözenekler, kaplamanın özelliği sayesinde bağıl nem ve sıcaklıktaki değişimlere göre açılıp kapanarak yanıt verebilmektedir. Algılama, kontrol ve harekete geçirme işlemi malzemenin özelliği ile sağlandığı için herhangi bir elektronik veya mekanik kontrole ihtiyaç duyulmamakta, dolayısıyla enerji tüketimine de sebep olmamaktadır (Orhon, 2016). Gözenekler, ılıman bir iklimde güneşli havadan yağmurlu havaya kadar olan nem aralığına denk gelen %30 ila %90 arasındaki bağıl nem değişikliklerine yanıt verebilmektedir (http-5). Yerel mikro iklimle doğrudan geri bildirimde bulunabilen prototip, iç ortamdaki bağıl nem arttığında gözeneklerini açıp, azaldığında kapatarak, cephenin ışık ve görsel geçirgenliğini kontrol edebilmektedir (Görsel 3.1).



Görsel 3.1. HygroSkin Pavilion'un cepheindeki açıklıklarının bağıl neme göre; Açık durumu(solda), Kapalı durumu(sağda)(<http-5>)

Akıllı malzemeler bir araya getirilerek sistem oluşturulur. Bu akıllı malzeme sistemi de uyaranlara yanıt verme kabiliyetine göre pasif ve aktif olarak ayrılmaktadır (Abdullah ve Al-Alwan, 2019). Aktif akıllı malzemeler; elektrik, manyetik alan ve termal etkinin altında enerji üretebilen ve bu enerji ile malzemenin özelliklerini veya HygroSkin Pavilion örneğinde görüldüğü üzere geometrisini değiştirmek için kullanabilen malzemelerdir. Aktif akıllı malzemeler; kullanıldığı sistemde, kuvvet dönüştürücü ve aktüatör görevi görebilmektedir (Kamila, 2013). Pasif akıllı malzemeler ise çevresel değişiklikleri algılayıp, enerji aktarımı yoluyla tepki veren malzemelerdir (Qader vd., 2019). Enerjiyi aktif bir tepkiye dönüştürmedikleri için kuvvet dönüştürücüsü veya aktüatör yerine sadece sensör görevi görmektedir.

3.2.2. Cephe gölgeleme sistemi

Tablo 3.3. Uyarlanabilir Cephe Gölgeleme Sistemleri (Tablo yazar tarafından; Stankovic, Tanic ve Cveticanovic, 2019'den uyarlanarak oluşturulmuştur.)

Sistemler	Uyum Sağlama Yaklaşımları	Uygulamalar
Cephe Gölgeleme	• Kinematik Yaklaşımlar	• Garden by the Bay
	• Elastik Kinetik Yaklaşımlar	• Kiefer Technic Showroom

Geleneksel olarak cephe, yapının dış mekân ile iç mekânını ayıran düşey düzlem olarak tanımlansa da son yıllardaki mimari gelişmeler ışığında yapıların çatı ve yan yüzeyleri bütüncül olarak tasarlanmaya başlanmıştır. Bununla birlikte binanın toplam çevresini ifade eden zarf, kabuk gibi terimlerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Standart gölgeleme elemanlarının (panjur, kepenk, store perde vs.), günümüz mimarisinde kullanımı artan kavisli yüzeyler ve serbest biçimli zarflara sahip yapılarda etkin bir

gölgeleme sağlayamaması, bu alanda uyarlanabilir cephelerin sunduğu yenilikçi çözümlerin önemini artırmıştır.

Pasif sistemlere sahip uyarlanabilir cephelerde gölgeleme, genelde cephede kullanılan malzemenin düşük ışık geçirgenliği ile sağlanmaktadır. Aktif sistemlerin sağladığı kinetik çözümler ise hareket kabiliyetinin çeşitliliğine göre farklı şekillerde uygulanabilmektedir. Bu farklı uygulamaları genel olarak iki başlık altında inceleyecek olursak bunlar; “Kinematik Yaklaşım” ve “Elastik Kinetik Yaklaşım”dır.

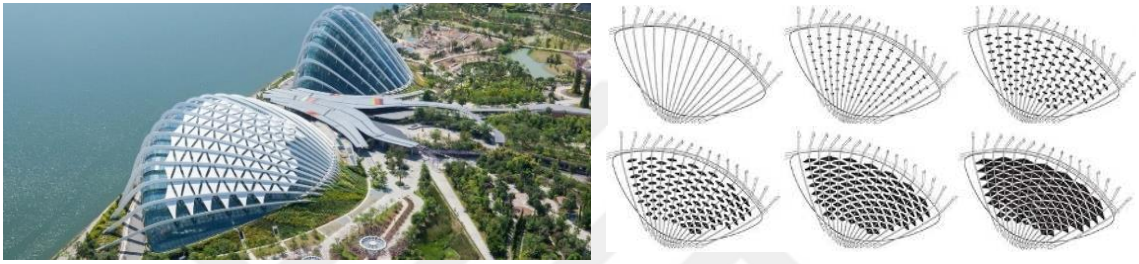
3.2.2.1. Kinematik yaklaşım

Kinematik kavramı; harekete sebep olan dış nedenleri bir kenara bırakarak doğrudan hareketin kendisi ile ilgilenen bilim dalıdır. Kinematik yaklaşım ise; direkt olarak dış koşulların harekete geçirmediği ama cephenin değişen dış koşullara göre sensör, aktüatör gibi elemanlar ile harekete geçerek adaptasyon sağladığı yaklaşımı ifade etmektedir.

Sabit güneş kırıcıların verimliliği güneşin geliş açısı ile ilişkili olup, gün ve yıl içinde değişkenlik göstermektedir. Uyarlanabilir sistemler ise güneş ışıınının değişimine göre ayarlanabilmesi ile bireysel kontrole, optimum gölgelemeye, gün ışığı kullanımının maksimuma çıkarılmasına olanak sağlaması bakımından sabit olanlara kıyasla üst düzeyde verimlilik sağlamaktadır. Sabit güneş kırıcı elemanlar dik eksenli ve dik açılı düzlemsel cephelere uygulandığında iyi performans gösterebilir bile modern mimaride giderek artan kavisli yüzey ve serbest biçimli zarflar için yetersiz ve etkisiz kalmaktadır. Bu duruma bir çözüm olarak, karmaşık geometrilere uyum sağlama konusunda yüksek derecede adaptasyon ve esneklik sunan yeni gölgeleme sistemleri geliştirilmektedir (Barozzi vd., 2016). Bu gölgeleme sistemleri kontrol edilebilir olup, çeşitli mekanik sistemleri barındırmaktadır. Garden by the Bay ve Kiefer Technic Showroom yapılarının uyarlanabilir cepheleri bu konuda önemli iki örneği temsil etmektedir.

Garden by the Bay, büyük ölçekli kavisli yapılara uygulanan uyarlanabilir gölgeleme sisteminin başarılı örneklerinden biridir. Cephenin dışına yerleştirilen kanvas gölgeliklerden oluşan açılır kapanır sistem, cepheyi aşırı ısınmalardan korurken, ışık geçişini de sağlayarak doğal aydınlatma imkânı sunmaktadır. İç mekâna yerleştirilen sensörler yardımıyla sıcaklık, ışık ve nem kontrol altında tutularak; değerler ideal seviyenin üstüne çıktığında motorlar gölgeleme sistemini çalıştırmaktadır. Cepheyi saran

kemerlere yerleştirilen motorlu panjurların; diagrid düzende açılması maksimum gölgeleme imkânı sunmakta, bireysel üçgen form ve kullanılan kumaş sayesinde ihtiyaç ortadan kalktığında yuvarlanma yoluyla cepheye gizlenip, ihtiyaç olduğunda ise panjurun tekrar açılarak düz bir şekilde kalmasını sağlamıştır. Gölgeleme sistemi bu özelliği sayesinde kavisli bir yüzeye maksimum uyum sağlamıştır (Görsel 3.2) (Barozzi vd., 2016). Yapının uyarlanabilir cephesi; kullanıcı konforu, soğutmaya harcanacak enerjiden tasarruf, doğal aydınlatma ve panjurların geri dönüştürülebilir malzemeden yapılması ile sürdürülebilirliğini kanıtlamaktadır.



Görsel 3.2. *Garden by the Bay; cephinin genel görünümü(solda), cephinin çalışma prensibi(sağda) (http-6)(http-7)*

Kiefer Technic Showroom örneği ise ışık sensörleri tarafından merkezi olarak kontrol edilen delikli alüminyum paneller aracılığıyla iç iklim koşullarını dış mekân koşullarına göre optimize eden dinamik bir cepheye sahiptir. Ayrıca bu cephe kullanıcıların gerektiğinde otomatik kontrolü devre dışı bırakarak kullanıcı kontrolü ile kendi alanlarını kişiselleştirmelerine olanak sağlamaktadır (Görsel 3.3) (Tabadkani vd., 2021). Yapının uyarlanabilir cephesi; otomatik ve manuel gölgeleme sistemi ile kullanıcı konforu ve soğutmaya harcanacak enerjiden tasarruf edilmesini sağlayarak sürdürülebilirliğini kanıtlamaktadır.

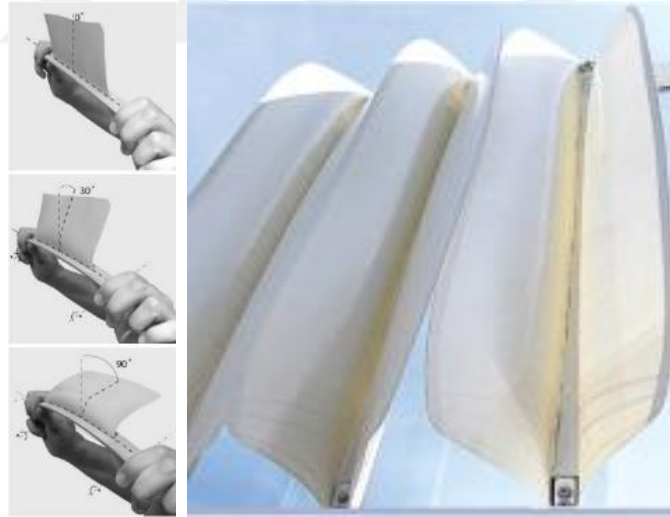


Görsel 3.3. *Kiefer Technic Showroom; cephinin genel görünümü ve cephinin çalışma prensibi ((http-8), Moloney, 2011)*

3.2.2.2. Elastik kinetik yaklaşımı

Mekanik olarak karmaşık sistemlere ihtiyaç duyulmadan, uyarlanabilirliğin menteşesiz elastik bükülme deformasyonu ile sağlandığı yaklaşımdır (Barozzi vd., 2016). Flectofin® adı verilen gölgeleme sistemleri, bu yaklaşımı yansıtan ideal örneklerden bir tanesidir.

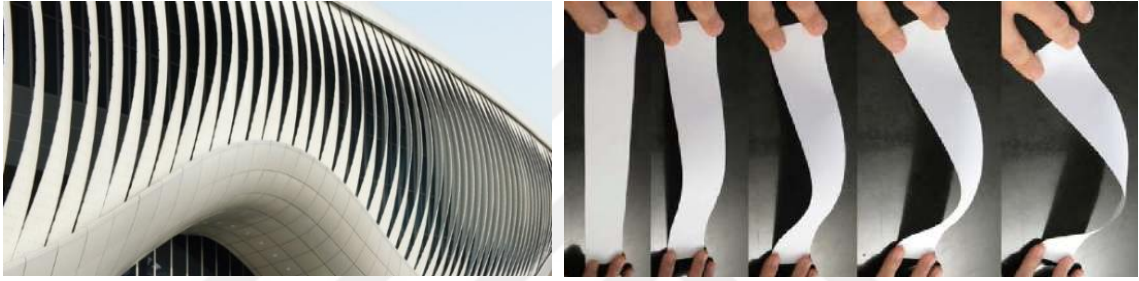
Flectofin®, elastik deformasyon ilkesini kullanmak üzere ITKE’de geliştirilen biyomimetik gölgeleme sistemidir. Cennet kuşu çiçeğine, bir kuş konması sonucu geri dönüşümlü deformasyona uğrayan çiçeğin hareketinden ilham alınarak geliştirilen sistem, menteşesiz gölgeleme elemanlarını esnek bir yapıya dönüştürmektedir. Sistem, omurga görevi gören bir çubuk ve çubuğa bağlı cam elyaf takviyeli polimerden (GFRP) oluşmaktadır. Çubuğa uygulanacak bir kuvvetin yol açacağı bükülme deformasyonu, GFRP’nin de cennet kuşu çiçeğinin yaprakları gibi yanal bir katlanma hareketini tetiklemektedir (Görsel 3.4) (Schumacher, Vogt ve Krumme, 2019). Buradaki menteşesiz mekanik sistem fikri, gereken bakım miktarını da azaltabilmektedir. Flectofin®’e benzer bir elastik kinetik yaklaşım; Thematic Pavilion Expo 2012’nin cephesine uygulanmıştır.



Görsel 3.4. Flectofin®’nin cennet kuşu çiçeğinden esinlenilen hareket prensibi(solda), örnek uygulaması(sağda) (Lienhard vd., 2011; Schleicher vd., 2015)

Thematic Pavilion Expo 2012’nin cephesi, 140m uzunluğunda ve 3-13m arasında değişen yüksekliğe sahiptir. Cephedeki gölgeleme sistemi; üst ve alt kenarların bir köşesi sabit desteklerle, diğer köşesi uzatılabilir aktüatörlerle desteklenen hafif kavisli 108 adet kinetik GFRP panjurdan oluşmaktadır. Aktüatörler üst ve alt kenarları birlikte iterek, GFRP elemanının elastik bükülmesine ve yanal dönmesine yol açmaktadır (Görsel 3.5).

Cephenin elastik deformasyonun ne şekilde gerçekleşeceğini yönlendirmek için panjurun uzunlamasına kenarlarına 200mm ve 30mm genişliğinde çubuklar yerleştirilmiştir (Knippers vd., 2012). Yapının uyarlanabilir cephesi; kontrol edilebilir gölgeleme sistemi sayesinde aşırı güneş etkisinden iç mekân konfor koşullarının olumsuz etkilenmesini önleme ve GFRP panjur ile ışık geçişi kontrol altına alınarak doğal aydınlatmanın sağlanması, enerji tasarrufu ve kullanıcı konforunu sağlayarak sürdürülebilir olduğunu kanıtlamaktadır. Ayrıca farklı çalışma modlarında ayrı ayrı çalıştırılabilen panjurlar, cephede dalga hissi uyandırması ile yapının canlı bir form gibi hareket ederek kinetik kimliğini yansıtmasını sağlamaktadır.



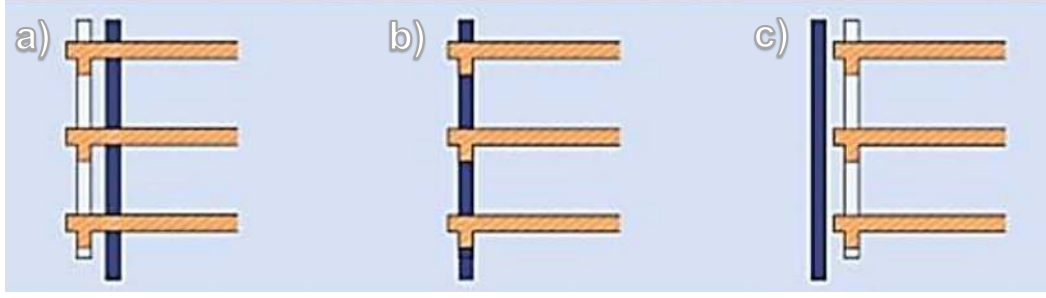
Görsel 3.5. *Thematic Pavilion Expo 2012 cephesinin genel görünümü(solda), cephenin çalışma konsepti(sağda) ((http-9); Knippers vd., 2012)*

3.2.3. Sistemlerin cephedeki konumu

Tablo 3.4. *Uyarlanabilir Cepheelerde Sistemlerin Cephedeki Konumu (Stankovic, Tanic ve Cvetanovic, 2019'den uyarlanmıştır.)*

Sistemler	Uyum Sağlama Yaklaşımları	Olasılıklar
Cephedeki Konumu	• Dışardan Uygulanan Sistemler	• Çift Cidar • Değiştirilebilir Cam
	• Cepheye Entegre Sistemler	
	• İçerden Uygulanan Sistemler	

Uyarlanabilir sistemlerin cephedeki konumlandırması performansını önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Bu konuda 3 farklı sistem ön plana çıkmaktadır. Bunlar; içerden(dahili) uygulanan sistemler, cepheye entegre (gömülü) sistemler ve dışardan uygulanan sistemlerdir (Şekil 3.10).

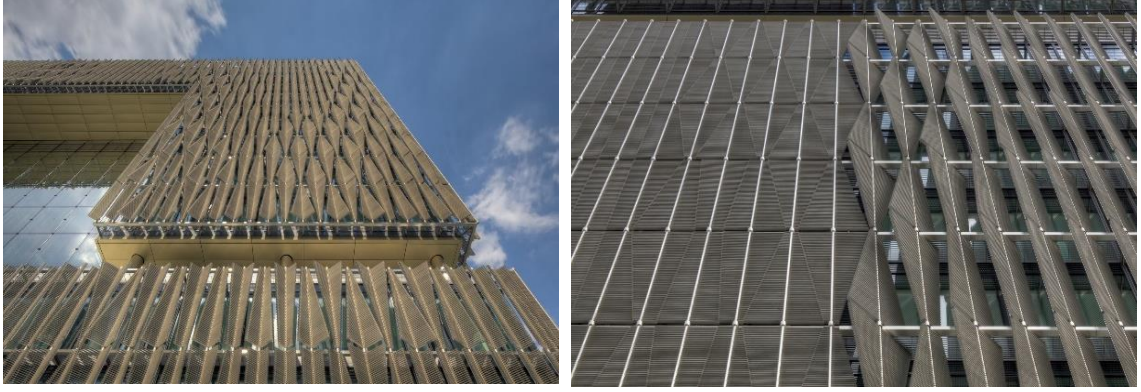


Şekil 3.9. Uyarlanabilir sistemin yapıdaki konumu; (a) içerde, (b) ciltte, (c) dışarda (Zaimen ve Laouar, 2020)

3.2.3.1. Dışarıdan (harici) uygulanan sistemler

Dışardan uygulanan sistemler, uyarlanabilir sistemin binanın dış kabuğunun önüne yerleştirilmesidir. İç mekânı güneşin zararlı etkilerinden korumak için etkili bir çözümdür. Fakat binanın dışında yer alması sebebiyle, daha fazla dış ortam koşullarına maruz kalmaktadır. Bu durum, sistemin bakım maliyetinin artmasına ve kullanım ömrünün kısılmasına sebep olmaktadır (Zaimen ve Laouar, 2020). Dışardan uygulanan sistemler, istenmeyen ısı kazancını önleme bakımından en verimli ve özellikle yüksek katlı binaların uyarlanabilir cephelerinde en çok tercih edilen çözümdür. Ayrıca yenilikçi ve benzersiz dinamik cephe tasarımına imkân sağlaması bakımından cephede enerji tasarrufu sağlayan sistemlerden ziyade mimari bir simgeyi temsil etmektedir (Barozzi vd., 2016). Bu nedenle, dışardan uygulanan sistemler hem sürdürülebilir fayda hem de tasarımsal etki bakımından diğer uygulamalara oranla daha çok ön plana çıkmaktadır.

Giydirme cephe sistemleri de dışarıdan uygulanan cephe sistemleri olarak adlandırılmaktadır. Giydirme cepheler, taşıyıcı sisteme her katta bağlanan ve sadece kendi yükünü taşıyan dış duvarlar olarak tanımlanmaktadır. Bina'nın dış ortam ile ilişkisini iki yönlü bir filtre görevi görerek sağlayan, taşıyıcı olmayan dış örtü sistemleridir (Kocaağa, 2022). Thyssenkrupp Quartier Essen Q1 Ofis Binası cephesinin dışında yer alan 1280 adet paslanmaz çelik lamelden oluşan ve merkezi olarak kontrol edilen ışık yönlendirme sistemi, dışarıdan uygulanan sistemlere örnektir. Cephenin, gün ışığı ve güneş ısıasına karşı ideal iç mekân koşullarını sağlamak amacıyla ayrı ayrı kontrol edilen 3 farklı çalışma konfigürasyonuna sahip motorlu döner panjurlar ile gölgeleme sağlamaktadır (Görsel 3.6). Dış ortam koşulları ile doğrudan temas halinde olmasına rağmen 70 km'ye kadar olan rüzgâr hızı altında bile çalışır durumda kalabilmektedir.

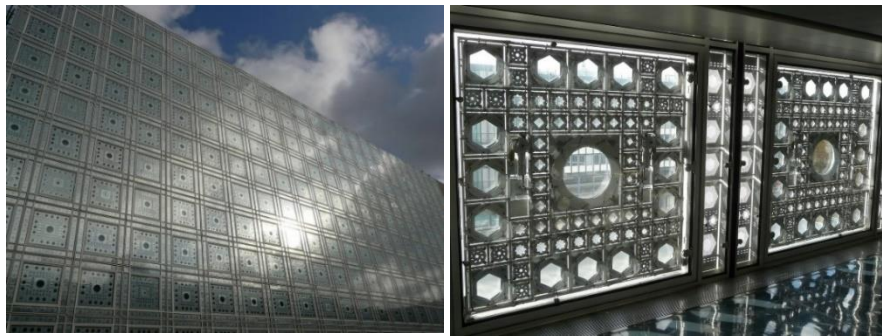


Görsel 3.6. *Thyssenkrupp Quartier Essen Q1 Ofis Binası Cephesi (http-10)*

3.2.3.2. Cepheye entegre(gömülü) sistemler

Cepheye entegre sistemler; uyarlanabilir sistemin doğrudan zarfın içine entegre edildiği sistemlerdir. Genellikle çift cidarlı cephelerin katmanları arasına yerleştirilerek uygulanmaktadır. Sistemin toz parçacıklarına karşı korunmasını sağlar ve dışardan uygulanan sistemlere göre bakım maliyeti düşüktür (Zaimen ve Laouar, 2020). Yapının dinamik efektine etkisi, dışardan uygulanan sistemlere göre düşüktür.

Cam katmanlara entegre edilmiş kinetik sistemin en ünlü örneklerinden birisi, Jean Nouvel'in 90'lı yılların başında tasarladığı Institut du Monde Arabe'dir. Bu yapı, günümüzdeki uyarlanabilir cephelerin öncüsü olarak kabul edilmektedir (Meagher, 2015). Binanın güneybatı cephesinde, iç mekâna gün ışığı ve güneş ısısının kontrollü girişini sağlamak için otomatik olarak açılıp kapanabilen, duyarlı metal açıklıklar bulunmaktadır (Görsel 3.7). Metal açıklıklar 24x10 cm boyutunda ızgara bölmeler şeklinde yerleştirilmiş olup, her bölme merkezi bilgisayar sistemine bağlı motorlar tarafından ayrı ayrı kontrol edilmektedir (Barozzi vd. 2016). Cepheye entegre bir sistem olsa da hassas mekanizmalar ve kontrollerin açıkta bırakılması mekanik sorunların ve bakım gerekliliğinin artmasına neden olmuştur.



Görsel 3.7. *1987 Institut du Monde Arabe'nin cephesi (http-11)*

3.2.3.3. İçerden (dahili) uygulanan sistemler

İçerden uygulanan sistemler; uyarlanabilir sistemin ana yapının arkasına yerleştirilmesidir. Binanın iç kısmında yer alan bu sistemler, dış rüzgâr yüklerinden ve hava koşullarından korunduğu için hasar riski düşüktür ve daha az bakım gerektirmektedir (Barozzi vd., 2016; Zaimen ve Laouar, 2020). Dışardan uygulanan gölgeleme sistemlerine kıyasla yazın soğutmaya harcanacak enerji talebini azaltma performansı daha düşüktür. Çünkü iç güneş kırıcı elemanların, cephenin dışındaki güneş ışınımını filtrelememesi ve bu ışının emilip odaya iletilmesi, iç mekân sıcaklığının artmasına sebep olmaktadır (Barozzi vd., 2016). Tasarımlarda nadiren tercih edilen bir sistemdir. Ayrıca dışarıdan bakıldığında yapının dinamik efektine etkisi genellikle bulunmamaktadır.

İçerden uygulanan sistemlere, Stony Brook Üniversitesi'nin Geometri ve Fizik Bilimleri Binası'nın cephesi örnek olarak verilebilmektedir. Yapının cephesinin iç kısmında çeşitli desenlerden oluşan ve hem binanın sanatsal yönünü arttıran hem de işlevsel bir gölgeleme imkânı sunan 4 katman yer almaktadır. Katmanlardan üçü, sıcaklık gereksinimlerine göre motor yardımıyla açılıp kapanabilmektedir. Motorlu paneller bir ray sistemi ile kendi etrafında dönerek, altıgen, daire, kare ve üçgenlerden oluşan desenler yardımıyla opaklığın dinamik olarak ayarlanmasına, görsel etkiye ve ışığın kalitesinin şekillendirilmesine yardımcı olmaktadır (Görsel 3.8) (<http-11>).



Görsel 3.8. Stony Brook Üniversitesi'nin Geometri ve Fizik Bilimleri Binası'nın cephesi (<http-12>)

Cepheler bu sistem ve tasarım stratejileri ile farklı şekilde fonksiyonel, işlevsel katkılar sunabilmektedir. Çalışmanın bir sonraki bölümünde uyarlanabilir cephelerin, bu sistemlerin farklı uygulama pratikleri ile sağladığı sürdürülebilir fayda çeşidini ve etkisini incelemek için yeşil bina sertifikalarından yararlanılarak sürdürülebilir kriterler belirlenecektir.

4. UYARLANABİLİR CEPHELERİN SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARLIK KAPSAMINDA PERFORMANS KRİTERLERİNİN BELİRLENMESİ

4.1. Bina Sürdürülebilirliği Derecelendirme Sertifikaları

4.1.1. LEED sertifikası

ABD’de yeşil binaları teşvik etmek ve desteklemek amacıyla 1993’te ‘Birleşik Devletler Yeşil Binalar Konseyi (USGBC)’ kurulmuştur. USGBC’nin misyonu; "binaların ve toplulukların tasarlanma, inşa edilme ve işletilme biçimini dönüştürerek, yaşam kalitesini iyileştiren çevresel ve sosyal açıdan sorumlu, sağlıklı ve müreffeh bir ortam sağlamak” olarak ifade edilmektedir (USGBC ,2014 s.7). Bu kapsam da Enerji ve Çevresel Tasarımda Liderlik (LEED) adında; yeşil bina tasarımında bir standart oluşturmak ve bu alanda rekabeti teşvik etmek amacıyla sertifika sistemi geliştirmiştir.

LEED Sertifikasyon Sistemi, sürdürülebilir hedeflere yönelik enerji tüketiminde azalmalar ve iç mekân ortam kalitesinde iyileştirmeleri de içeren bina tasarım özelliklerine kredi puanları veren bir derecelendirme sistemidir (Newsham, Mancini ve Birt, 2009). Uluslararası yeşil bina değerlendirme sistemi olan LEED’in amacı, inşaat sektöründeki özel ve devlete ait binaların çevreye olan olumsuz etkilerini en aza indirmek ve yaşam döngüsü değerlendirmelerini gözden geçirerek bunu sürdürmektir. Bu bağlamda LEED komitesi, sertifikasyon sürecinde projeleri geliştirmek ve onaylamak üzere sürdürülebilirlik hedeflerine yönelik etki kategorileri belirlemektedir. Bu kategoriler, Şekil 4.1’de gösterildiği üzere bir LEED projesinin başarmayı amaçladığı yedi temel hedefi tanımlamaktadır (Owens vd., 2013).



Şekil 4.1. LEED Etki Kategorileri (Owens vd., 2013)

LEED sisteminin, değişen koşullar ve ihtiyaçlar doğrultusunda yeni versiyonları çıkartılarak güncellenmiştir. 1993 yılında Amerikan yönetmelik ve standartları baz alınarak geliştirilmeye başlanan LEED Sertifikası'nın 1998 senesinde 1.0 versiyonu geliştirilmiş ve 19 pilot proje ile testlere başlamıştır. Bu pilot programından ders alarak 2001 yılında 2.0 versiyonu uygulamaya başlanmış, 2003 yılında 2.1 versiyonu ve 2005 yılında 2.2 versiyonu geliştirilerek, bazı kriterlerde iyileştirmeler yapılmıştır (Wu vd., 2016; USGBC, 2024). Daha sonra 2009 yılında v3 versiyonu, 2015 yılında v4 versiyonu ve son olarak 2019 yılında v4.1 versiyonu ile bugün kullanılan halini almıştır (USGBC, 2024). LEED'in v5 versiyonu günümüzde gelişim aşamasındadır. LEED v3, önceki versiyonlardan süre gelen sistemin genel yapısını korurken, yeni teknolojiler içermesi, enerji kullanımı ve CO₂ emisyonu gibi acil öncelikli konulara yönelmiştir. LEED v4 ise yeni sektörlerle hitap etmekte ve teknik gereklilikleri arttırarak, çevresel sorunlarda iyileştirmeleri, enerji ve su tüketiminde optimizasyonu desteklemektedir. Son güncelleme ile 2019 yılında çıkan LEED v4.1.'de ise daha geniş bir kitleye hitap etmek ve katılımı arttırmak amacıyla sertifikasyon sürecindeki bazı kurallar sadeleştirilmiş ve esnetilmiştir. Şu an geliştirme aşamasında olan LEED v5 versiyonunun odak noktası ise karbon emisyonu azaltımıdır.

LEED, beş ana sertifika türünü içermektedir; "LEED Bina Tasarımı ve İnşaatı (BD+C), LEED İç Tasarım ve İnşaat (ID+C), LEED Mahalle Gelişimi (ND), LEED Bina Operasyonları ve Bakımı (O+M), LEED Konutlar (H). Bir binanın sertifikasyon seviyesi,

farklı değerlendirme kategorilerinde yer alan kriterlere uyumuna göre tahsis edilen puanlarla belirlenmektedir. Puanlama sistemi; “LEED Sertifikası (40-49 Puan), LEED Gümüş (50-59 Puan), LEED Altın (60-79 Puan), LEED Platin (80+ Puan)” olmak üzere dört seviyesini içermektedir (Amiri, Ottelin ve Sorvari, 2019) (Görsel 4.1).



Görsel 4.1. LEED Sertifikasyon Seviyeleri (USGBC, 2014)

LEED v4.1’in puanlama sisteminde, 9 temel kriter ve bu kriterlerin alt başlıklarından oluşan bir liste mevcuttur. Bu kriterlere göre projeler toplamda 110 puan üzerinden derecelendirilmektedir (USGBC, 2025). Temel kriterler Tablo 4.1’de gösterilmektedir.

Tablo 4.1. LEED Sertifikası Puan Kategorileri (USGBC, 2025)

Kategoriler	Kategorilerden Alınabilecek En Yüksek Puanlar
Enerji ve Atmosfer	33
İç Mekân Kalitesi	16
Konum ve Ulaşım	16
Malzeme ve Kaynaklar	13
Su Verimliliği	11
Sürdürülebilir Arazi Kullanımı	10
İnovasyon	6
Bölgesel Öncelikler	4
Bütünleştirici Süreç	1

Tez kapsamından LEED BD+C sertifikasındaki puanlama sisteminden yararlanılmıştır. Bu sertifika sisteminin kendi alt kategorilerinin puanlandırılmasında, temel kriterlerdeki maksimum puanlar küçük ölçekte farklılıklar gösterebilmektedir. Genel olarak bakıldığında binanın enerji verimliliğini, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmasını ve sera gazı emisyonunun durumunu değerlendiren “Enerji ve Atmosfer” en önemli kriter olarak ön plana çıkmaktadır. Bina iç ortamının hava kalitesi, aydınlatma ve akustiğini değerlendiren “İç Mekân Kalitesi”, binanın konumunun, ulaşım imkanlarının ve çevreye etkisinin değerlendirildiği “Konum ve Ulaşım”, malzemenin çevresel etkisinin ve geri dönüştürülmüş malzeme kullanımının değerlendirildiği “Malzeme ve Kaynaklar”, su kullanımı ve su tasarrufunu değerlendiren “Su verimliliği” önemli diğer kriterler olarak ön plana çıkmaktadır.

4.1.2. BREEAM sertifikası

İngiltere’de, yapı çevre sorunlarına bilimsel çözümler geliştirme ve sürdürülebilir dünyaya katkıda bulunma amacıyla 1921 yılında, dünyanın ilk bina araştırma kuruluşu olan BRE (Building Research Establishment) kurulmuştur ([http-13](#)). BRE’nin misyonu; “insanları, mülkiyeti ve gezegeni korumak” olarak ifade edilmektedir (BREEAM, 2020). Bu kapsamda BRE tarafından, 1990 yılında dünyanın ilk sürdürülebilirlik standardı ve derecelendirme sistemi olan BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) Sertifikası geliştirilmiştir. BREEAM, daha çok sürdürülebilir bina sertifikasyon pazarında %80 paya sahip olduğu Avrupa’da yaygın olarak tercih edilmektedir (Soulti ve Leonard, 2016).

BREEAM; tasarım, inşaat, kullanım ve yenileme olmak üzere binaların, projelerin veya varlıkların yaşam döngüsü boyunca sürdürülebilir performanslarının değerlendirilmesi ve iyileştirilmesi için geniş bir çerçeve sunmaktadır. Bir binanın veya projenin yaşam döngüsünün farklı aşamalarını kapsayan altı sertifika çeşidi vardır. Mevcut binaların kullanımı BREEAM Kullanımda (In-Use), yenileme ve iç tasarım düzenlemeleri BREEAM Yenileme ve Donanım (Refurbishment and Fit-Out), büyük ölçekli kalkınma planları BREEAM Topluluklar (Communities), yeni inşa edilen yapılar BREEAM Yeni İnşaat (New Construction), yeni konut projelerinin kalitesi Ev Kalite Belgesi (HQM)(sadece İngiltere’de uygulanmakta), altyapı projeleri BREEAM Altyapı (Infrastructure) sertifika sistemleri tarafından değerlendirilmektedir ([http-14](#)).

BREEAM sertifikasyon sistemi, binaların çevresel performansını belirli kriterlere göre yüzdelik olarak değerlendirirken farklı seviyelerde sertifika dereceleri kullanmaktadır. Binaların elde ettiği puanlara göre; “Olağanüstü, mükemmel, çok iyi, iyi, geçer ve sınıflandırılmamış” gibi sertifika dereceleri bulunmaktadır (Tablo 4.2) (BREEAM, 2016).

Tablo 4.2. BREEAM Sertifika Dereceleri (BREEAM, 2016)

BREEAM Derecelendirmesi	% Puan
Olağanüstü	≥ 85
Mükemmel	≥ 70
Çok İyi	≥ 55
İyi	≥ 45
Geçer	≥ 30
Sınıflandırılmamış	< 30

BREEAM puan sistemi 10 ana kategoriden oluşmaktadır. Bu kategoriler; “Yönetim, Sağlık ve Refah, Enerji, Ulaşım, Su, Malzeme, Atık, Arazi Kullanımı ve Ekoloji, Kirlilik, İnovasyon” dan oluşmaktadır. İnovasyon kategorisi diğerlerinden farklı olarak standart değerlendirme kriterlerinin henüz kapsamadığı sürdürülebilir fayda sağlayan yenilikçi çözümler için ek krediler sağlamaktadır. Böylece hem tasarımda yenilikçi sürdürülebilir çözümler teşvik edilmekte hem de BREEAM puan sisteminde %100’ü oluşturan diğer kategorilere ek, %10’luk tamamlayıcı bir destek puanı sağlamaktadır (BREEAM, 2023).

Değerlendirme aşamasında puan verilen her bir ana kategorinin çevresel etkiyi azaltmadaki önemine göre kredi sayısı farklılık göstermektedir. Her ana kategoriden toplanan puanların, toplanabilecek en yüksek puana göre yüzdesi BREEAM tarafından kategoriler için belirlenen ağırlık katsayıları ile çarpılır. Kategorilerden elde edilen yüzdelar toplanarak yapının sertifika derecesi belirlenmektedir (BREEAM, 2016). BREEAM Yeni İnşaat sertifika tipine göre kategoriler ve puan yüzdeleri Tablo 4.3’de gösterildiği şekilde sıralanmaktadır.

Tablo 4.3. BREEAM Uluslararası Yeni İnşaat Sertifikası 2016 Puan Kategorileri (BREEAM, 2016)

	Kategorilerden Alınabilecek En Yüksek Puanlar	Alınabilecek En Yüksek Puanların Yüzdesi
Yönetim	21	%12
Sağlık ve Refah	25	%14
Enerji	37	%19
Ulaşım	13	%8
Su	10	%6
Malzeme	12	%12,5
Atık	10	%7,5
Arazi Kullanımı ve Ekoloji	10	%10
Kirlilik	13	%10
İnovasyon	10	%10
TOPLAM	161	%110

BREEAM Sertifikası’da LEED Sertifikası’nda olduğu gibi enerji verimliliği konusunu ön plana çıkarmaktadır. LEED’de yer alan İç Mekân Kalitesi BREEAM’de daha genel bir başlık olan “Sağlık ve Refah” kategorisi ile yüzdelik payda ikinci sırada yer almaktadır. Daha sonra, bina yönetimi, sürdürülebilir süreçleri izleme ve uygulama yöntemlerini kapsayan “Yönetim” kategorisi; sürdürülebilir malzeme tercihleri ve çevresel etkilerinin değerlendirildiği “Malzeme” kategorisi diğer önemli başlıklar arasındadır.

4.1.3. DGNB sertifikası

Almanya’da, inşaat ve gayrimenkul sektöründe sürdürülebilirliği teşvik etmek ve iklim değişikliği ile mücadele de toplumsal bilinci arttırmak amacıyla 2007 yılında Alman Sürdürülebilir Bina Konseyi (DGNB) kurulmuştur (http-15). Bu kapsamda DGNB, sürdürülebilir yapıyı pratikte uygulanabilir, ölçülebilir ve karşılaştırılabilir hale getirmek için kendi sertifika sistemini geliştirmiştir. DGNB Sertifikası, 2009 yılında uygulamaya konulmuştur (http-16).

Bir bina, planlama aşamasından yıkıma kadar farklı yaşam döngüsü evrelerinden geçmekte olup, her evre farklı gereksinimler ve ön koşullar içermektedir. Bu nedenle DGNB Sertifikası'nda her bina ve bölge projesinin durumuna bağlı olarak farklı sertifika sistemleri bulunmaktadır. Böylece DGNB Sertifika çeşitleri, proje durumuna bağlı olarak planlama, optimizasyon veya yönetim aracı olarak kullanılabilir. Örneğin binalar için yeni inşaat, kullanımda olan binalar veya yenilemeler için ayrı sistemler bulunmaktadır. Ayrıca ilçeler, iç mekânlar, binaların yıkımı ve inşaat alanları için özel DGNB Sertifika sistemleri mevcuttur (<http-16>)

DGNB Sertifika sisteminde de LEED ve BREEAM Sertifika'larında olduğu gibi sertifika dereceleri bulunmaktadır. Binalar topladıkları puanlara göre "Platin, Altın Gümüş, Bronz" sertifika dereceleri ile ödüllendirilmektedir (<http-16>). Fakat binalar belirlenen sertifika dereceleri için yeterli miktarda puanları toplamalarına ek olarak Platin, Altın ve Gümüş dereceleri için her temel puanlandırma kriterlerinden Görsel 4.2'de görüldüğü üzere asgari oranda bir başarı sağlaması gerekmektedir.

				
	Platin	Altın	Gümüş	Bronz
Toplam Performans Endeksi	≥ 80%	≥ 65%	≥ 50%	≥ 35%
Min. Performans Endeksi	65%	50%	35%	-- %

Görsel 4.2. DGNB Sertifikasyon Seviyeleri (<http-16>)

DGNB'nin 2023 yılı itibarıyla "Yeni Bina İnşaatı" için geçerli olan sürümünde değerlendirme kriterleri, her biri %25'lik eşit oranda çevresel, ekonomik ve sosyokültürel yönler olmak üzere üç temel sürdürülebilirlik alanına dayanmaktadır. Buna ek olarak bütüncül bir yaklaşım sağlamak için %10'luk bir oranda teknik kaliteyi ve süreç kalitesini, %5'lik bir oranda da lokasyon kalitesini değerlendirmektedir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. DGNB Uluslararası Yeni İnşaat Sertifikası 2023 Puan Kategorileri (<http-17>)

DGNB Sertifikası'nda diğer iki sertifikadan farklı olarak sürdürülebilirliğin üç temel boyutu olan çevresel, ekonomik ve sosyo-kültürel kriterler değerlendirme de eşit ağırlığa sahiptir. Ayrıca diğer sertifikalarda, kriterlerin uygulanması ile dolaylı yoldan sağlanan ekonomik fayda DGNB'de doğrudan önemli bir kriter olarak ön plana çıkmaktadır. Ayrıca sürdürülebilirliğin teknik yönlerinin değerlendirildiği "Teknik kalite"; planlama ve uygulama kalitesinin değerlendirildiği "Süreç kalitesi"; projenin bulunduğu çevre ile olan karşılıklı etkileşiminin değerlendirildiği "Site kalitesi" kriterleri ile sürdürülebilirliğin üç temel boyutunun değerlendirilmesini destekleyerek çok yönlü bir yaklaşım sunmaktadır.

4.2. Sürdürülebilirlikte Cepenin Rolü ve Cepenin Sürdürülebilir Performans Kriterleri

Binalarda sürdürülebilirliğin sağlanması, hızla değişen çevresel ve ekonomik koşullar için büyük önem taşımaktadır. Sürdürülebilir yapılar; çevresel etkilerin azaltılıp, doğal kaynakların verimli kullanılmasını sağlarken kullanıcı konforunun da dikkate alındığı bütüncül bir yaklaşım gerektirmektedir. Bu nedenle, yapıların bütün yaşam döngüsü boyunca sürdürülebilirliğini sağlamak için dikkat edilmesi gereken, sosyal,

çevresel ve ekonomik olmak üzere üç önemli faktör bulunmaktadır. Sosyal açıdan, kullanıcı sağlığının ve yaşam kalitesinin artırıldığı iç mekân koşulları sağlanmalı; çevresel açıdan, binaların enerji verimliliğinin artırılması ve çevreye olumsuz etkilerinin en aza indirilmesi gerekmektedir. Kullanıcı konforunun düşük enerji tüketimi ile sağlanması uzun vade de ekonomik açıdan faydalar sağlasa da başlangıç maliyetinin düşürülmesi için ekonomik çözümlerin tercih edilmesi gerekmektedir.

Binaların sürdürülebilirliği, çevresiyle olan uyumla doğrudan ilişkilidir. Binaların çevresiyle etkileşimi ne kadar dengeli ve uyumlu olursa, enerji verimliliği ve iç mekân konforu aynı ölçüde artar ve olumsuz çevresel etkiler en az indirilir. Bu bakımdan bina cepheleri, yapının en görünür unsuru olarak estetik kimliğini tanımlamasının yanında dış ve iç çevre arasındaki arayüzde konumlanarak, binanın çevresi ile etkileşiminde kritik bir öneme sahiptir (Loonen vd, 2015). Cepheler bu konumu ile yıl boyunca güneş ışıınımı, yağış, rüzgâr ve sıcaklık gibi çevresel etkilerle doğrudan temas halindedir. Bu durum, cephelerin yalnızca görsel değil, işlevsel açıdan da çok yönlü ve dikkatli bir şekilde tasarlanmasını gerektirmektedir. Cephe tasarımında gölgeleme-günüşiği kontrolü, mahremiyet-manzara erişimi, aşırı ısınma riski-yapay aydınlatma gibi birbiri ile çelişebilecek tasarım senaryolarını dengeli bir şekilde karşılayabilecek yaklaşımlar cephenin performansını belirlemektedir (Tabadkani vd., 2021). Bu nedenle çevresel bağlamda cephe tasarımlarının sürdürülebilir hedeflere ulaşması için değerlendirilmesi gereken önemli parametreler bulunmaktadır.

Bu bağlamda binaların belli parametrelerle performanslarının değerlendirilebilmesi için çeşitli standartlar ve şematik çerçeveler geliştirilmiştir. Bunlar arasında, binaların sürdürülebilir performanslarını değerlendiren LEED, BREEAM, DGNB gibi yeşil bina sertifika yer almaktadır. Fakat bu sertifikalar da kullanılan değerlendirme kriterleri yeni binalarla birlikte farklı ölçeklerde ve kullanım tipinde projelerin değerlendirilmesini de sağlayan geniş kapsamda kriterler bulundurmaktadır. Tez kapsamında cephelerin sürdürülebilir performanslarının değerlendirileceği düşünüldüğünde Şekil 4.3'te belirtilen kriterler ön plana çıkmaktadır.

Binaların Sürdürülebilirliği



Şekil 4.3. Binaların Sürdürülebilirlik Parametreleri (Şekil yazar tarafından oluşturulmuştur.)

Şekil-4.3.'te belirlenen kriterler cephelerin sürdürülebilirlik parametrelerinin ana kategorilerini oluşturmaktadır. Bu ana kategorilerin alt kategorileri oluşturulurken, yeşil bina sertifikalarının ilgili başlıklarında, cephenin sürdürülebilir performans gösterebileceği alt kategoriler seçilmiş ve diğer sertifikalardaki seçilen başlıklarla karşılaştırılarak farklılık gösteren alt kategorilerin hepsini kapsayacak bir başlık belirlenmiştir.

4.2.1 İç mekân kalitesi

Araştırmalar, gelişmiş ülkelerde insanların zamanlarının ortalama %90'ını iç mekânlarda geçirdiklerini göstermektedir (Allen vd., 2017). Bu durum iç mekân kalitesini, kullanıcı konforu ve sağlığı açısından temel bir belirleyici haline getirmiştir. Termal konfor, akustik denge, görsel uygunluk ve iç hava kalitesi gibi faktörler kullanıcı konforunu sağlaması bakımından kalite düzeyini doğrudan etkilemektedir. Bu koşulların istenen düzeyde sağlanması çeşitli teknik bina ekipmanları tarafından giderilmektedir. GlobalABC(2020)'nin raporuna göre binaların işletme sürecindeki elektrik tüketimi, küresel elektrik tüketiminin yaklaşık %55'ini temsil ettiği ifade edilmiştir (GlobalABC,2020). Kullanıcı konforunun sürdürülebilir bir şekilde sağlanması için cephelerin cephenin değişen çevre koşullarına ve kullanıcı ihtiyaçlarına esnek ve uyarlabilir şekilde yanıt vermesi gerekmektedir.

Yeşil bina sertifikalarında; “İç Mekân Kalitesi (LEED), Sağlık ve Konfor (BREEAM), Sosyokültürel ve İşlevsel Kalite (DGNB)” ana kategorilerde iç mekân kalitesi ile ilgili çeşitli alt kategoriler yer almaktadır. Bu alt kategorilerden de cephe tasarımı ile ilişkili olanlar belirlenerek, Tablo 4.4'te karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Tablo 4.4. İç Mekân Kalitesinin Yeşil Bina Sertifikalarındaki Alt Kategorileri (Tablo yazar tarafından; USGBC, 2025; BREEAM, 2016; (http-17) kaynaklarından uyarlanarak oluşturulmuştur.)

	LEED Sertifikası (İç Mekân Kalitesi Kategorisi)	BREEAM Sertifikası (Sağlık ve Konfor Kategorisi)	DGNB Sertifikası (Sosyokültürel ve İşlevsel Kalite Kategorisi)
İç Hava Kalitesi	- İç Ortam Hava Kalitesi	- İç Mekân Hava Kalitesi	- İç Mekân Hava Kalitesi
Termal Konfor	- Termal Konfor	- Termal Konfor	- Termal Konfor
Görsel Konfor	- Manzara Erişimi - İç Mekân Aydınlatması - Güneşli Kullanımı	- Görsel konfor	- Görsel konfor
Akustik Performans	- Akustik Performans	- Akustik Performans	- Ses Yalıtımı ve Akustik Konfor

Alt kategoriler incelendiğinde; iç mekân hava kalitesi, termal konfor ve akustik performans gibi parametrelerin ortak olduğu görülmektedir. Ayrıca BREEAM ve DGNB’de yer alan “görsel konfor” parametresinin LEED’de “İç Mekân Aydınlatması, Güneşli Kullanımı ve Manzara Erişimi” olmak üzere üç farklı parametrede temsil edildiği görülmektedir. Sonuç olarak İç Mekân Kalitesi’nin kategorisinin alt başlıklarında “İç Ortam Hava Kalitesi, Termal Konfor, Görsel Konfor ve Akustik Performans” yer almaktadır (Şekil 4.4).

- İç hava kalitesi; iç mekândaki havanın sağlık açısından temiz ve solunabilir olmasının,
- Termal konfor; kullanıcıların sıcaklık, nem ve hava akımı açısından kendini rahat hissetmesinin,
- Görsel konfor; doğal ve yapay ışığın yeterli, dengeli ve göz sağlığına uygun nitelikte olmasının,
- Akustik performans; ortamdaki ses düzeyinin konfor koşullarına uygun olmasının değerlendirildiği parametrelerdir.



Şekil 4.4. Cephenin İç Mekân Kalitesi Parametreleri (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

4.2.1.1. İç hava kalitesi

İç hava kalitesini içerden ve dışardan birçok etmen olumsuz şekilde etkileyebilmektedir. Bunlardan başlıcaları şunlardır;

- Dış ortamda üretilip iç ortama taşınan kirleticiler,
- Mekânın ısıtılması, yemek pişirme ve diğer iç mekân faaliyetleri,
- İç mekânda kullanılan ürünlerden yayılan kirleticiler,
- Yetersiz havalandırma.

İç hava kalitesinin istenen düzeyde olmaması, akciğer ve solunum yolu hastalıkları başta olmak üzere çeşitli sağlık sorununu da beraberinde getirmektedir (WHO, 2010). Ayrıca kötü iç mekân hava kalitesinin kullanıcıların verimliliğini, bilişsel işlevlerini ve üretkenliğini de azalttığı belirtilmektedir (Igwe vd., 2022). İç hava kalitesini arttırmak için hava temizleme sistemleri, mekanik havalandırma ve doğal havalandırma dahil olmak üzere çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Hava temizleme sistemlerinin performansında kirleticinin türü, sistem tasarımı ve bakımı; mekanik havalandırmalarda enerji tüketimi ve bakım gerekliliği; doğal havalandırmalarda ise dış koşullara bağımlılık göz önünde bulundurulması gereken faktörlerdir (Jarrahi vd., 2024). Sistemlerin avantaj ve dezavantajları dikkate alınarak, her bina için doğru sistemlerin tercih edilmesi maksimum verimin alınabilmesi açısından önemlidir.

Binalarda doğal havalandırma için kullanılan en basit ve yaygın yöntem, cephelerde yer alan hava menfezleri ve pencerelerle sağlanmaktadır. Mekanik havalandırma ise genellikle merkezi havalandırma sistemleri ile sağlanmaktadır. Bu sistemler yüksek enerji tüketimi ve bakım maliyetine sebep olmaktadır. Uyarlanabilir cepheler, doğal ve mekanik havalandırmanın cepheye entegre edilen bir sistem aracılığıyla verimli bir şekilde sağlanmasına imkân sunabilmektedir (Borschewski vd., 2023). Örneğin; çift katmanlı cephelerde doğal veya mekanik olarak havalandırılan katmanlar arası boşluk, mikro iklim

koşullarının istenmeyen etkilerine karşı bir bariyer görevi görmektedir (Ghaffarianhoseini vd., 2016). Ayrıca çift katmanlı cephelere; güneş kırıcılar, fotovoltaik paneller, otomatik pencereler gibi farklı sistemlerin entegrasyonunun sağlanabilmesi, cephenin çok yönlü sürdürülebilirliğine katkı sunabilmektedir.

4.2.1.2. Görsel konfor

Görsel konfor; verimli, üretken çalışmanın ve genel yaşam kalitesinin temelini oluşturmaktadır. BREEAM ve DGNB sertifikalarında yer alan görsel konfor, LEED sertifikasında; manzara erişimi, iç mekân aydınlatması ve gün ışığı kullanımı olmak üzere üç alt kategoriye kapsamaktadır. Görsel konforun amacı; sürekli kullanımda olan tüm iç mekânlarda yeterli ve kesintisiz gün ışığı-yapay ışık dengesinin sağlanmasıdır (DGNB, 2020). Bu dengeyi sağlarken de kullanıcıların manzara erişiminin kısıtlanmaması gerekmektedir. Bu nedenle temel kriter gün ışığının doğru tekniklerle verimli kullanımıdır. IEA (2006)'nın raporunda OECD ülkelerinde aydınlatmanın, üçüncül sektördeki elektrik tüketiminin %34'ünü, konutlardaki elektrik tüketiminin ise %14'ünü oluşturduğu, OECD üyesi olmayan ülkelerde bu payların genellikle daha yüksek olabileceği ifade edilmiştir (IEA, 2006). Dolayısıyla yapay aydınlatma ihtiyacının en aza indirilmesi önemli bir potansiyel enerji tasarrufu sağlayacaktır. Ayrıca doğal ışık, kullanıcıların zihinsel ve fiziksel sağlığı üzerinde de olumlu bir etkiye sahiptir (DGNB, 2020). Fakat doğal ışık, kullanıcı refahının yanında parlamaya da sebep olabilmektedir (Liu vd., 2021). Görsel konforun sürdürülebilir şekilde sağlanabilmesi için gün ışığının iç mekâna kontrollü girişinin sağlanması gerekmektedir.

Gökyüzü dinamik bir ışık kaynağı olduğu için doğal ışığın mekânsal dağılımı; yalnızca hava koşulları ve güneşin hareketlerinden değil, bulutların hareketi ve çevredeki dış yüzeylerden gelen yansımalar dahil olmak üzere pek çok değişkenden etkilenmektedir. Bu değişkenler, konfor koşullarının bir gerekliliği olarak kısa veya uzun vadede iç mekânda güneş ışığının varlığı veya yokluğu gibi farklı senaryoları hazırlığı gerektirebilmektedir (Ruck, 2004). Görsel konforun sağlanabilmesi için cephe, tüm tipik koşullar altında iyi performans göstermelidir. Uyarlanabilir cephelerde, değişken koşullar altında maksimum gün ışığı verimliliğini almak için pasif ve aktif çeşitli gün ışığı yönlendirme stratejileri uygulanmaktadır. Örneğin; cepheye yerleştirilen sabit veya dinamik güneş kırıcılar, gün ışığının kontrollü bir şekilde iç mekâna alınmasını sağlamaktadır. Sabit güneş kırıcılar, hava koşullarının çok fazla değişkenlik

göstermediği, sabit ve uzun süreli güneş ışınlarının etkili olduğu koşullarda iç mekandaki parlamayı önlemektedir (Görsel 4.3). Genellikle en kötü durum senaryosuna göre yerleştirilmektedir (Konstantoglou ve Tsangrassoulis, 2016). Dinamik güneş kırıcılar, gün içinde değişiklik gösteren koşullara motor, sensör ve otomatik kontrol yardımıyla hızlı bir şekilde uyum sağlayabilmektedir. Fakat sabit güneş kırıcılar fazla değişken koşullarda, dinamik güneş kırıcılar enerji verimliliği konusunda olumsuz sonuçlar verebilmektedir. Sistemlerin avantaj ve dezavantajları göz önünde bulundurularak her bina için doğru cephe sistem tercihi, bu değerlendirme kategorisinin verimliliği açısından önemlidir.



Görsel 4.3. UTC Binası'nın Cephesindeki Sabit Güneş Kırıcılar (<http-18>)

4.2.1.3. Termal konfor

Termal konfor, kullanıcıların termal ortamdan memnuniyet durumunu ifade etmektedir. İdeal termal konfor koşulları, kullanıcının termal ortamdan memnuniyetini ve çok soğuk veya çok sıcak hissettiğini kolay bir şekilde tanımlayabildiğinde ortaya çıkmaktadır (BREEAM, 2023). Termal konforu etkileyen birçok çevresel ve kişisel faktör bulunmaktadır. Başlıca çevresel faktörler, hava sıcaklığı, çevre yüzeylerle radyasyon alışverişinden kaynaklanan radyasyon sıcaklığı, hava akışı ve bağıl nem; kişisel faktörler ise bina sakinlerinin sağlığı, fiziksel aktiviteleri ve giysisilerdir. Hem yüksek hem de düşük hava sıcaklıkları rahatsızlığa ve sağlık sorunlarına neden olabilmektedir (BREEAM, 2022; BREEAM, 2023). Termal konforun amacı; bina sakinleri için konforlu bir termal ortam sağlayacak gerekli kontrolleri tasarlayarak ve seçerek ideal koşulların elde edilmesidir (BREEAM, 2022).

ASHRAE Standart 55-2017'ye göre insanların bulunduğu ortamdaki termal konforun sağlanması için uygun sıcaklığın yaklaşık 20-28°C arasında olduğu belirtilmiştir (http-19) İç mekandaki ideal termal koşulların sağlanması için HVAC sistemlerine harcanan enerji ise binaların toplam enerji tüketiminin %38'ini oluşturmaktadır (González-Torres vd., 2022). Bina sakinlerinin konforundan ve dolayısıyla sağlık ve refahından ödün vermeden ideal koşulların sağlanması için binaların enerji performanslarını artıracak çözümler gerekmektedir.

İç hava kalitesi ve görsel konforun sağlanması için geliştirilen çözümler bazı durumlarda termal konforu da etkileyebilmektedir. Bu nedenle, ağırlıklı olarak termal konfora odaklanan çözümler de diğer kriterleri olumsuz etkileyebilmektedir. Örneğin; iç hava kalitesini artıracak doğal havalandırma, soğutma sistemlerine duyulan ihtiyacı azaltılabileceği gibi ısı kaybına da yol açabilmektedir. Aynı şekilde, parlamaya sebep olabilecek gün ışığı belli zamanlarda iç mekânda aşırı ısınmaya sebep olabileceği için gölgeleme gerektirse de gölgeleme elemanlarının sıklığı manzara erişimini de kısıtlayabilmektedir. Bu nedenle termal konforun sağlanması, diğer değerlendirme kriterleri de göz önünde bulundurularak kapsamlı bir şekilde ele alınmalıdır.

Bu kapsamda geliştirilen uygulamalardan birisi de üzerlerine uygulanan elektrik akımı, ışık ya da ısıya karşı ışık geçirgenliğini değiştirebilen akıllı camlardır. Bu tür camlar, opaklığında geri dönüştürülebilir değişiklikler yaparak, görünür ışığın geçişine izin verirken, ışığın bazı dalga boylarını engellemektedir. Akıllı camlar, bina cephelerinde kullanıldığında yapay aydınlatma ve HVAC maliyetlerini azaltma yeteneğine sahip uyarlanabilir bina zarflarını oluşturmaktadır (Harry, 2016).

4.2.1.4. Akustik performans

Akustik, insan kulağı tarafından algılanabilen veya uzaydaki bir noktada bir mikrofonla ölçülen basınç dalgalanması ile ifade edilebilen sesin bilimsel çalışmasıdır. Buna karşılık, “gürültü” istenmeyen ses olarak kabul edilmektedir (Mak ve Wang, 2015). WHO (2011), gürültü kirliliğinin insanlar üzerinde kardiyovasküler hastalıklar, uyku bozukluğu, kulak çınlaması, sıkıntı hali, çocuklarda bilişsel bozukluk gibi sağlık sorunlarına neden olabileceğini ifade etmiştir (WHO, 2011).

Binalar, çoğunlukla trafikten kaynaklanan ve ses düzeyinde sık ve belirgin değişimlerin olduğu çevresel gürültüye maruz kalmaktadır (Aelenei, Aelenei ve Vieira 2016). Binaların; ses yalıtımı da dahil olmak üzere akustik performansının amacına uygun

standartları karşılaması gerekmektedir (BREEAM, 2023). Bu kapsamda cephelerde, ses tasarımı ve gürültü kontrolü uygulaması, iç mekânda yeterli akustik konforun elde edilmesinde temel bir rol oynayabilmektedir (Aelenei, Aelenei ve Vieira, 2016). Örneğin, çift katmanlı cephe sistemleri dış ve iç katman arasında yer alan hava boşluğu sayesinde ses yalıtımı sağlayabilmektedir. Fakat bu yalıtımın sağlanabilmesi; kaplamaların malzeme özellikleri, boşluk ve açıklıkların boyutu, akustik kontrol cihazlarının olası kullanımı gibi çeşitli sistem parametrelerine bağlıdır. Aksi halde binanın içine iletilen gürültünün artmasına da sebep olabilmektedir (Hu, Maxit ve Cheng, 2021). Dolayısıyla ideal akustik performansa ulaşabilmek için uygun uyarlanabilir cephe sistemi tercihinin yanında doğru tasarım ilkelerinin uygulanması ve malzeme seçimi de önemlidir (Hu, Maxit ve Cheng, 2021).

4.2.2 Enerji yönetimi

Binalar, küresel enerji tüketiminin %34'ünü ve karbon emisyonlarının %37'sini oluşturmaktadır (UNEP,2022). Dolayısıyla, binaların enerji tüketiminin ve karbondioksit emisyonunun azaltılması sürdürülebilir bir çevre için inşaat sektörünün çözmesi gereken en önemli iki konudur. Bunun, uygun maliyet ve kullanıcı konforundan ödün vermeyecek şekilde ele alınması da çözümü kadar önemlidir (Loonen vd., 2015). Binanın enerji akışını etkileyen en önemli unsurlardan biri, cephenin tasarım özellikleridir. Cepheler, çevresel değişkenlere ve farklı koşullara göre, önceden tanımlanmış parametreler, hedefler ve standartlar doğrultusunda çeşitli tepkiler verebilmektedir. Cephenin performans kriterlerinin dikkatlice planlanması, çevresel faktörlere bağlı olarak enerji kaynaklarının etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır.

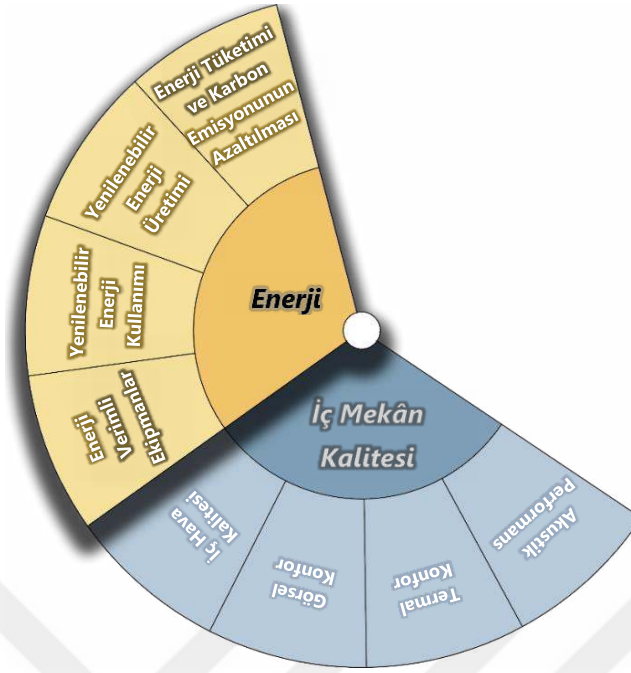
Yeşil bina sertifikalarında; “Enerji ve Atmosfer/İç Mekân Kalitesi (LEED), Enerji (BREEAM), Çevresel Kalite (DGNB)” ana kategorilerde enerji ile ilgili çeşitli alt kategoriler yer almaktadır. Bu alt kategorilerden de cephe tasarımı ilişkili olanlar belirlenerek, Tablo 4.5’te karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Tablo 4.5. Enerjinin Yeşil Bina Sertifikalarındaki Alt Kategorileri (Tablo yazar tarafından; USGBC, 2025; BREEAM, 2016; (http-17) kaynaklarından uyarlanarak oluşturulmuştur.)

	LEED Sertifikası (Enerji ve Atmosfer / İç Mekân Kalitesi Kategorisi)	BREEAM Sertifikası (Enerji Kategorisi)	DGNB Sertifikası (Çevresel Kalite)
Enerji Tüketimi ve Karbon Emisyonlarının Azaltılması	- Enerji Performansının Optimize Edilmesi - Düşük Emisyonlu Malzeme	- Enerji Kullanımı ve Karbon Emisyonlarının Azaltılması - Düşük Karbonlu Tasarım	- İklim Koruma ve Enerji
Enerji Verimli Ekipmanlar	- Soğutucu Akışkan Yönetimi	- Enerji Verimli Ekipmanlar	
Yenilenebilir Enerji Üretimi	- Yenilenebilir Enerji Üretimi		
Yenilenebilir Enerji Kullanımı	- Yeşil Güç ve Karbon Dengesi		

Üç sertifika da enerji kategorisinin alt parametrelerini farklı şekilde detaylandırmış olsa da ana hedefleri enerji tüketiminin azaltılması, yenilenebilir enerji kullanımının teşvik edilmesi ve binaların çevreye olumsuz etkilerinin en aza indirilmesidir. Bu kapsamda, “Enerji Kullanımı ve Karbon Emisyonunun Azaltılması, Yenilenebilir Enerji Üretimi, Yenilenebilir Enerji Kullanımı ve Enerji Verimli Ekipmanlar” olmak üzere cephelerin enerji performanslarının değerlendirileceği dört alt parametre oluşturmak mümkündür (Şekil 4.5).

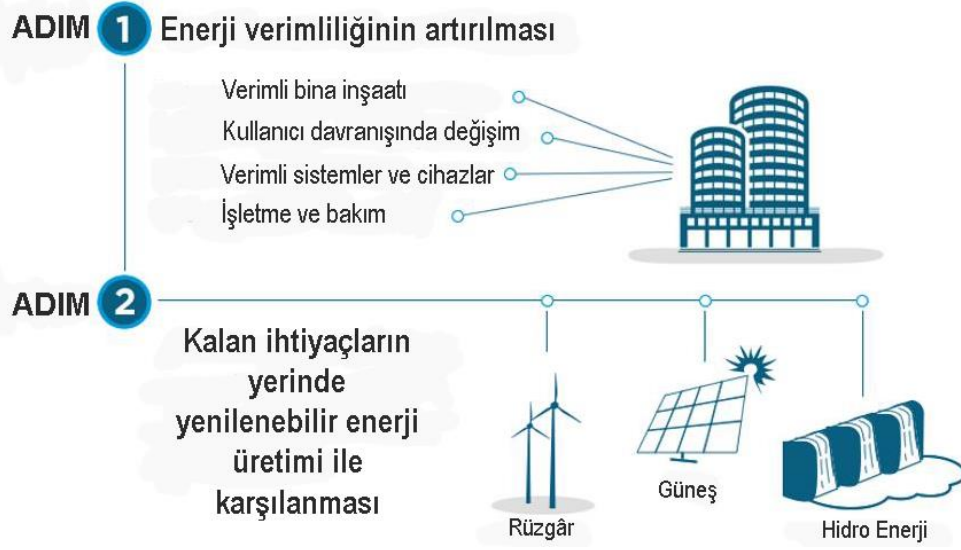
- Enerji Kullanımı ve Karbon Emisyonunun Azaltılması; binanın enerji tüketiminin optimizasyonunun ve karbon salınımını azaltacak çözümlerin,
- Yenilenebilir Enerji Üretimi; yenilenebilir kaynaklardan enerji üretiminin sağlanmasının,
- Yenilenebilir Enerji Kullanımı; binanın enerji ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması ve fosil yakıtlara olan bağılılığın azaltılmasının
- Enerji Verimli Ekipmanlar; enerji tüketimi düşük, verimli çalışan ve binanın enerji tüketimini azaltan ekipmanların değerlendirildiği parametrelerdir.



Şekil 4.5. Cephenin Enerji Performans Parametreleri (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

4.2.2.1. Enerji tüketimi ve karbon emisyonunun azaltılması

Enerji tüketimi ve karbon emisyonunun azaltılması, binanın enerji performansının değerlendirilmesine yönelik oluşturulan alt kategorilerin temelini oluşturmaktadır. Sertifika sistemlerinde de bu kapsamda yer alan kategoriler daha yüksek kredi puanları ile ödüllendirilmektedir. Bunun sebebi; sertifika sistemlerinin enerji konusundaki öncelikli hedefinin net sıfır enerjiye sahip binaları teşvik etmek olmasıdır. Bu hedefe ulaşabilmek için binaların enerji verimliliğinin artırılıp, karbon emisyonlarının azaltılması büyük önem taşımaktadır. (http-20) Enerji talebinin azaltılması ve verimliliğin artırılması, binanın geriye kalan enerji ihtiyacının yenilenebilir kaynaklardan karşılanmasını sağlayacak uygulamaları da uygun maliyetli hale getirmektedir (USGBC, 2014) (Şekil 4.6). Binalarda enerji verimliliğinin sağlanması, enerji tüketiminden kaynaklanan karbon emisyonlarının da önemli ölçüde düşmesine katkı sunacaktır.



Şekil 4.6. Binalarda Net Sıfır Enerji Hedefinin Temel Adımları (http-21)

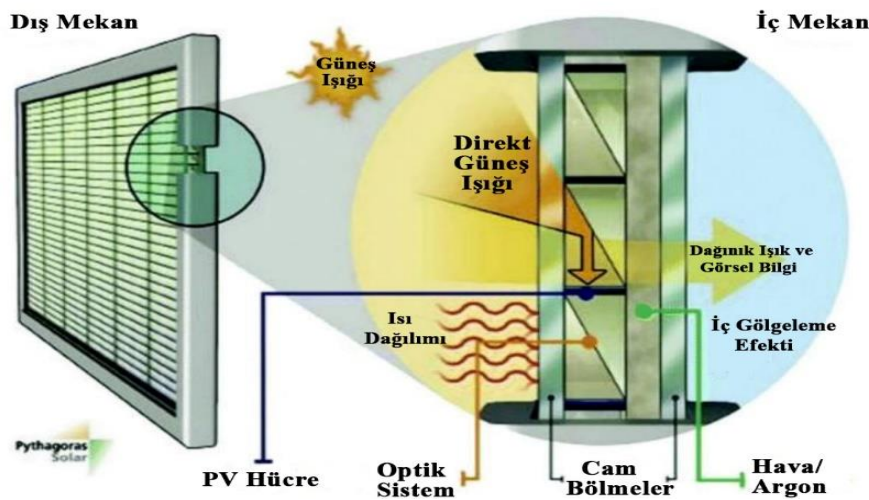
Karbon emisyonlarının azaltılmasındaki bir diğer önemli faktör malzeme tercihidir. Malzeme seçimi yapılırken üretim süreci, nakliyesi, montajı ve bina yıkımından sonra oluşturduğu inşaat atığının çevresel etkileri göz önünde bulundurulmalıdır. Yapı malzemeleri arasından çimento ve çelik binaların karbon emisyonuna en çok katkıda bulunan malzemelerdir (Wang vd., 2024). Bu nedenle binalarda, karbon ayak izi düşük ve geri dönüştürülebilir malzemeler tercih edilmelidir. Bu kapsamda cephelerden beklenen performans; düşük karbonlu tasarım anlayışıyla ısıtma, soğutma ve aydınlatma için harcanacak enerji tüketiminin düşürülmesidir.

4.2.2.2. Yenilenebilir enerji üretimi

Fosil yakıtlar, çevre ve insanlık üzerinde olumsuz etkileri olan yenilenemeyen kaynak türüdür. Fosil yakıtların %75'i ısıtma ve enerji üretimi, %20'si yakıt, kalanı ise kimyasal ve malzeme üretimi için tüketilmektedir (Pang vd., 2023) 2025 yılı ocak ayı itibariyle toplam net elektrik üretiminin yaklaşık olarak %50'si fosil yakıtlardan, %35'i ise yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşmaktadır (http-22). Binaların küresel enerji tüketimindeki payı göz önünde bulundurulduğunda yenilenebilir enerji üretiminin binalara entegrasyonu elektrik üretiminde fosil yakıtı bağımlılığı azaltmak için önemlidir. 2014 yılında fosil yakıtların toplam elektrik üretimindeki payının %59 olduğu düşünüldüğünde, günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarına bir yönelim söz konusu ve binaların bu dönüşüme uyum sağlamaları sürdürülebilir çevre için önemlidir (http-23).

Bu konuda bina cepheleri, çevresel enerji kaynaklarını toplamak ve kullanmak için önemli bir potansiyele sahiptir.

Bina cephelerinde genellikle güneş ve rüzgâr enerjisinden yararlanılarak enerji üretimi yapılmaktadır. Güneş enerjisinden elektrik üretimi, binaların yüzeyine entegre edilen fotovoltaik (PV) sistemler ile sağlanmaktadır. Binaya entegre fotovoltaikler BIPV (Building-Integrated Photovoltaics) olarak adlandırılmaktadır. Camın içine yerleştirilen bir fotovoltaik hücre uygulamasını ele alacak olursak; Şekil 4.7’de görüldüğü üzere cephe, enerji üretimi ile birlikte gölgeleme ve ısı yalıtım imkânı da sunmaktadır. Camlara yerleştirilen fotovoltaik hücreler, güneş ışınının doğrudan iç mekâna girişini önleyerek ısı emilimi ve mekâna dağınık ışık girişini sağlamaktadır. Soğuk havalarda pasif strateji olarak, yalıtım malzemesi ısı kaybını önlemekte, çift veya üç camlı cepheler sıcaklıkları izole etmektedir. Aktif strateji olarak, soğuk havalarda camlı paneller arası mesafe kısaltılarak gaz sıkıştırılır ve daha sıcak hale getirilir; sıcak havalarda ise paneller birbirinden uzaklaştırılır böylece dış mekandaki olumsuz hava koşullarından iç mekânın izolasyonu sağlanmaktadır (Jalloul, 2020). Yarı iletken malzemeler yardımıyla güneş ışınını elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik paneller aktif bir sisteme sahiptir. Ayrıca çift cidarlı cephelere ve aktif gölgeleme cihazlarına entegre edilerek çok yönlü sürdürülebilir fayda sunan farklı modelleri bulunmaktadır. Bu bakımdan fotovoltaik panellerin bina cephelerinde kullanılma şekilleri de cephelerin sürdürülebilirliğinin değerlendirilmesi açısından önemlidir.



Şekil 4.7. Fotovoltaik Hücre İçinde Işığın Difüzyonu (Jalloul, 2020)

Güneş ışığından yararlanılamayan veya kısıtlı yararlanılan durumlarda, rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi önemli bir alternatif oluşturmaktadır. Bu işlem cephelere yerleştirilen rüzgâr türbinleri ile sağlanmaktadır. Rüzgâr türbinleri, rüzgârın kanatları çevirmesiyle oluşan mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Görsel 4.4’de görülen rüzgâr türbinleri, katlanabilir özelliği ile olumsuz hava koşullarında ve çalışmadığı zamanlarda cepheye gizlenebilmektedir.



Görsel 4.4. Katlanabilir Rüzgâr Türbini (Jalloul, 2020)

4.2.2.3. Yenilenebilir enerji kullanımı

Yenilenebilir enerji denildiğinde genellikle güneş, rüzgâr, gelgit, biyokütle ve jeotermal enerjinin yanı sıra bazı hidroelektrik enerji türleri anlaşılmaktadır. Bu enerji kaynaklarının kullanımı, kömür, nükleer enerji, petrol ve doğal gaz gibi yenilenemeyen yakıtların üretimi ve tüketimi ile ilişkili birçok çevresel etkiyi önlemektedir (USGBC, 2014). Binalarda yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmak, yalnızca enerji üretimi ile sınırlı değildir. Karbon dengesinin sağlanması için çevresel faktörleri, tasarımda bir engel olarak tanımlamak yerine onlardan maksimum verim alınmasını sağlayacak çözümler geliştirilmelidir. Böylece, enerji tüketimi azaltılırken, sistemlerin sürdürülebilirlik performansı arttırılmaktadır. Uyarlanabilir cephelerde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında genellikle güneş ve rüzgâr enerjisinden yararlanılmaktadır (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Uyarlanabilir Cephelerde Güneş ve Rüzgâr Enerjisinden Yararlanma Çeşitleri (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

Güneş enerjisinin iç mekâna kontrolsüz girişi, parlamaya ve iklimlendirme için harcanacak enerji miktarının artmasına sebep olmaktadır. Uyarlanabilir cepheler, aktif veya pasif sistemler yardımıyla güneşin konumuna ve mevsim durumuna göre gün ışığını yönlendirerek iç mekâna kontrollü girişini sağlamaktadır. Bu durum, yapay aydınlatma ve iklimlendirme sistemlerine harcanacak enerji tüketimini azaltmaktadır. Aynı şekilde rüzgâr kontrolünün sağlanamaması, cephe elemanlarının aşınmasına, bakım masraflarının artmasına ve enerji kayıplarına yol açarken; rüzgâr kontrolü ile iç mekâna temiz hava girişi ve iklimlendirme sistemine harcanacak enerjiden tasarruf sağlanmaktadır.

4.2.2.4. Enerji verimli ekipmanlar

Bu alt kategori, yapının operasyonel enerji tüketimini azaltan sistem ve cihazlara odaklanmaktadır. Bina hizmet sistemlerine entegre olmayan ancak operasyonel enerji tüketimine etki eden ekipmanların enerji verimliliği değerlendirilmektedir. Kategorinin amacı; bina işletiminde optimum performans ve enerji tasarrufunun sağlanması için enerji verimli ekipman kurulumunu teşvik etmektir. Ekipmanların enerji verimliliğinin değerlendirilmesi için üç adım izlenmektedir (BREEAM, 2016):

- Binada kullanılan ekipmanların enerji tüketiminin hesaplanması ve yıllık toplam enerji tüketiminin, belirlenen standartlar üzerinden değerlendirilmesi
- Bina işletmesinde, ekipmanların harcadığı enerjinin önemli bir kısmını oluşturan sistemlerin veya süreçlerin belirlenmesi

- Binada kullanılan ekipmanların yıllık enerji tüketiminde önemli bir azalma olduğunun gösterilmesi

Bina cepheleri açısından enerji verimli ekipmanlar kategorisi, cephenin sürdürülebilir performansının artırılmasına katkı sunan ve cephenin farklı bölümlerinde (önde, entegre (katmanlar arası), arkada) konumlanan yardımcı sistemlerin verimliliğinin değerlendirilmesini kapsamaktadır. Uyarlanabilir cephelerde kullanılan otomatik gölgeleme sistemleri bu uygulamalardan birisidir. Otomatik gölgeleme sistemleri, aktif bir sisteme sahiptir ve harekete geçmek için enerji tüketimi gerektirmektedir. Sistemin verimliliği, tükettiği enerji ile iç mekânda teknik bina ekipmanları tarafından harcanacak enerjiden sağladığı tasarruf arasındaki orantıya göre değerlendirilmektedir.

4.2.3. Malzeme Kullanımı

Küresel malzeme kullanımının 2060 yılına kadar iki katından fazla artması beklenmektedir (OECD, 2019). Bina ve inşaat sektöründe kullanılan malzemeler bu artışın üçte birini oluşturmaktadır (GlobalABC, 2020). Bu nedenle binalarda malzeme kullanımının azaltılması ve yerel malzemelerin tercih edilmesi, malzemenin kullanım ömrü dolduktan sonra geri dönüştürülebilir ve yeniden kullanılabilir olması, dış etmenlere karşı dayanıklı ve esnek malzemeler seçilmesi gerekmektedir. Bu ana kategori de cephelerdeki malzemenin sürdürülebilirliği ve cephelerin verimliliğini artıracak şekilde kullanımı değerlendirilecektir.

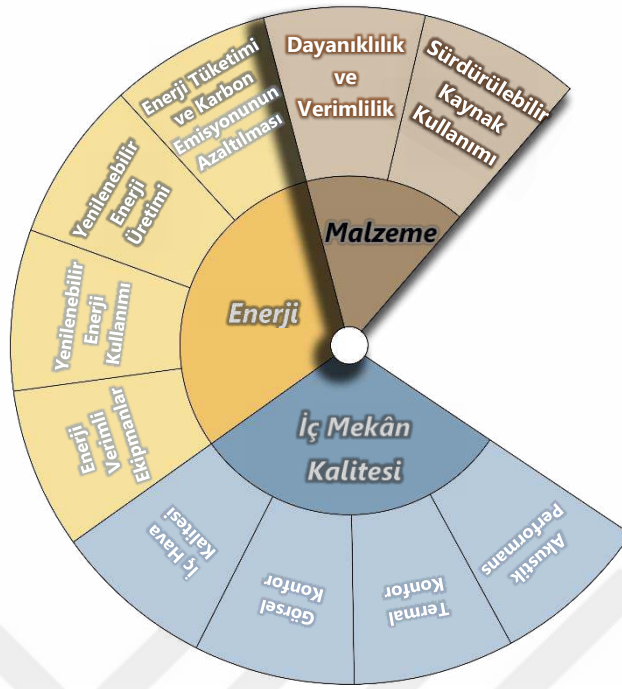
Yeşil bina sertifikaları; “Malzeme ve Kaynaklar Kategorisi (LEED), Malzeme Kategorisi (BREEAM), Çevresel Kalite/Ekonomik Kalite Kategorisi (DGNB)” ana kategorilerinde malzeme ile ilgili çeşitli alt kategoriler yer almaktadır. Bu alt kategorilerden de cephe tasarımı ilişkili olanlar belirlenerek, Tablo 4.6’te karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Tablo 4.6. Malzemenin Yeşil Bina Sertifikalarındaki Alt Kategorileri (Tablo yazar tarafından; USGBC, 2025; BREEAM, 2016; (http-17) kaynaklarından uyarlanarak oluşturulmuştur.)

	LEED Sertifikası (Malzeme ve Kaynaklar Kategorisi)	BREEAM Sertifikası (Malzeme Kategorisi)	DGNB Sertifikası (Çevresel Kalite/Ekonomik Kalite Kategorisi)
Sürdürülebilir Kaynak Kullanımı	- Hammadde Temini - Malzeme İçerikleri	- Malzemenin Sorumlu Tedariki - Yalıtım	- Sürdürülebilir Kaynak Çıkarımı
Dayanıklılık ve Verimlilik	- Esneklik için Tasarım	- Malzeme Verimliliği - Dayanıklılık ve Esneklik için Tasarım	- İklim Dayanıklılığı

Sertifikaların farklı alt kategorileri, temelde malzemenin seçimi ve performansı olmak üzere iki konuya odaklanmaktadır. Bu kapsamda; malzemelerin seçimi ve kullanımına odaklanan “Sorumlu Kaynak Kullanımı” ve malzemenin performansına odaklanan “Dayanıklılık ve Verimlilik” olmak üzere iki alt parametre oluşturmak mümkündür (Şekil 4.9).

- Dayanıklılık ve Verimlilik; kullanım ömrü uzun ve verimli malzeme kullanımının,
- Sorumlu Kaynak Kullanımı; olumsuz çevresel etkisi en az olan, geri dönüştürülebilir, yerel malzeme seçimi ve tedarikinin değerlendirildiği parametrelerdir.



Şekil 4.9. Malzeme Performansı Alt Parametreleri (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

4.2.3.1. Sürdürülebilir Kaynak Kullanımı

Malzemelerin; elde edilme (örneğin ham maddelerin çıkarılması ve işlenmesinden kaynaklanan sera gazı emisyonu), kullanım (örneğin fosil yakıtların yakılmasından kaynaklanan hava kirliliği) ve bertaraf edilme (örneğin atıkların düzenli depolanmasından kaynaklanan hava, toprak ve su kirliliği) süreçlerinin çeşitli sonuçları bulunmaktadır (OECD, 2019). İnşaat sektörü, dünyadaki ham maddelerin yaklaşık %60'ını tüketmektedir (Bribián, Capilla ve Usón, 2011). Çelik ve demir endüstrisi ile çimento endüstrisinin küresel karbon emisyonunun sırasıyla %7'sini ve %5-10'unu oluşturmaktadır. Örneğin çelik geri dönüştürülebilir bir malzeme olsa da üretim aşamasında çok fazla enerji tüketimi gerektirmektedir (Hossain ve Poon, 2018). Bu nedenle tasarım aşamasında sürdürülebilir malzemelerin tercih edilmesi, binalardan kaynaklanan çevresel etkilerin azaltılmasına katkı sunacaktır.

Bu kategorinin amacı; çevresel, ekonomik ve sosyal olarak tercih edilebilir yaşam döngüsü etkisine sahip, sürdürülebilir standartlara uygun ham madde tedariği ve malzeme kullanımını teşvik etmektir (http-24) (DGNB, 2020). Bu kapsamda cephelerde kullanılan malzemelerin üretim aşamasında sebep olduğu karbon emisyonunun düşük olması, yerel kaynaklardan seçilmesi, geri dönüştürülebilir ve yenilenebilir olması gerekmektedir (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Cephede kullanılacak sürdürülebilir malzemenin kriterleri (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

4.2.3.2. Dayanıklılık ve Verimlilik

Bir binanın, özellikle cephesi darbe, yapısal bozulma, aşınma ve yıpranma nedeniyle hasar görme riski taşımaktadır. Bu durum, bina ömrü boyunca malzeme kullanımını arttırmakta ve atık oluşumuna sebep olmaktadır. Bina bileşenlerinin değiştirilme sıklığını en aza indirmek için malzeme optimizasyonunu en üst düzeye çıkarmak gerekmektedir (BREEAM, 2020). Cephede dayanıklı malzemelerin tercih edilmesi, kullanım ömrünün artmasını ve bakım maliyetlerinin düşmesini sağlayacaktır.

Malzeme kullanımının ve oluşturduğu atıkların çevresel etkilerinin en aza indirilmesi için binanın yapısal sağlamlığından, dayanıklılığından veya hizmet ömründen ödün vermeden malzeme verimliliğinin de artırılması gerekmektedir (BREEAM, 2016). Bu da aynı sonucun daha az miktarda ve daha işlevsel malzeme kullanımı ile sağlanması anlamına gelmektedir. Bu kapsamda, uyarlanabilir cephelerde oda sıcaklığında özgül ısı kapasitelerini değiştirebilen faz değişim malzemeleri (PCM) kullanılmaktadır.

PCM'ler belli sıcaklık altında faz değiştirirken (katıdan sıvıya veya tersi), enerjinin malzemede ısı şeklinde depolanmasını veya serbest bırakılmasını sağlamaktadır. Sıcaklık arttığında malzeme sıvı hale geçerek ısıyı depolamakta, tersi durumda da katı hale geçerek ısıyı serbest bırakmaktadır. PCM'ler, iç ortam sıcaklığını dengede tutarak ısıtma ve soğutma için harcanacak enerjiden tasarruf edilmesini sağlamaktadır. Cephede PCM camlar, güneş kontrolü sağlamak için kullanılmaktadır. Birleşik gölgeleme ve enerji tamponlama özelliği yaz ve kış koşullarında termal konfor sağlamaktadır (Loonen, 2015).

Ayrıca dolaylı olarak görsel konforu da etkilemektedir. Herhangi elektronik veya hareketli bileşenlere ihtiyaç duymadan malzemenin içsel kontrolü ile gerçekleşmesi enerji harcamasını ve bakım maliyetini düşürmektedir.

4.2.4. Atık

Her yıl inşaat, yenileme ve yıkım aşamasındaki yıllık malzeme kayıpları artmaktadır. Yapılan araştırmalar, inşaat sektörünün doğal kaynak tüketiminin %30'undan fazlasını ve katı atıkların %25'ini oluşturduğunu ifade etmektedir (Benachio, Freitas ve Tavares, 2020). Yapılarda kullanım ömrünü tamamlamış malzeme veya atıklar ise toplam kütlenin yaklaşık %40'ına karşılık gelmektedir (GlobalABC, 2020). Aynı zamanda, yapıların işletim sürecindeki enerji tüketimi CO₂ emisyonunu da arttırmaktadır. Cephelerin doğru malzeme seçimleri ile uyarlanabilir şekilde tasarlanması; enerji verimliliği sağlayarak CO₂ emisyonunun azaltılmasına, binanın kullanım ömrünün uzatılmasına ve geri dönüşümlü malzeme kullanımını teşvik ederek atık oluşumunun en aza indirilmesine etki edebilmektedir.

Yeşil bina sertifikalarında; “Malzeme ve Kaynaklar Kategorisi (LEED), Malzeme/Atık Kategorisi (BREEAM), “Ekonomik Kalite Kategorisi (DGNB)” ana kategorilerde atık ile ilgili çeşitli alt kategoriler yer almaktadır. Bu alt kategorilerden de cephe tasarımı ilişkili olanlar belirlenerek, Tablo 4.7’de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

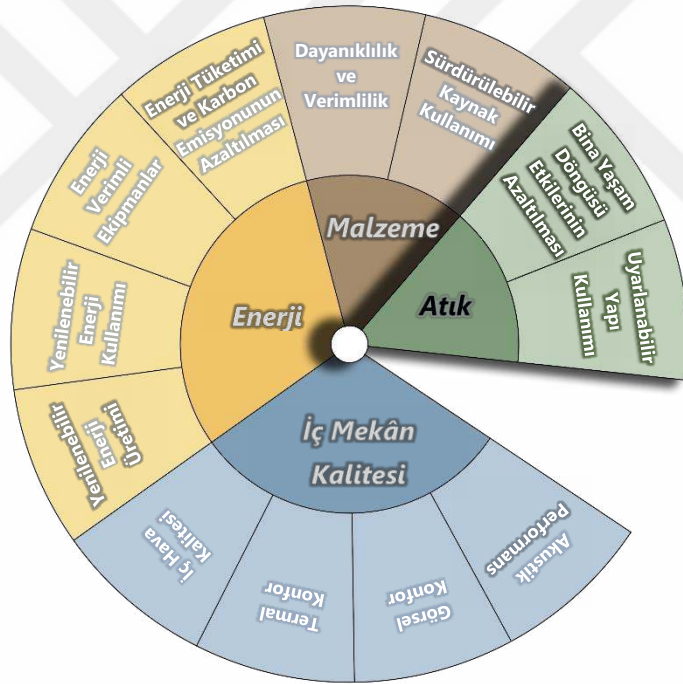
Tablo 4.7. *Atığın Yeşil Bina Sertifikalarındaki Alt Kategorileri (Tablo yazar tarafından; USGBC, 2025; BREEAM, 2016; (http-17) kaynaklarından uyarlanarak oluşturulmuştur.)*

	LEED Sertifikası (Malzeme ve Kaynaklar Kategorisi)	BREEAM Sertifikası (Malzeme/Atık Kategorisi)	DGNB Sertifikası (Ekonomik Kalite Kategorisi)
Bina Yaşam Döngüsü Etkisi	- Bina Yaşam Döngüsü Etkilerinin Azaltılması	- Yaşam Döngüsü Etkileri	- Dairesel Yapı
Uyarlanabilir Yapı Kullanımı		- Fonksiyonel Uyarlanabilirlik - İklim Değişikliğine Uyum	

İncelenen yeşil bina sertifikalarından sadece BREEAM Sertifikası’nda atık yönetimi için ayrı bir kategori bulunmaktadır. Diğer iki sertifikada atık konusu başka ana kategorilerin alt kategorilerine entegre edilmiştir. BREEAM sertifikasında, daha çok

malzeme ve yapı elemanlarının yaşam döngüsü etkisine odaklanan alt kategori, LEED sertifikasında yer alan bina yaşam döngüsü etkisi ile binaların enerji verimliliğini de kapsayan daha geniş bir çerçeve ile ifade edilmiştir. BREEAM sertifikasının atık kategorisinde yer alan, yapı elemanlarının işlevselliğini artırarak malzeme kullanımını en aza indiren “Fonksiyonel Uyarlanabilirlik” ile yapıların değişen çevresel koşullara uyumu sayesinde dayanıklılığın artırılarak, atık miktarını düşürmeyi hedefleyen “İklim Değişikliğine Uyum” alt kategorileri, “Uyarlanabilir Yapı Kullanımı” şeklinde ifade edilmiştir (Şekil 4.11).

- Bina Yaşam Döngüsü Etkisi; binanın ömrü boyunca çevresel etkilerinin,
- Uyarlanabilir Yapı Kullanımı; binaların değişen kullanım ve iklim koşullarına adaptasyon özelliklerinin değerlendirildiği parametrelerdir.

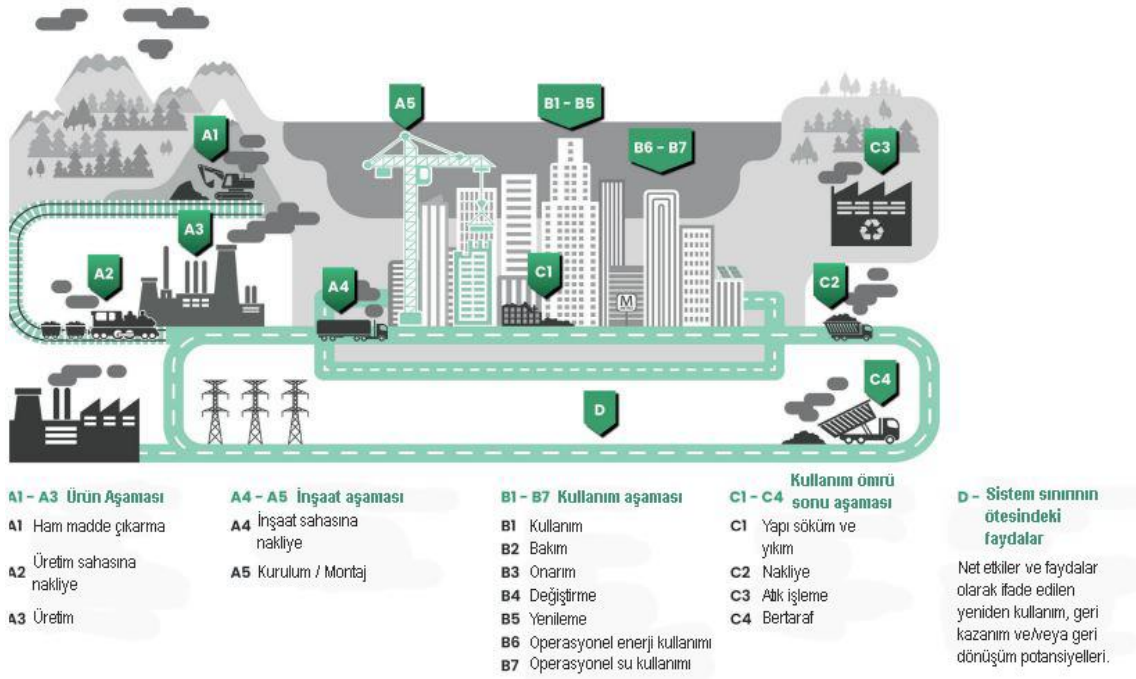


Şekil 4.11. Atık Performansı Alt Parametreleri (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

4.2.4.1. Bina Yaşam Döngüsü Etkisi

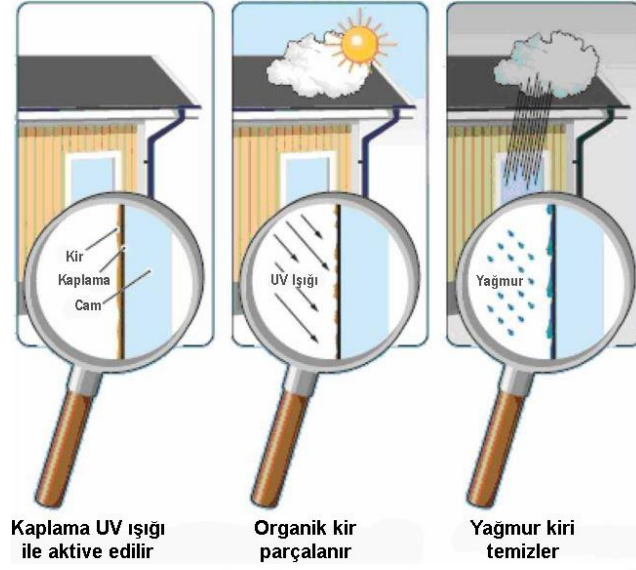
Bina ömrünün farklı dönemleri, yaşam döngüsü aşamaları olarak bilinmektedir. Bunlar; ürün, inşaat, kullanım, kullanım ömrü sonu ve sistem sınırlarının ötesindeki faydalar olarak adlandırılmaktadır (Şekil 4.12). Bina, bu yaşam döngüsü aşamalarında havaya, suya veya toprağa gaz, katı ve sıvı emisyonlar salarak çevreyi ve insan sağlığını olumsuz etkileyebilmektedir (One Click LCA, 2021). Bu kategorinin amacı; ana yapı

elemanlarının değerlendirilmesi yoluyla binanın çevresel yaşam döngüsü etkilerinin azaltılmasını teşvik etmektir (BREEAM, 2016). Bu kapsamda binaların özellikle malzeme ve karbon emisyonu yoluyla sebep olduğu atık oluşumunun azaltılmasında cephelerin etkisi değerlendirilecektir.



Şekil 4.12. Bina yaşam döngüsü aşamaları (One Click LCA, 2021)

Bina yaşam döngüsü etkisinin azaltılması için mevcut en uygun teknoloji belirlenmeli ve binaların tasarımı veya yenilenme yoluyla çevresel etkilerinin en aza indirilmesi gerekmektedir. Genellikle, orta vadede ucuz olarak sunulan ürünler yüksek bakım veya atık oluşumuna; yüksek teknoloji ürünleri de geri kazanılamayacak ölçüde üretim maliyetlerine sebep olabilmektedir (Bribián, Capilla ve Usón, 2011). Bu doğrultu da cephelerde kaplama malzemesi olarak kullanılabilen TiO_2 nanoteknoloji ürünü geliştirilmiştir. TiO_2 ile kaplanan yüzeye tutunan kirleticiler ayrıştırılır. Yüzey yağmura maruz kaldığında da su akışı katı kirleticileri cam yüzeyden temizlemektedir (Yunus vd., 2012) (Şekil 4.13). Yüzeye boya veya ince film tabakası şeklinde uygulanması tasarımda esnekliği sağlamasının yanında hem yüzeyin kendini temizlemesine hem de hava kirliliğinin önlenmesine katkı sunmaktadır.



Şekil 4.13. TiO_2 Kaplamalı camın kendini temizleme aşamaları (Yunus vd., 2012)

4.2.4.2. Uyarlanabilir Yapı Kullanımı

Mevcut bina stoğu gelecek yıllarda iklim değişikliği nedeniyle oluşabilecek aşırı hava koşullarına karşı savunmasızdır (Liyanage vd., 2024). Günümüzde de kısmen etkisini gösteren bu koşullar, yapı elemanlarında hasara ve yıkımlara yol açarak yapı atığının oluşmasına sebep olmaktadır. Ayrıca bu yapı elemanlarının sabit, değiştirilemeyen ve yeniden kullanılamayan özellikte olması, bu atıkların geri kazanımını güçleştirmekte ve cephelerin sürdürülebilir performansını kalıcı şekilde etkileyebilmektedir. Uyarlanabilir yapı kullanımı; iklim değişikliğinden kaynaklanan aşırı hava koşullarının bina ömrü üzerindeki etkisini azaltmak ve bina yapılarında yeniden kullanılabilirliği, demontaj(söküm) özelliğini, esnekliği değerlendirmeyi ve teşvik etmeyi amaçlamaktadır (BREEAM, 2023).

Uyarlanabilir cepheler, aktif veya pasif sistemlerle dış koşullara uyum sağlaması ve bazı uygulama çeşitlerinde cephenin farklı bölümlerine monte edilebilip sökülebilen özellikte olması, binanın yapı elemanı kaynaklı atık üretimini ve cephenin enerji performansını artırarak karbon emisyonu oluşumunu düşürme potansiyeli ile bu konuda ön plana çıkmaktadır.

4.2.5. İnovasyon

Teknolojinin gelişmesi hem malzeme ölçeğinde hem de sistem olarak binalara çeşitli yenilikçi sürdürülebilir çözümlerin entegrasyonunu mümkün kılmıştır. İnovasyon ana kategorisi, diğer kategorilerden farklı olarak mevcut standartların ötesinde, yenilikçi

uygulamaların teşvik edilmesine ve geliştirilmesine katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Diğer kategorilerde üstün performans gösteren veya değerlendirme kriterlerinde yer almayan farklı sürdürülebilir çözümlerin ve öncü uygulamaların ön plana çıkmasını sağlamaktadır. LEED ve BREEAM sertifikalarında “İnovasyon”, uygulamalara ek puan sağlayan ana kategori olarak yer almaktadır.

Tablo 4.8. İnovasyonun Yeşil Bina Sertifikalarındaki Alt Kategorisi (Tablo yazar tarafından; USGBC, 2025; BREEAM, 2016 kaynaklarından uyarlanarak oluşturulmuştur.)

	LEED Sertifikası (İnovasyon Kategorisi)	BREEAM Sertifikası (İnovasyon Kategorisi)	DGNB Sertifikası
Öncü ve Özgün Tasarım	- İnovasyon	- İnovasyon	

LEED ve BREEAM sertifikalarında inovasyon ana kategorisinin net bir alt kategorisi bulunmamakla birlikte, diğer kategorilerde üstün performans gösteren veya yenilikçi çözümler sunan projelere ekstra bir puan sağlamaktadır. DGNB sertifikasında ise inovasyon kategorisinin net bir karşılığı bulunmamakta fakat yenilikçi uygulamalar, yıllık düzenlenen yarışmalarla ödüllendirilerek teşvik edilmektedir. Sonuç olarak inovasyon kategorisinin yeşil bina sertifikalarında kredilendirme şekline bakıldığında, alt kategorisi “öncü ve özgün tasarım” olarak belirlenmiştir (Şekil 4.14)

- Öncü ve Özgün Tasarım; alanında öncü, yenilikçi çözümler ile önemli sürdürülebilir fırsatlar sunan uygulamaların değerlendirildiği parametredir.



Şekil 4.14. İnovasyon Kategorisinin Alt Parametreleri (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

4.2.5.1.Öncü ve Özgün Tasarım

İnovasyon kategorisi yeşil bina sertifikalarında, diğer kategorilerde standardın üzerinde performans gösteren ya da değerlendirme kategorilerinin kapsamının dışında sürdürülebilir fayda sağlayan projelere ek puan sağlamak amacıyla yer almaktadır. Dolayısıyla bu alt kategori de binalar, diğer binalara kıyasla gösterdiği üst düzey sürdürülebilir performansa veya sunduğu yenilikçi çözümlere göre değerlendirilecektir. Öncü ve özgün projelerin teşviki, ardından geliştirilecek ve mevcudun ötesine geçebilecek projeler için örnek teşkil etmektedir. Bu da binaların sürdürülebilir performanslarının artırılmasına yönelik atılımların hızlandırılmasına katkı sağlayacaktır. Uyarlanabilir cepheler, gelişen teknolojinin malzeme, sistem ve tasarım stratejisi bakımından sunduğu avantajların cepheye entegrasyonunu sağlayarak bu konuda önemli bir potansiyel oluşturmaktadır.

Tablo 4.9. Sürdürülebilir Performans Kriterleri Gereklilikler ve Olasılıklar (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

	GEREKLİLİK	OLASILIKLAR
İç Mekân Kalitesi		

Tablo 4.9. (Devam) Sürdürülebilir Performans Kriterleri Gereklilikler ve Olasılıklar (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

İç Hava Kalitesi	İç mekâna temiz havanın sağlanması	Çift katmanlı cepheler, doğal havalandırma ve hava temizleyici uygulamalar
Görsel Konfor	İç mekânda gün ışığı-yapay ışık dengesinin sağlanması	Sabit ve dinamik güneş kırıcılar
Termal Konfor	İç mekânda kullanıcılara ideal termal koşulların sağlanması	Güneş ısısına ve ışığına göre ışık geçirgenliğini değiştirebilen akıllı camlar
Akustik Konfor	İç mekânda gürültü ve ses kirliliğinin önlenmesi	Ses yalıtım malzemeleri
Enerji		
Enerji Tüketimi ve Karbon Emisyonunun Azaltılması	Binaların enerji tüketimi ve malzeme kaynak emisyonlarının düşürülmesi	Sürdürülebilir malzeme seçimi ve ısıtma, soğutma, aydınlatma giderlerini düşürecek sistemler
Yenilenebilir Enerji Üretimi	Yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak enerji üretilmesi	Fotovoltaik paneller, rüzgâr türbinleri
Yenilenebilir Enerji Kullanımı	Yenilenebilir enerji kaynaklarının verimli kullanımı ile enerji tüketiminin azaltılması	Güneş ve rüzgâr kontrol sistemleri
Enerji Verimli Ekipman	Cephede kullanılan yardımcı ekipmanların enerji verimliliği sağlaması	Enerji verimliliği sağlayan yardımcı sistem ve cihazlar
Malzeme		
Sürdürülebilir Kaynak Kullanımı	Malzeme kaynaklı emisyonun düşürülmesi	Karbon emisyonu düşük, yerel, yenilenebilir ve geri dönüştürülebilir malzemeler
Dayanıklılık ve Verimlilik	Verimli ve dayanıklı malzeme kullanımı	Akıllı cam ve malzemeler
Atık		
Bina Yaşam Döngüsü Etkilerinin Azaltılması	Ana yapı elemanlarının binanın çevresel etkilerini azaltılması	Havayı temizleyen TiO ₂ kaplama, yenilebilir ve geri dönüştürülebilir malzeme
Uyarlanabilir Yapı Kullanımı	Bina yapı elemanlarında, iklim değişikliğine uyum, yeniden kullanılabilirlik, sökülme ve esneklik özelliklerinin sağlanması	İklimle uyumlu, bakım maliyeti düşük, uyarlanabilir yapı elemanları
İnovasyon		
Öncü ve Özgün Tasarım	Diğer kategorilerde üstün performans veya yenilikçi çözüm	Tasarım ödülleri, yenilikçi uygulamalar

5. UYARLANABİLİR CEPHE UYGULAMALARININ BELİRLENEN PERFORMANS KRİTERLERİNE GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1.Hipotez

Bu tez kapsamında geliştirilen hipotez; binaların çevre üzerindeki olumsuz etkisini azaltmak için uyarlanabilir cephelerin farklı çözüm önerileriyle, çok yönlü sürdürülebilir katkı sunmasıdır. Bu kapsamda 4.bölümde yeşil bina sertifikalarından yararlanılarak, cephelerin sürdürülebilirliğinin değerlendirileceği performans kriterleri oluşturulmuş ve bu kriterleri karşılayacak olası uyarlanabilir cephe uygulamaları belirtilmiştir.

LEED, BREEAM ve DGNB sertifikalarından yararlanılarak oluşturulan sürdürülebilir performans kriterleri 5 ana kategori ve 13 alt kategoriden oluşmaktadır. Çalışmanın bu bölümünde, uyarlanabilir cephe örnekleri belirlenen kategoriler ışığında değerlendirilecektir. Elde edilen verilerle uyarlanabilir cephe örneğinin sürdürülebilirlik şeması oluşturulacaktır.

Sonuç olarak, farklı uyarlanabilir cephe uygulamalarının çok yönlü sürdürülebilir çözümlerini ifade eden şema ve uygulamalarından elde edilen bulgularla hipotezin desteklenmesi amaçlanmaktadır.

5.2. Uyarlanabilir Cephe Uygulamaları

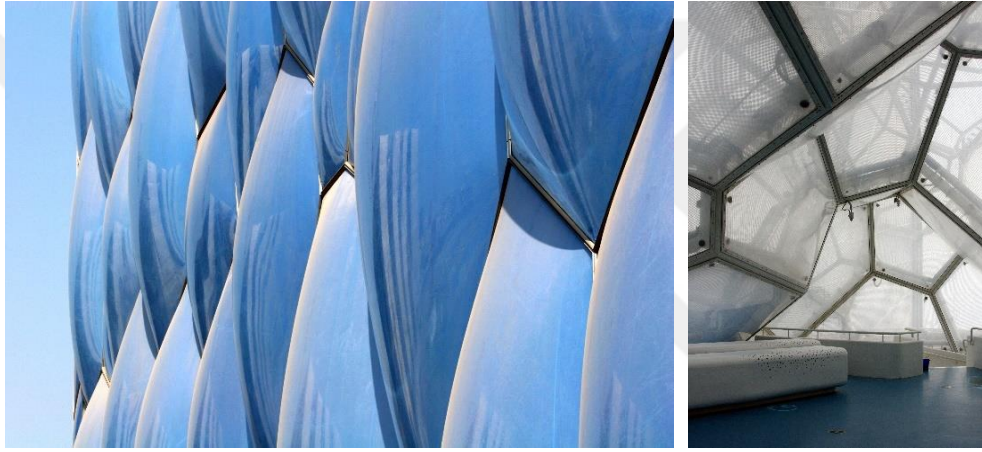
5.2.1. Water Cube

Tablo 5.1. *Water Cube Hakkında Genel Bilgi (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)*

	Yapının Adı	Water Cube
	Yapının Konumu/Yılı	Pekin, Çin/2008
	Mimarı	3XN
	Cephenin Karşıladığı Sürdürülebilirlik Parametreleri	• İç mekân kalitesi • Enerji • Malzeme • Atık • İnovasyon

PTW, Arup, CSCEC ve CCDI'dan oluşan bir konsorsiyum tarafından tasarlanan Water Cube, 2003 yılında Pekin'de düzenlenen bir mimari yarışmada, son aşamaya kalan 10 proje arasından, birinci seçilerek, 2008 Yaz Olimpiyatları'na ev sahipliği yapmak üzere inşa edilmiştir. Yapı hem ısıtma hem de aydınlatma için güneş enerjisinin kullanımını en üst düzeye çıkaran yalıtımlı bir cepheye sahiptir. Cephe de cam yerine

kullanılan ETFE malzemesi; yüksek akustik performans sağlar, yapının taşıdığı malzeme ağırlığını azaltır, sismik performansı artırır, geri dönüştürülebilir ve kendi kendini temizleme özelliğine sahiptir (Zou ve Leslie-Carter, 2010). ETFE, bir cam panelin ağırlığının %1'i kadar olan, cama göre daha iyi ısı yalıtkanı, esnek, dayanıklı ve %95 ışık geçirgenliği sağlayan şeffaf bir malzemedir (http-25) (http-26). Kabarcıklardan ilham alınan çift katmanlı cephe, daha fazla ışığın içeri girmesine olanak tanır. Binaya gelen güneş enerjisinin yaklaşık %20'si depolanıp, iç mekânı ve havuzları ısıtmak için kullanılır. Malzemenin şeffaf özelliği sayesinde eğlence havuzunun yer aldığı salonun aydınlatma enerjisinden %55'e kadar tasarruf sağlanmaktadır (http-25).



Görsel 5.1. *Water Cube'nin ETFE Cephesi* (http-27)

Water Cube'nin uyarlanabilir cephesinin karşıladığı sürdürülebilirlik kriterleri:

- **İç Mekân Kalitesi:** Malzeme özelliği ve çift katman sayesinde yüksek akustik performans ve termal konfor sağlanmaktadır. Şeffaflığı, doğal aydınlatmayı üst seviyeye çıkarsa da %95 oranında ışık geçirgenliği, iç mekânda parlamaya sebep olabilmektedir.
- **Enerji:** Binaya gelen yenilenebilir güneş enerjisinin ısınıp depolayıp, gün ışığını iç mekân aydınlatmasında kullanmaktadır. Bu da iç mekânda harcanacak enerjiden tasarruf edilmesini sağlamaktadır.
- **Malzeme:** Hafif, esnek, iyi ısı yalıtımına sahip, geri dönüştürülebilir malzemeden oluşmaktadır.
- **Atık:** Geri dönüştürülebilir, kendini temizleyen malzemeden yapılmış, dış koşullara uyum sağlayabilen cepheye sahiptir.

- **İnovasyon:** Mühendislik inovasyonu özellikleri kazandıran cephe tasarımına sahiptir.



Şekil 5.1. Water Cube Sürdürülebilir Performans Şeması (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

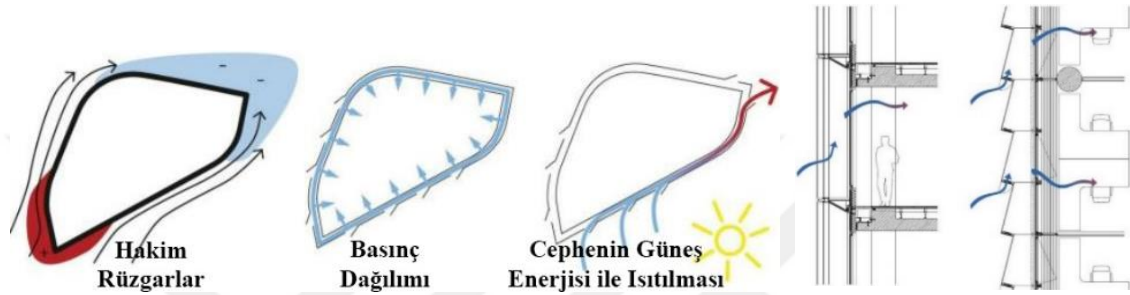
5.2.2. KfW Westarkade

Tablo 5.2. KfW Westarkade Hakkında Genel Bilgi (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

	Yapının Adı	KfW Westarkade
	Yapının Konumu/Yılı	Frankfurt, Almanya/2010
	Mimarı	Sauerbruch Hutton
	Cephenin Karşıladığı Sürdürülebilirlik Parametreleri	• İç mekân kalitesi • Enerji • Atık • İnovasyon

KfW Westarkade, yapımı 2010 yılında tamamlanan, Frankfurt'ta Alman Kalkınma Bankası (KfW)'nın genel merkezi olarak hizmet veren ofis binasıdır. 14 katlı ve 56 metre yüksekliğe sahip bina, 100 kWh/m²'nin altında birincil enerji tüketimi ile dünyanın en sürdürülebilir yüksek katlı ofis binaları arasında yer almaktadır. Bina, çift katmanlı bir cepheye ve katmanlar arasına yerleştirilen panjur sistemine sahiptir (http-28). Parlama ve güneş ısısı kontrolü sağlayan dinamik panjur sistemi haricinde cephenin bir diğer öne çıkan özelliği doğal havalandırma sistemidir. Bina, hâkim batı rüzgârına göre

konumlanmış aerodinamik bir şekle sahiptir. Rüzgârın geliş yönüne göre kademelendirilen cephenin, dış katmanına sensörle kontrol edilebilen kapakçıklar yerleştirilmiştir. Gün boyu değişkenlik gösteren sıcaklığa, rüzgârın yön ve şiddetine göre kapakçıklar açılıp kapanarak, katmanlar arasında, binayı çevreleyen pozitif basınç hattı oluşturmaktadır (Wood ve Salib, 2012). Temiz hava, iç mekâna döşemelerinde bulunan havalandırma delikleri ve iç katmanda yer alan kontrol edilebilir pencereler aracılığıyla ulaştırılmaktadır (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. Rüzgâr kontrol şeması ve temiz havanın iç mekâna girişi (Sauerbruch, 2011)

Binanın doğal havalandırma sistemi, mekanik havalandırmaya ve geçiş mevsimlerinde ısıtmaya duyulan ihtiyacı önemli ölçüde azaltmaktadır. Basınç çemberi, soğuk havalarda da ısı kaybını engelleyerek enerji tasarrufu sağlamaktadır (Suner, 2011). Yılın %60'lık bölümünde kullanılabilen sistem, Almanya'daki diğer ofis binalarına kıyasla ısıtma ve soğutma giderlerinden %84 oranında tasarruf sağlamaktadır (Wood ve Salib, 2012).

KfW Westarkade'nin uyarlanabilir cephesinin karşıladığı sürdürülebilirlik kriterleri:

- **İç Mekân Kalitesi:** Çift katman arasına yerleştirilen dinamik panjur sistemi ile parlama ve güneş kazanımı önlenmekte, güneşin kontrollü girişi ile doğal aydınlatma sağlanmaktadır. Binanın hâkim rüzgâra göre yönelimi, kademeli ve kontrol edilebilir kapakçıga sahip çift katmanlı cepheden doğal havalandırma ve iç mekân iklimlendirmesi bakımından üst düzey verim sağlamaktadır.
- **Enerji:** Rüzgâr ve güneş enerjisinden kontrollü bir şekilde yararlanarak iç mekân iklimlendirmesi için harcanacak enerjiden tasarruf edilmesini sağlamaktadır.

- **Atık:** Enerji tüketimini önemli oranda azaltarak CO2 salınımını düşürmüş ve hava koşullarına karşı uyarlabilir yapı elemanları kullanılmıştır.
- **İnovasyon:** Pasif tasarım stratejisi(yönelim) ve pasif sistemlere (çift katmanlı cephe), aktif sistemlerin (kontrol edilebilir kapakçık ve dinamik panjur sistemi) entegrasyonu ile sağlanan üst düzey enerji verimliliği, yapıya 2011 yılında CTBUH'un En İyi Yüksek Bina ödülünü kazandırmıştır.



Şekil 5.3. KfW Westarkade Sürdürülebilir Performans Şeması (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

5.2.3. Al Bahar Kuleleri

Tablo 5.3. Al Bahar Kuleleri Hakkında Genel Bilgi (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

	Yapının Adı	Al Bahar Kuleleri
	Yapının Konumu/Yılı	Abu Dabi, Birleşik Arap Emirlikleri / 2012
	Mimarı	Aedas
	Cephenin Karşıladığı Sürdürülebilirlik Parametreleri	• İç mekân kalitesi • Enerji • Atık • İnovasyon

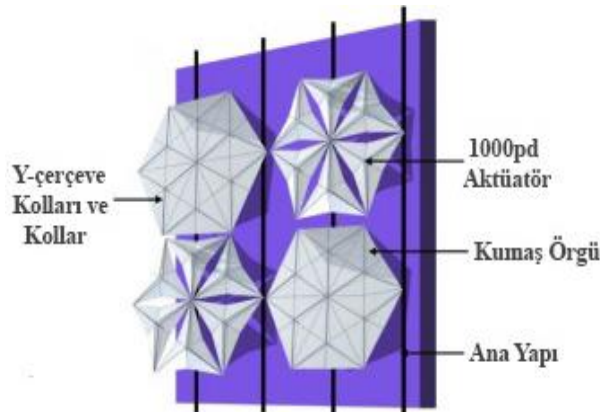
Al Bahar Kuleleri, Abu Dabi'de bulunan 145m yüksekliğinde iki kuleden oluşmaktadır. Yapı, 2012 yılında CTBUH Yenilik Ödülü'nün kazanmış ve Orta Doğu ve Afrika'nın En İyi Yüksek Binası Finalisti olmuştur. Yapının öne çıkan özelliği; 29'ar katlı

silindirik iki kulenin cam cephelerinin önünde yer alan gölgeleme sistemidir. Bu sistem, kulelerin dış cephesinin iki metre dışında bağımsız bir çerçeve üzerinde duran bir perde duvar gibi çalışmakta ve güneş kazanımını ve parlamayı azaltmanın bir yolu olarak güneşin hareketlerine yanıt verecek şekilde programlanmıştır. Gece olduğunda tüm paneller kapanmakta ve cephe yüzeyinin tamamı görünür hale gelmektedir. Sabah güneşin doğumundan itibaren, başta binanın doğusundaki paneller kapanmaya başlar ve güneşin bina etrafındaki hareketine göre binanın dikey şeridinde yer alan paneller güneşle birlikte hareket etmektedir (http-29).



Görsel 5.2. Al Bahar Kuleleri Cephesi (http-29)

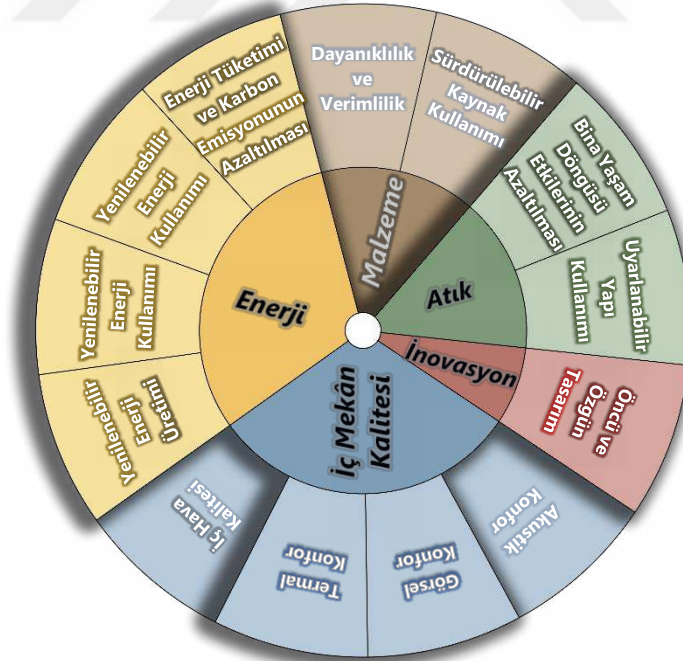
Sistemdeki hareketli paneller, üçgen şeklinde ve mikro delikli cam elyafla kaplıdır. Üçgen panellerin bir araya gelmesi ile “Mashrabiya” adında geleneksel bir strüktür oluşturulmuştur. Bu altıgen form, 5 farklı çalışma konfigürasyonuna sahiptir (Şekil 5.4). Cepheye gelen güneş ışığı açısına göre gölge sağlamak için şemsiye gibi açılıp kapanabilen bu altıgen form sayesinde güneş enerjisi emilimi tahmini olarak %20 oranında azalmakta ve yoğun enerji harcayan klima ve yapay aydınlatmaya olan bağımlılığı azaltarak operasyonel karbon emisyonunu düşürmektedir (http-30).



Şekil 5.4. Mashrabiya'nın Ayrıntılı Modeli (Habibi, Valladares ve Pena, 2022)

Al Bahar Kuleleri'nin cephesinin karşıladığı sürdürülebilirlik kriterleri:

- **İç mekân kalitesi:** Cam yüzeyi kaplayan altıgen formdaki güneş kırıcı sistemin, farklı açılarla yerleştirilen üçgen panellerden oluşması ve farklı konfigürasyonlarda çalışması, güneşin cephedeki konumu ve geliş açısına göre üst düzey gölgeleme imkânı sunmaktadır.
- **Enerji:** Binanın eğimli şekilde tasarlanan çatısına yerleştirilen fotovoltaik panellerle enerji üretimi sağlanmaktadır. Dış cepheden iki metre uzakta yer alan gölgeleme elemanları, iç mekân iklimlendirmesi ve yapay aydınlatmaya harcanacak enerjiden tasarruf edilmesini sağlamaktadır.
- **Atık:** Özellikle soğutma ekipmanlarının yüksek enerji tüketimine sebep olabileceği sıcak iklimde, çevre koşullarına karşı uyarlanabilir özellikte yapı elemanları ile binanın enerji tüketiminden kaynaklanan karbon emisyonunu önemli oranda azaltmaktadır.
- **İnovasyon:** Öncü cephe tasarımı ile 2012 yılında CTBUH Yenilik Ödülü'nü kazanmıştır.



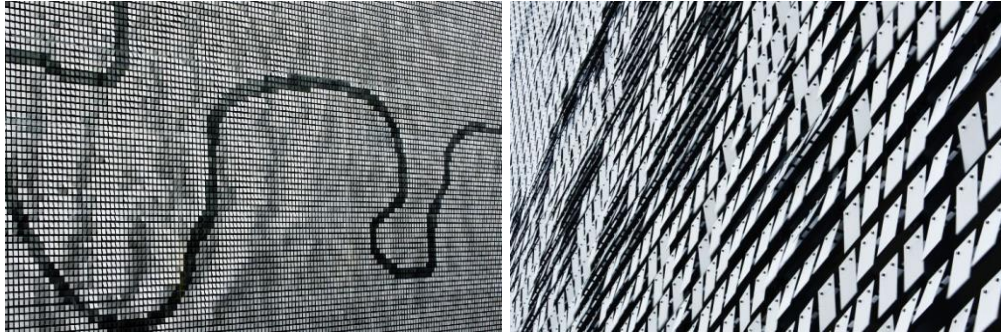
Şekil 5.5. Al Bahar Kuleleri Sürdürülebilir Performans Şeması (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

5.2.4. Brisbane İç Hatlar Terminali Otoparkı

Tablo 5.4. *Brisbane İç Hatlar Terminali Otoparkı Hakkında Genel Bilgi (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)*

	Yapının Adı	Brisbane İç Hatlar Terminali Otoparkı
	Yapının Konumu/Yılı	Brisbane, Avusturalya/2012
	Mimarı	Ned Kahn, UAP
	Cephenin Karşılacağı Sürdürülebilirlik Parametreleri	• İç mekân kalitesi • Enerji

Ned Kahn ve UAP iş birliği ile 2012 yılında Avusturalya’da Brisbane İç Hatlar Terminali Otoparkı için yüzeye yarı sabit halde asılan 117.000 alüminyum panelden oluşan cephe tasarlanmıştır. Rüzgârın etkisiyle harekete geçen paneller, cephenin akışkan bir şekilde dalgalanıyormuş gibi görünmesini sağlamaktadır ([http-31](#)). Hareketli panellere çarpan güneş ışığı, iç mekânda karmaşık ışık ve gölge desenleri oluşturmaktadır. Ayrıca panellerin hareketi nedeniyle cephe de açılan boşluklardan doğal havalandırma sağlanmaktadır ([http-32](#)).



Görsel 5.3. *Brisbane İç Hatlar Terminali Otoparkı Cephesi ([http-31](#))*

Brisbane İç Hatlar Terminali’nin uyarlanabilir cephesinin karşıladığı sürdürülebilir kriterler:

- **İç Mekân Kalitesi:** Yarı sabit alüminyum paneller gölgeleme ve doğal havalandırma sağlamaktadır.
- **Enerji:** Rüzgâr ve güneş enerjisinden faydalananarak, iç mekân iklimlendirmesi için harcanacak enerjiden tasarruf edilmesini sağlamaktadır.



Şekil 5.6. Brisbane İç Hatlar Terminali Sürdürülebilir Performans Şeması (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

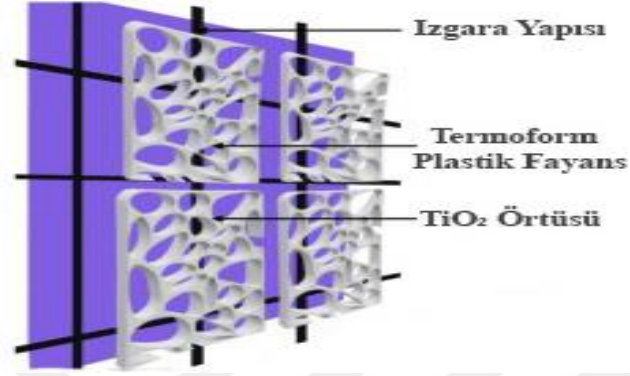
5.2.5. Manuel Gea Gonzalez Hastanesi

Tablo 5.5. Manuel Gea Gonzalez Hastanesi Hakkında Genel Bilgi (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

	Yapının Adı	Manuel Gea Gonzalez Hastanesi
	Yapının Konumu/Yılı	Mexico City, Meksika / 2013
	Mimarı	Elegant Embellishment
	Cephenin Karşılıdığı Sürdürülebilirlik Parametreleri	- Malzeme - Atık

Yapı, 1992 yılında Birleşmiş Milletler tarafından dünyanın en kirli şehri olarak adlandırılan Mexico City’de yer almaktadır. Bu duruma bir önlem olarak Berlin merkezli tasarım stüdyosu Elegant Embellishment, 2013 yılında Mea Gonzalez Hastanesi için bir cephe tasarlamıştır (http-33). Cephe, duman parçacıklarını tutan ve nötrleştiren bir fotokatalitik madde olan TiO_2 ’nin çok ince kaplamasına sahip bir malzeme olan Prosolve 370e fayanslarından oluşmaktadır (http-34). UV ışığı sisli havayı kesip fayanslardaki TiO_2 ’ye çarptığında, fayans ve dumandaki kimyasallar arasında bir reaksiyon meydana gelir. Bu reaksiyon sonucunda, kirli hava düşük miktarda kalsiyum nitrat, karbondioksit ve su dahil olmak üzere daha az zararlı kimyasallara ayrılmaktadır. TiO_2 , reaksiyonlarda katalizör olduğu için kendisi etkilenmez ve işlem sayısız şekilde gerçekleştirilebilmektedir

(http-35). Bu sayede cephenin, günde 1000 aracın ürettiği kirliliği önlediği tahmin edilmektedir. TiO_2 , kaplaması incelmeye başladığında yerinde yeniden püskürtülebilmekte ve ömrünün yaklaşık bir binanın dış cephe boyasıyla aynı olduğu ifade edilmektedir (http-33).



Şekil 5.7. Fotokatalitik Cephenin Ayrıntılı Modeli (Habibi, Valladares ve Pena., 2022)

İşlem güneş ışığı gerektirdiği için sadece kaplama yeterli olmamakta, aynı zamanda cephenin yüzey alanının da arttırılması gerekmektedir. Bu nedenle cephenin delikli, kademeli ve çok yüzeyli formu yüzey boyunca mümkün olan en fazla miktarda güneş ışığını alacak ve daha fazla kimyasal reaksiyona girebilmesini sağlayacak şekilde geliştirilmiştir (http-34).



Görsel 5.4. Cephenin Delikli ve Kademeli Yapısı (http-34)

Manuel Gea Gonzalez Hastanesi'nin uyarlanabilir cephesinin karşıladığı sürdürülebilirlik kriterleri:

- **Malzeme, Atık:** TiO_2 kaplamalı Prosolve 370e fayanslar, hava ile maksimum temas sağlayacak şekilde yüzey alanı arttırılarak, tahmini olarak günde 1000

aracın ürettiği kirliliği önlemektedir. Bu işlemi sayısız şekilde gerçekleştirebilmesi, dış cephe boyasıyla aynı ömre sahip olup yenilenebilmesi malzemenin sürdürülebilir etkisinin verimliliğini artırmaktadır.



Şekil 5.8. Manuel Gea Gonzalez Hastanesi Sürdürülebilir Performans Şeması (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

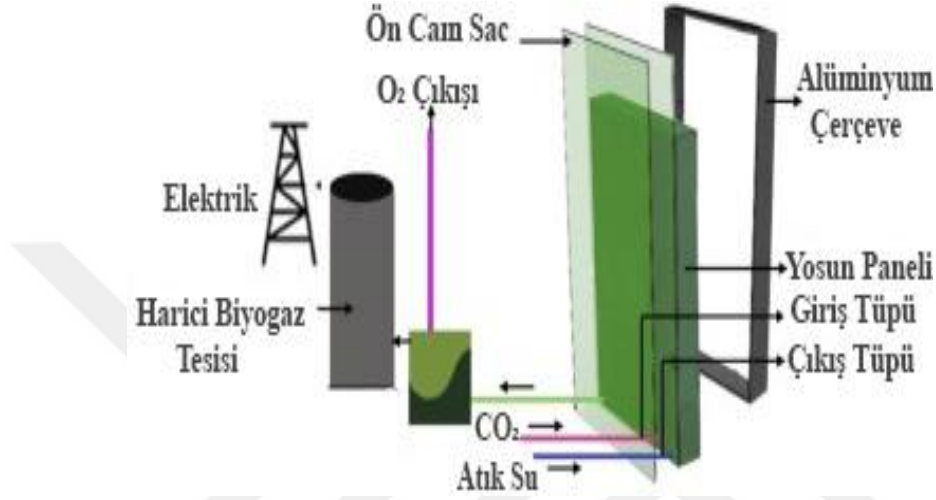
5.2.6.BIQ

Tablo 5.6. BIQ Hakkında Genel Bilgi (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

	Yapının Adı	BIQ
	Yapının Konumu/Yılı	Hamburg, Almanya / 2013
	Mimarı	ARUP
	Cephenin Karşıladığı Sürdürülebilirlik Parametreleri	• Enerji • Malzeme • Atık • İnovasyon

Mimarlık ve mühendislik firması ARUP, 2013 yılında Uluslararası Yapı Fuarı'nın bir parçası olarak, Hamburg'ta bir apartmanda ilk biyoreaktör cepheyi inşa etmiştir. Binanın güneş alan cephelerine, içinde mikroalgler bulunan cam paneller yerleştirilmiştir. Dış cepheden geçen ayrı bir su devresi aracılığıyla, panellerin içinde bulunan mikroalglerle sıvı besinler ve karbondioksit verilerek güneş ışığı yardımıyla fotosentez

yapması sağlanmaktadır. Mikroalgler, fotosentez yaparken harcadığı karbondioksit ile havayı temizlerken, açığa çıkardığı ısı ile binanın ısıtılmasını sağlamaktadır. Algler çıkarılıncaya kadar düzenli bir döngü içinde gelişir çoğalır. Daha sonra diğer alglerden ayrılır ve BIQ'nun teknik odasına aktarılır. Daha sonra harici bir biyogaz tesisinde fermente edilip, biyogaz üretimi için yeniden kullanılmaktadır (http-36).



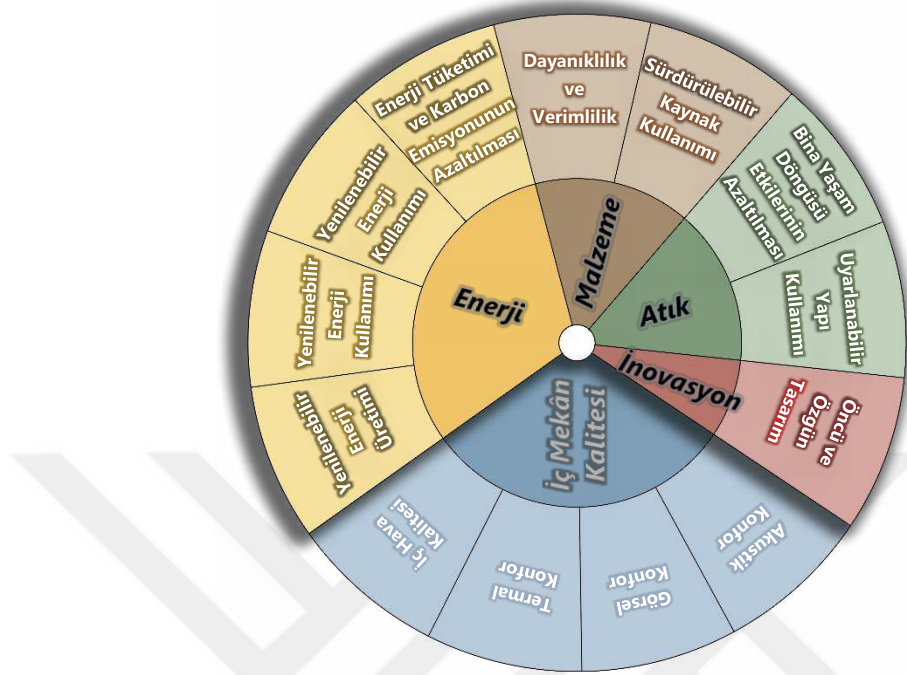
Şekil 5.9. BIQ Cephesinin Panel Detayı (Habibi, Valladares ve Pena, 2022)

BIQ, elektrik ve ısı üretmek için gereken enerji ihtiyacının tamamını yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılayan bütünsel bir enerji konseptine sahiptir. Kendi cephesinden toplanan yosun biyokütlesini kullanarak enerji üretebilmektedir. Ayrıca cephe, yosun tarafından kullanılmayan güneş ışığını emerek enerji toplamakta ve solar termal üniteye olduğu gibi ısı üretmektedir. Bu ısı daha sonra sıcak su ve ısıtma için kullanılmakta veya toprağa depolanmaktadır. Dolayısıyla bina, güneş termal enerjisi, jeotermal enerji, yoğuşmalı kazan, yerel ısı ve biyo-reaktör cephesini kullanarak biyokütle yakalama döngüsü oluşturmaktadır (http-36).

BIQ'nun uyarlanabilir cephesinin karşıladığı sürdürülebilirlik kriterleri:

- **Enerji:** Güneş ışığı yardımıyla, cepheye yerleştirilen mikroalglerin fotosentezi sonucunda ısı üretimi yapılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve depolanması ile yüksek enerji verimliliği sağlanmaktadır.
- **Malzeme, Atık:** Sürdürülebilir kaynak kullanımı ile binanın kullanım aşamasındaki yaşam döngüsü etkisi minimize edilmektedir.

- **İnovasyon:** Dünyanın ilk tam ölçekli biyoreaktif cephesi olma özelliğine sahiptir.



Şekil 5.10. BIQ Sürdürülebilir Performans Şeması (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

5.2.7. SDU Kolding Kampüsü

Tablo 5.7. SDU Kolding Kampüsü Hakkında Genel Bilgi (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

	Yapının Adı	SDU Kolding Kampüsü
	Yapının Konumu/Yılı	Kolding, Danimarka/2014
	Mimarı	Henning Larsen Architects
	Cephenin Karşılıdığı Sürdürülebilirlik Parametreleri	• İç mekân kalitesi • Enerji • Atık • İnovasyon

SDU Kolding, Henning Larsen Architects tarafından tasarlanan, Kolding şehrindeki Güney Danimarka Üniversitesi'nin iletişim ve tasarım binasıdır. Bina'nın üçgen formu ve yönelimi, güneş ışığı almayan cephe oluşumunu önlemekte ve binaya her cepheden doğal ışık girişini sağlamaktadır (http-37). Yoğun güneş ışığının iç mekandaki konfor koşullarını olumsuz etkilememesi için cephede katlanabilir ikizkenar üçgen formda 1600 delikli metal panelden oluşan iklime duyarlı, dinamik güneş kırıcılar bulunmaktadır. Bu güneş kırıcılar, belirli iklim koşullarına ve kullanıcı modellerine uyum sağlamakta, cephe boyunca optimum gün ışığı ve konforlu iç mekân iklimine sahip

alanlar sunmaktadır. Paneller, farklı gün ışığı açılarına ve istenilen düzeyde ışık girişine imkân sağlayacak şekilde monte edilmiştir (http-38). Sensörler, bina çevresindeki ısı ve ışık seviyesini izleyerek, panellerin açık pozisyonundan yarı açık ve tam açık pozisyona geçmesini sağlamaktadır. Tamamen kapalı konumdayken bile düşük miktarda kontrollü ışık girişinin sağlanabilmesi için panel yüzeyi delikli bir yapıya sahiptir (http-37). Yapı, Danimarka'nın ilk düşük enerjili üniversitesi olup, benzer ölçekteki binaların %20-25'ine eşdeğer olan 48 kWh/m²/yıl enerji tüketimine sahiptir (http-39)



Görsel 5.5. SDU Kolding Cephesi (http-38)

SDU Kolding Kampüsü'nün uyarlanabilir cephesinin karşıladığı sürdürülebilirlik kriterleri:

- **İç Mekân Kalitesi:** Yapının üçgen formu maksimum gün ışığının, delikli metal paneller yardımıyla kontrollü bir şekilde iç mekâna alınmasını sağlamaktadır. Doğal aydınlatma ile gölgeleme arasındaki denge termal ve görsel konfor sunmaktadır.
- **Enerji:** Enerji verimliliği sağlayan dinamik gölgeleme sistemi ile ısıtma, soğutma ve yapay aydınlatma için harcanacak enerjiden tasarruf sağlamaktadır.
- **Atık:** Karbon emisyonunu düşüren, iklim koşullarına uyumlu sisteme sahiptir.
- **İnovasyon:** Danimarka'nın ilk düşük enerjili üniversitesi ünvanına sahiptir.



Şekil 5.11. SDU Kolding Kampsü Sürdürülebilir Performans Şeması (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

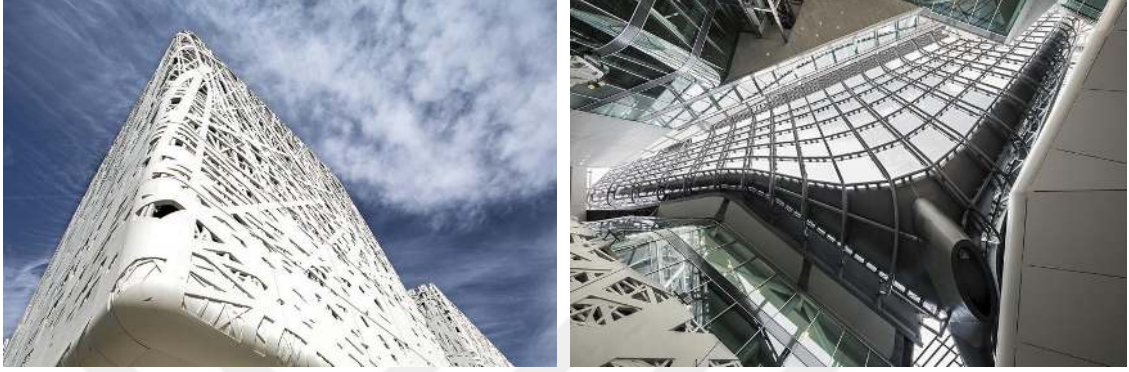
5.2.8.İtalya Pavyonu

Tablo 5.8. İtalya Pavyonu Hakkında Genel Bilgi (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

	Yapının Adı	İtalya Pavyonu
	Yapının Konumu/Yılı	Milano, İtalya / 2015
	Mimarı	Nemesi Studio
	Cephenin Karşılıdığı Sürdürülebilirlik Parametreleri	• İç Mekân Kalitesi • Enerji • Malzeme • Atık • İnovasyon

İtalya Pavyonu, Expo 2015 SpA tarafından Mayıs 2013'te düzenlenen uluslararası bir yarışmada kazanan proje olmuştur. Expo'daki tek kalıcı mimari yapı olan İtalya Pavyonu, Nemesi tarafından hem ilkel ve hem de teknolojik görünümü çağrıştırmak için "dallanmış" dış cephe tasarımı ile bir "kent ormanı" kavramından esinlenmiştir (http-40). Dış cephede ormanı anımsatmak amacıyla "dal" şekillerinin oluşturulması için akıllı beton kullanılmıştır. Fotokatalitik özelliğe sahip bu beton, hava kirliliğini temizlemenin yanında karmaşık geometriler tasarlamak ve yüksek mukavemetli sıkıştırma ve esnemeye karşı direnç göstermek için normalden üç kat daha fazla akışkanlık sağlamıştır (http-41). Kullanılan harcın %80'i geri dönüştürülmüş agregadan oluşmakta ve Carrara'daki

mermer ocaklarından elde edilen hurda malzeme de geleneksel beyaz çimentoya kıyasla daha fazla parlaklık katmaktadır (http-41). Çatıda kullanılan PV özelliğe sahip düz ve kavisli olarak yerleştirilen akıllı camlar cephedeki dalların üzerinde bir orman örtüsünü temsil etmesinin yanında, enerji üretimine katkı sağlamaktadır (http-42).



Görsel 5.6. *İtalya Pavyonu'nun cephesi ve çatısının iç mekândan görünümü (http-40)*

İtalya Pavyonu'nun uyarlanabilir cephesinin karşıladığı sürdürülebilirlik kriterleri:

- **İç Mekân Kalitesi:** Kavisli PV cam tavan, iç mekâna doğal ışık sağlamaktadır. Akıllı betonun akışkan özelliği sayesinde oluşturulan boşluklu katman, ışığın iç mekâna karmaşık örüntüler şeklinde girişine izin vererek, gölgeleme-doğal aydınlatma dengesini sağlamaktadır.
- **Enerji:** PV cam tavan ile enerji üretimi sağlanmaktadır. Gölgeleme ve doğal aydınlatma dengesi ile enerji tüketimi azaltılmaktadır.
- **Malzeme:** Geleneksel betonlar yerine geri dönüştürülmüş malzemelerden yararlanılan, daha dayanıklı ve esnek betonlar kullanılarak verimlilik artırılmıştır.
- **Atık:** Sürdürülebilir akıllı betonun fotokatalitik özelliği hava kirliliğini önlemektedir.
- **İnovasyon:** Yenilikçi malzeme kullanımı ile elde edilen sürdürülebilir ve estetik etki sayesinde Milan EXPO 2015'i kazanmış ve yarışmadaki kalıcı tek mimari yapı olmuştur.



Şekil 5.12. İtalya Pavyonu Sürdürülebilir Performans Şeması (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

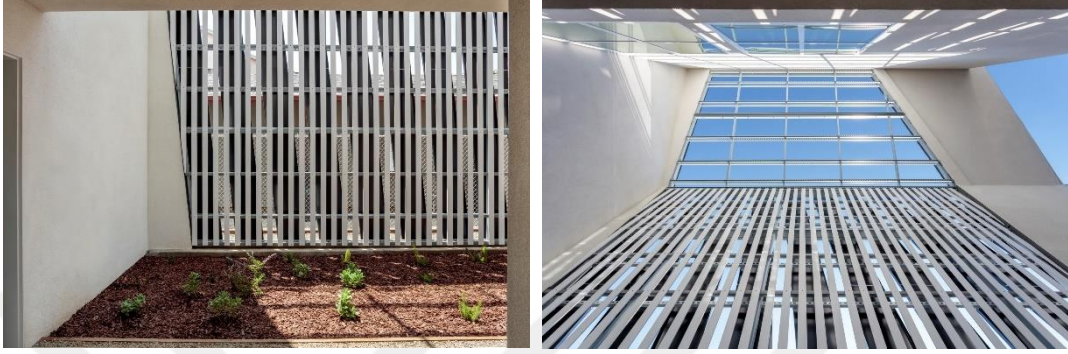
5.2.9. IVRV Evi

Tablo 5.9. IVRV Evi Hakkında Genel Bilgi (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

	Yapının Adı	IVRV Evi
	Yapının Konumu/Yılı	Los Angeles, ABD / 2016
	Mimarı	Darin Johnstone, SCI Arc
	Cephenin Karşılıdığı Sürdürülebilirlik Parametreleri	• İç mekân kalitesi • Enerji • Malzeme • Atık

IVRV Evi, Güney Kaliforniya Mimarlık Enstitüsü (SCI-Arc) öğretim görevlisi Darin Johnstone ve öğrencileri tarafından tasarlanmış, ihtiyaç sahiplerine evler inşa eden yardım kuruluşu Habitat for Humanity ortaklığıyla inşa edilmiştir ([http-43](http://43)). Binanın odak noktası, güvenlik ve sürdürülebilirliği en uygun maliyetle sağlayabilmektir. 110 metrekare alanı kapsayan iki katlı ev, yapılan bağışlar hariç metrekare başına 165 dolara inşa edilmiştir. Bu durum akıllı malzemelerin, tasarımı sınırlamayacak şekilde cephelerde küçük ölçekli kullanımının uyarlanabilir cephelerin uygun maliyetli konutlarda da uygulanabileceğini göstermiştir. Sürdürülebilir özellikleri sade bir estetikle sentezlemek için cephenin giriş avlusuna bakan cam yüzeyini saran “eko perde” kullanılmıştır. Eko perde; avluyu gölgeleyen, enerjiyi yakalama ve hava temizleme özelliğine sahip brise

soleillerdir (http-44). Dış katman, ince PV panelleri barındıracak şekilde tasarlanmış siyah metal panellerden; iç katman havadaki zararlı partikülleri yakalayan ve nötralize eden bir fotokatalizör (TiO_2) malzemesi ile kaplanmış vinil şeritlerden oluşmaktadır (http-43).



Görsel 5.7. IVRV House Giriş Avlusu Cephesi (http-44)

IVRV Evi'nin uyarlanabilir cephesinin karşıladığı sürdürülebilirlik kriterleri:

- **İç mekân kalitesi:** İç mekânın havasını temizleyen TiO_2 malzemesi ile kaplanmış vinil şeritler kullanılmıştır. Sık aralıklarla yerleştirilen bu şeritler ve dış yüzeydeki siyah paneller, cam yüzeye sahip giriş avlusunu gölgelemiştir. Kalınlaştırılmış duvarlar ek yalıtım sağlamış ve gömme pencerelerin bulunduğu odalara gölgeleme imkânı sunmuştur.
- **Enerji:** Dış katmanda yer alan ince fotovoltaiik paneller ile enerji üretimi sağlanmaktadır. Eğimli ve dikey geniş açıklıklar yapay aydınlatma ihtiyacını, kalın duvarlar iç mekandaki enerji tüketimini azaltmıştır.
- **Malzeme, Atık:** Havayı temizleyen kaplamalar, kirliliği önlemektedir.



Şekil 5.13. IVRV Evi Sürdürülebilir Performans Şeması (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

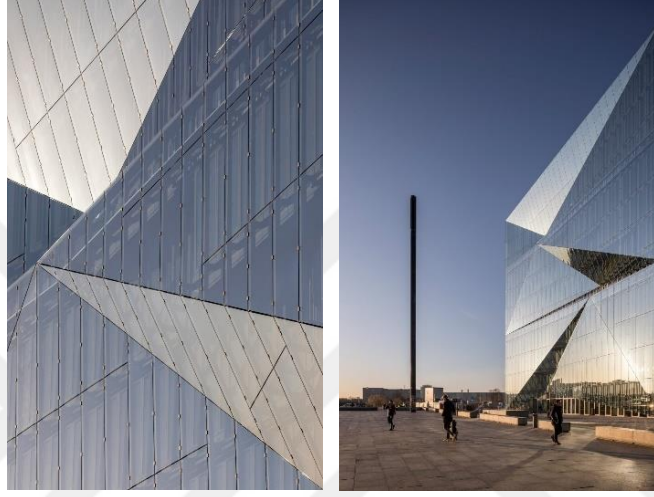
5.2.10. Cube Berlin

Tablo 5.10. Cube Berlin Hakkında Genel Bilgi (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

	Yapının Adı	Cube Berlin
	Yapının Konumu/Yılı	Berlin, Almanya / 2020
	Mimarı	3XN
	Cephenin Karşılıdığı Sürdürülebilirlik Parametreleri	• İç mekân kalitesi • Enerji • Malzeme • Atık

Cube Berlin, Danimarkalı mimarlık stüdyosu 3XN tarafından tasarlanan, Berlin'deki Spree Nehri ve merkez tren istasyonunun yanında bulunan ofis bloğudur. Yapının yer aldığı merkezi konum itibarıyla, heykelsi bir bina tasarımıyla meydanın canlandırılmasına katkı sunmak amaçlanmıştır (http-45). Bu kapsamda, farklı açılarda yerleştirilen yansıtıcı camlarla, ışığın düşme açısına göre görünümünün sürekli değişkenlik gösterdiği cam cephe tasarlanmıştır. Çift katmandan oluşan bina cephesinin iç ve dış katmanında reflektif özelliğe sahip koruyucu cam kullanılmış olup, katmanlar arası boşluğun aşırı ısınmasını önlemek için dış katman ayrıca güneş kontrol kaplamaları ve güneşi emen PVB katmanı ile desteklenmiştir (http-46). Çift katmanlı akıllı cam sistemine sahip cephe, radyant ısıyı atmosfere geri yansıtırken, iç mekandaki ısı kaybını

da önleyebilmektedir. Bu durum, tamamen cam cepheye sahip yapının güneş ısını kontrol altına almasını ve yüksek enerji verimliliği sağlamasını mümkün hale getirmiştir (http-47). Sonuç olarak yapıyı, dikkat çekici mimarisi ve geleneksel ofis binalarına göre daha düşük enerji tüketimi ile üst düzeyde çevresel katkısı ön plana çıkarmaktadır. Akıllı camlar arasındaki boşluktan doğal havalandırmanın sağlanması, yapının sürdürülebilir etkisinde önemli bir faktördür (http-46).



Görsel 5.8. *Cube Berlin Cephesi* (http-45)

Cube Berlin'in uyarlanabilir cephesinin karşıladığı sürdürülebilirlik kriterleri:

- **İç mekân kalitesi:** Çift katmanlı cephe ile cam ve kaplama malzemesinin özellikleri sayesinde güneş ışığı ve ısı kontrol altına alınmakta ve doğal havalandırma sağlanmaktadır.
- **Enerji:** Pasif sistemlerin kullanıldığı bina cephesi, ısıtma, soğutma, aydınlatma ve havalandırma sistemlerine duyulan ihtiyacı azalmaktadır.
- **Malzeme:** Reflektif özelliğe sahip iç ve dış cam, güneş kontrol kaplamaları ve güneşi emen PVB katmanı kullanılmıştır.
- **Atık:** Enerji verimliliği sağlanarak karbon emisyonu azaltılmıştır.



Şekil 5.14. Cube Berlin Sürdürülebilir Performans Şeması (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

5.3.Bulguların Değerlendirilmesi

Çalışma kapsamında incelenen örnek cephe uygulamalarının iç mekân kalitesi, enerji, malzeme, atık, inovasyon ana kategorileri ve bunların alt kategorilerine göre değerlendirilmesi sonucu toplanan verilerle Tablo 5.1 oluşturulmuştur. Bu tabloya ve incelenen örnek uygulamaların tasarım ve sürdürülebilir performanslarına göre belirli bulgulara ulaşılmış ve bu bulgular değerlendirilmiştir.

Tablo 5.11. İncelenen Örnek Uygulamaların Sürdürülebilir Performans Kriterleri (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

		Aktif Sistem		Hibrit Sistem				Pasif Sistem			
		Al Bahar Kulesi	SDU K. Kam püsü	KfW Westar kade	BIQ	İtalya Pavyo nu	IVRV Evi	Manue l G.G Has.	Bris Bane Oto parkı	Water Cube	Cube Berlin
İç Mekan Kalitesi	İç Hava Kalitesi			✓			✓		✓		✓
	Termal Konfor	✓	✓	✓		✓	✓			✓	✓
	Görsel Konfor	✓	✓	✓		✓	✓		✓		✓

Tablo 5.11. (Devam) İncelenen Örnek Uygulamaların Sürdürülebilir Performans Kriterleri (Yazar tarafından oluşturulmuştur.)

	Akustik Konfor						✓			✓	
Enerji	Enerji Tüketimi ve Karbon Emisyonunun Azaltılması	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
	Yenilenebilir Enerji Kullanımı	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
	Yenilenebilir Enerji Üretimi	✓			✓	✓	✓				
	Enerji Verimli Ekipmanlar	✓	✓	✓	✓		✓		✓		
Malzeme	Sürdürülebilir Kaynak Kullanımı				✓	✓	✓	✓		✓	✓
	Dayanıklılık ve Verimlilik				✓	✓		✓		✓	✓
Atık	Bina Yaşam Döngüsü Etkilerinin Azaltılması	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
	Uyarlanabilir Yapı Kullanımı	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
İnovasyon	Öncü ve Özgün Tasarım	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	

Tablo 5.11’de yer alan örnek uygulamalardan 2’si aktif, 4’ü hibrit ve 4’ü pasif uyarlanabilir cephe sistemine sahiptir. İtalya Pavyonu ve IVRV Evi örnekleri cephesinde bulunan fotovoltaik paneller nedeniyle aktif bir sisteme de sahip olup, hibrit sistem

kategorisinde değerlendirilmiştir. Aktif sisteme sahip uygulamaların malzeme kategorisinde, pasif sisteme sahip uygulamalarında enerji verimli ekipman kategorisinde yetersiz görünmesinin sebebi, örnek uygulamaların sürdürülebilirliği malzeme veya enerji verimli elektronik ekipmanlardan birinin yardımıyla sağlamasından kaynaklanmaktadır. Genel olarak örneklerin sürdürülebilir performanslarının çeşitliliği, uyarlanabilir cephelerin sürdürülebilirliği bütüncül bir yaklaşımla sağladığını göstermektedir. Ancak sürdürülebilir performanslarının çeşitliliği, her zaman sürdürülebilir etkisinin fazla olduğu anlamına gelmemektedir. Örneğin; IVRV Evi, sürdürülebilir ve ekonomik tasarım konseptiyle, birçok sürdürülebilir performans kriterlerini barındıran bir uygulama olsa da sürdürülebilirliği kısıtlı ölçüde gerçekleştirmektedir. Bu bakımdan, dinamik güneş ve rüzgâr kontrolü sağlayan aktif ve hibrit sisteme sahip uyarlanabilir cepheler, enerji verimliliğini daha etkili bir şekilde sağlamaktadır.

Aktif sistemli uyarlanabilir cepheye sahip binalar, pasif sistem veya pasif tasarım stratejileri ile desteklenerek uyum sağlama yetenekleri optimum seviyeye çıkarılmıştır. KfW Westarkade örneğinde, dış cepheye yerleştirilen sensörle kontrol edilebilen kapakçıklarla toplanan rüzgârın iç mekânda maksimum doğal havalandırma sağlaması için cephe çift katmanlı ve dış katmanı kademeli olacak şekilde, hâkim rüzgârın yönüne göre konumlanmış bir formda tasarlanmıştır. Bu hibrit uyarlanabilir sistem, binanın ısıtma ve soğutma giderlerinde %84 oranında tasarruf sağlamıştır. SDU Kolding Kampüsü örneğinde ise bina her cephesinden gün ışığı alacak şekilde üçgen formda tasarlanmış ve iç mekandaki parlamaların önlenmesi için cepheye dinamik güneş kırıcılar yerleştirilmiştir. Dolayısıyla uyarlanabilir sistemlerin pasif tasarım stratejileri ile desteklenmesi veya hibrit bir sistem oluşturulması cephenin sürdürülebilir etkisini artıracaktır.

İncelenen uygulamaların 6'sı, inovasyon kriterini karşılayan, öncü ve yenilikçi çözümleri ile farklı tasarım ödülleri almış binalardan oluşmaktadır. Bu binalardan birçoğunun öne çıkan noktası, farklı sistem ve malzeme çeşitlerinin kullanıldığı uyarlanabilir cepheye sahip olmasıdır. Water Cube ve İtalya Pavyonu örneklerinde yenilikçi malzeme kullanımı, sürdürülebilir etkisinin yanında farklı tasarım konseptlerinin cepheye uygulanmasını sağlamıştır. Bu bakımdan, pasif uyarlanabilir cephelerde sürdürülebilirliğin malzeme ölçeğinde sağlanması tasarıma esneklik katmıştır. Al Bahar Kuleleri'nde dinamik gölge kırıcıların formunun geleneksel mashrabia

strüktüründen etkilenecek tasarlanması, farklı açılarda yerleştirilen üçgen paneller ve farklı çalışma konfigürasyonu sayesinde sıcak iklimde üst düzey gölgeleme sağlamaktadır. Bu bakımdan, aktif gölgeleme sistemine sahip uyarlanabilir cepheler sürdürülebilirliğin tasarımıyla birleştirildiği, alışılmışın dışında dinamik bir cephe görünümü sunmaktadır.

Uyarlanabilir cephe uygulamalarının bazıları ilk örneği teşkil eden istisnai uygulamalardır. Örneğin; dünyanın ilk biyoreaktör cephesine sahip olan BIQ, yenilenebilir enerji kaynaklarının maksimum kullanımı ve enerji üretimi ile üst düzey enerji verimliliği sağlamaktadır. Fakat iç mekânda görsel konforu sınırlaması, yüksek bakım gerektirmesi gibi nedenlerden dolayı, kısıtlı uygulamaya sahiptir. Bu nedenle uyarlanabilir cephelerin mevcut durumda farklı uygulama çeşitleriyle sunduğu birçok sürdürülebilir fayda, kullanımının yaygınlaştırılması ve geliştirilmesine yönelik bir eğilimle daha fazla potansiyel barındırmaktadır.

6. SONUÇ

İklim değışikliğı ile ilgili küresel ölçekte yapılan anlaşmalar ve alınan önlemler konunun önemini net bir şekilde ortaya koysa da araştırmalardan elde edilen veriler sera gazı emisyonun azaltılması konusunda hedeflenen düzeyin gerisinde kaldığını göstermektedir. Binaların küresel enerji tüketiminde önemli bir paya sahip olması, bu konuda alınacak önlemleri de değerli hale getirmektedir. Dış ortam koşullarıyla ilk temas yüzeyi olan bina cepheleri, yapının sürdürülebilirliğinde önemli bir potansiyel oluşturmaktadır. Fakat iç ve dış ortam arasında sağlanacak denge pek çok parametrenin göz önünde bulundurulmasını gerektirmektedir. Mevcut bina cephelerinin değışen koşullara karşı statik duruşu, beklenen sürdürülebilir etkiyi sağlayamamaktadır. Bu doğrultuda, cephelerin dış ortam koşullarına adaptasyonunu sağlayan uyarlanabilir cepheler geliştirilmiştir.

Uyarlanabilir cepheler, aktif ve pasif sistemler yardımıyla iç mekân konfor koşullarından ödün vermeden, yüksek enerji performansı sağlamaktadır. Pasif sistemler, herhangi bir enerji tüketimi gerektirmeyen, tasarım stratejileriyle veya malzeme özellikleriyle uyum sağlarken; aktif sistemler bir miktar enerji tüketerek değışen çevresel koşullara sensör, işlemci ve aktüatör yardımıyla hızlı ve dinamik bir şekilde yanıt verebilmektedir. Ayrıca uyarlanabilir sistemler, cepheye farklı şekillerde de entegre edilebilmektedir. Bu durum yapının konumuna ve durumuna göre en uygun sistemin seçilerek optimum verim alınmasına olanak sağlamaktadır.

Pasif sistemlerde kullanılan akıllı malzemeler, sürdürülebilirliğin malzeme ölçeğine indirgenmesini sağlayarak tasarımda esneklik sağlamaktadır. Aktif sistemlerin ise cephede dinamik bir görünüm oluşturmaları, yapıya özgün bir kimlik kazandırabilmektedir. Dolayısıyla, uyarlanabilir cepheler sürdürülebilirliği estetikle bütünleştiren bir yaklaşım da sunmaktadır.

Bu tez, uyarlanabilir cephelerin sürdürülebilir mimariye potansiyel katkısını incelemektedir. Bu kapsamda, cephenin çalışma sistematığı hakkında bilgi verildikten sonra LEED, BREEAM, DGNB sertifikalarından yararlanılarak belirli sürdürülebilir kriterler oluşturulmuş ve örnek uygulamalar bu kriterler üzerinden değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda:

- Uyarlanabilir cepheler, belirlenen sürdürülebilirlik kategorilerinden iç mekân kalitesi, enerji, malzeme, atık ve inovasyon kriterlerinin birçoğunu bir arada karşılayan bütünleşik bir yaklaşım sunmaktadır.

- Uyarlanabilir cepheler, aynı tasarım kriterlerine farklı çözümler sunarak uygulama çeşitliliğini de barındırmaktadır.
- Cephede kullanılan malzeme, sistem ve tasarım stratejisi etrafında şekillenen uyarlanabilir özelliklerin sağladığı sürdürülebilir etki ve dinamik hareketin tasarımsal faydaları sayesinde; estetik algının ve sürdürülebilir bir çevrenin önem kazandığı günümüzde, nanoteknolojik malzemeler, yapay zeka ve akıllı sistemlerin gelişimi ile birlikte mimari tasarımlarda kullanımını her geçen gün artıracakı öngörülmektedir.

Esgil, Yamaçlı (2024), sürekli devinim ve gelişim içinde olan dış çevreye karşı, binaların durağanlığıyla meydan okuması yerine buna uyarlanabilir cepheler ile adaptasyon sağlayarak hem çevresel hem de görsel fayda elde etmesi gerektiğini ifade etmiştir. Çalışma kapsamında, incelenen uyarlanabilir cephelerin çevresel uyum ile başta enerji verimliliği olmak üzere, bütüncül sürdürülebilir fayda sağladığı görülmektedir. Bu bakımdan, binaların gelişen ve değişen dünyaya etkisinin karbon emisyonu ve çevre kirliliği olarak değil, tasarımda yenilik ve bunun getirdiği sürdürülebilir fayda şeklinde yansımaları için uyarlanabilir cephelerin kullanımının yaygınlaştırılması gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- Abdullah, Y. S. ve Al-Alwan, H. A. (2019). Smart material systems and adaptiveness in architecture. *Ain Shams Engineering Journal*, 10(3), 623-638.
- Aelenei, D., Aelenei, L. ve Vieira, C. P. (2016). Adaptive Façade: Concept, Applications, Research Questions. *Energy Procedia*, 91, 269-275.
- Ahmed, O. K., Hamada, K. I., Salih, A. M., Daoud, R. W. (2020). A state of the art review of PV-Trombe wall system: Design and applications. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 39(3), e13370.
- Akadiri, P. O., Chinyio, E. A., ve Olomolaiye, P. O. (2012). Design of A Sustainable Building: A Conceptual Framework for Implementing Sustainability in the Building Sector. *Buildings*, 2(2), 126-152.
- Allen, G., Bernstein, A., Cao, X.; Eitland, E., Flanigan, S., Gokhale, M., Goodman, J., Klager, S., Klingensmith, L., Laurent, J. (2017). The 9 Foundations of a Healthy Building. *Harvard T.H. Chan School of Public Health*. https://healthybuildings.hsph.harvard.edu/wp-content/uploads/2024/10/9_Foundations_of_a_Healthy_Building_February_2017_R1.8.pdf (Erişim Tarihi: 20.05.2025).
- Amiri, A., Ottelin, J. ve Sorvari, J. (2019). Are LEED-certified buildings energy-efficient in practice?. *Sustainability*, 11(6), 1672.
- Attia, S., Lioure, R. ve Declaude, Q. (2020). Future Trends and Main Concepts of Adaptive Facade Systems. *Energy Science & Engineering*, 8(9), 3255-3272.
- Banham, R. (1969). *The Architecture of the Well-Tempered Environment*. Architectural Press.
- Barbosa, S. ve Ip, K. (2014). Perspectives of double skin façades for naturally ventilated buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 1019-1029.
- Barozzi, M., Lienhard, J., Zanelli, A., Monticelli, C. (2016). The Sustainability of Adaptive Envelopes: Developments of Kinetic Architecture. *Procedia Engineering*, 155, 275-284.
- Benachio, G. L. F., Freitas, M. D. C. D. ve Tavares, S. F. (2020). Circular economy in the construction industry: A systematic literature review. *Journal of cleaner production*, 260, 121046
- Borschewski, D., Voigt, M. P., Albrecht, S., Roth, D., Kreimeyer, M., Leistner, P. (2023). Why are adaptive facades not widely used in practice? Identifying ecological and economical benefits with life cycle assessment. *Building and Environment*, 232, 110069.
- Brand, S. (1995). *How Buildings Learn: What Happens After They're Built*. Penguin Books.

- BREEAM (2016) BREEAM International New Construction 2016: Technical Manual (SD233-Versiyon 2.0.). BRE Global Ltd. Watford, United Kingdom
- BREEAM (2020). *BREEAM In-Use International Technical Manual: Commercial (SD-6063-Versiyon 6.0.0)*. BRE Global Ltd, Watford, UK.
- BREEAM (2022), *BREEAM-NOR v6.0 New Construction: Technical Manual SD5076NOR*. BRE Global Limited, Watford, UK.
- BREEAM (2023), *BREEAM-SE New Construction v6.0 Technical Manual 1.1*. BRE Global Limited, Watford, UK.
- Bribián, I. Z., Capilla, A. V. ve Usón, A. A. (2011). Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. *Building and environment*, 46(5), 1133-1140.
- Brundtland, G. H. (1987). *Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development*. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Davies, M. (1981). A Wall for all Seasons. *Riba Journal-Royal Institute of British Architects*, 88(2), 55-57.
- DGNB (2020). *DGNB System New Construction, Buildings Criteria Set—Version 2020*. DGNB. Stuttgart, Germany.
- Esgil, M. ve Yamaçlı, R. (2024). Kinetik Mimarlık Kapsamında Uyarlanabilir Cephelerin Sürdürülebilir Mimariye Katkısı. *ArtGRID-Journal of Architecture Engineering and Fine Arts*, 6(1), 60-79.
- Fox, M. A. ve Yeh, B. P. (2000). Intelligent Kinetic Systems in Architecture. İçinde P. Nixon, G. Lacey, & S. Dobson (Ed.), *Managing Interactions in Smart Environments* (ss. 91-103). Springer London.
- Ghaffarianhoseini, A., Ghaffarianhoseini, A., Berardi, U., Tookey, J., Li, D. H. W., Kariminia, S. (2016). Exploring the advantages and challenges of double-skin façades (DSFs). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1052-1065.
- Global Alliance for Buildings and Construction (2020), *2020 Global Status Report for Buildings and Construction*; UN Environment Program: Nairobi, Kenya, 2020.
- González-Torres, M., Pérez-Lombard, L., Coronel, J. F., Maestre, I. R., Yan, D. (2022). A review on buildings energy information: Trends, end-uses, fuels and drivers. *Energy Reports*, 8, 626-637.
- Guedes, M. C., Pinheiro, M. ve Alves, L. M. (2009). Sustainable architecture and urban design in Portugal: An overview. *Renewable Energy*, 34(9), 1999-2006.
- Habibi, S., Valladares, O. P. ve Peña, D. M. (2022). Sustainability performance by ten representative intelligent façade technologies: a systematic review. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 52, 102001.

- Harry, S. (2016). Dynamic adaptive building envelopes—an innovative and state-of-the-art technology. *Creative Space*, 3(2), 167-183.
- Hasselaar, B. L. H. (2006). Climate Adaptive Skins: Towards The New Energy-efficient Façade. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 99, 351-360.
- Hossain, M. U. ve Poon, C. S. (2018). Global warming potential and energy consumption of temporary works in building construction: A case study in Hong Kong. *Building and Environment*, 142, 171-179.
- Hu, Z., Maxit, L. ve Cheng, L. (2021). Acoustic design and analyses of a double Skin Façade system. *Applied Acoustics*, 173, 107727.
- Igwe, A. E., Ezema, E. C., Okeke, F. O., Okpalike, C. (2022, September). Architectural mitigating strategies for air pollution in the built environment. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 1054, No. 1, p. 012046). IOP Publishing.
- International Energy Agency (2006), *Light's Labour's Lost: Policies for Energy-efficient Lighting*. International Energy Agency. Paris, Fransa.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). Buildings. In *Climate Change 2022 - Mitigation of Climate Change: Working Group III Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (ss. 953–1048). Cambridge: Cambridge University Press.
- Jalloul, H. (2020). *Sustainable and Adaptive Architecture: Rethinking The Capabilities of Cost-Efficient Intelligent Facades in Extreme Climates* [Yüksek Lisans Tezi, Beirut Arab University, Faculty of Architectural Engineering]
- Jarrahi, A., Aflaki, A., Khakpoor, M., Esfandiari, M. (2024). Enhancing indoor air quality: Harnessing architectural elements, natural ventilation and passive design strategies for effective pollution reduction—A comprehensive review. *Science of The Total Environment*, 176631.
- Kamila, S. (2013). Introduction, classification and applications of smart materials: an overview. *American Journal of Applied Sciences*, 10(8), 876.
- Keeble, B. R. (1988). The Brundtland report: 'Our common future'. *Medicine and war*, 4(1), 17-25.
- Knippers, J., Scheible, F., Oppe, M., Jungjohann, H. (2012). Bio-inspired Kinetic GFRP-façade for the Thematic Pavilion of the EXPO 2012 in Yeosu. *IASS-APCS Symposium 2012: From Spatial Structures to Space Structures*, 341-347.
- Kocaağa, M. (2022). *Çevresel Performans Odaklı Adaptif Cephe Sistemlerinin İncelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü].

- Konstantoglou, M. ve Tsangrassoulis, A. (2016). Dynamic operation of daylighting and shading systems: A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 268-283.
- Konstantinou, T. ve Prieto Hoces, A. (2018). Environmental Design Principles for the Building Envelope and More _: Passive and Active Measures. İçinde T. Konstantinou, N. Č. Ignjatović, & M. Zbašnik-Senegačnik (Ed.), *Energy: Resources and Building Performance* (C. 4, ss. 147-180). TU Delft OPEN Publishing.
- Korniyenko, S. V. (2021). Progressive Trend in Adaptive Façade System Technology. A Review. *AlfaBuild*, 19(4), 1902-1902.
- Krieg, O. D. (2016). HygroSkin–meteorosensitive pavilion. In *Advancing Wood Architecture* (ss. 125-138). Routledge.
- Li, W. (2011). Sustainable design for low carbon architecture. *Procedia Environmental Sciences*, 5, 173-177.
- Li, Y. L., Han, M. Y., Liu, S. Y., Chen, G. Q. (2019). Energy consumption and greenhouse gas emissions by buildings: A multi-scale perspective. *Building and Environment*, 151, 240-250.
- Lienhard, J., Schleicher, S., Poppinga, S., Masselter, T., Milwich, M., Speck, T., Knippers, J. (2011). Flectofin: A Hingeless Flapping Mechanism Inspired by Nature. *Bioinspiration & Biomimetics*, 6(4), 045001.
- Liu, X., Sun, Y., Wei, S., Meng, L., Cao, G. (2021). Illumination distribution and daylight glare evaluation within different windows for comfortable lighting. *Results in Optics*, 3, 100080.
- Liyanage, D. R., Hewage, K., Hussain, S. A., Razi, F., Sadiq, R. (2024). Climate adaptation of existing buildings: A critical review on planning energy retrofit strategies for future climate. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 199, 114476.
- Loonen, R. C. G. M. (2010). *Climate Adaptive Building Shells: What Can We Simulate?* [Yüksek Lisans Tezi, Eindhoven University of Technology, Faculty of Architecture, Building & Planning].
- 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.
- Loonen, R. C., Rico-Martinez, J. M., Favoino, F., Brzezicki, M., Ménézo, C., La Ferla, G., Aelenei, L. L. (2015). Design for façade adaptability: Towards a unified and systematic characterization. 10th Conference on Advanced Building Skins içinde (ss. 1284-1294). Economic Forum, Bern.
- Mak, C. M. ve Wang, Z. (2015). Recent advances in building acoustics: An overview of prediction methods and their applications. *Building and Environment*, 91, 118-126.

- Mazzucchelli, E. S., Romano, R., Aelenei, L., Gomes, M. da G., Karlessi, T., Alston, M., Aelenei, D. (2018). Passive Adaptive Façades – Examples from COST TU1403 Working Group 1. İçinde A. Luible, S. Gosztanyi, M. Overend, L. Aelenei, A. Krstic-Furundzic, M. Perino, F. Goia, F. Wellershoff, S. Attia, U. Pottgiesser, U. Knaack, & C. Louter (Ed.), *Facade 2018 - Adaptive!* (ss. 63-72). TU Delft Open.
- Meagher, M. (2015). Designing for change: The poetic potential of responsive architecture. *Frontiers of architectural Research*, 4(2), 159-165.
- Menges, A., Reichert, S. ve Krieg, O. D. (2014). Meteorosensitive Architectures. İçinde M. Kretzer & L. Hovestadt (Ed.), *ALIVE: Advancements in adaptive Architecture* (ss. 39-42). Birkhäuser.
- Mikhaylov, A., Moiseev, N., Aleshin, K., Burkhardt, T. (2020). Global Climate Change and Greenhouse Effect. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 7(4), 2897-2913.
- Moloney, J. (2011). *Designing Kinetics for Architectural Facades: State Change*. Routledge. London, UK.
- Mulder, C., Conti, E. ve Mancinelli, G. (2021). Carbon budget and national gross domestic product in the framework of the Paris Climate Agreement. *Ecological indicators*, 130, 108066.
- Negroponte, N. (1976). Soft Architecture Machines. İçinde *Soft Architecture Machines*. The MIT Press.
- Newton, J. L. ve Freyfogle, E. T. (2005). Sustainability: a Dissent. *Conservation Biology*, 19(1), 23-32.
- Newsham, G. R., Mancini, S. ve Birt, B. J. (2009). Do LEED-certified buildings save energy? Yes, but.... *Energy and Buildings*, 41(8), 897-905.
- Oxford University Press. (b.t.). Sürdürülebilirlik. Oxford English dictionary (Online versiyon). <https://www.oed.com/> [Erişim Tarihi: 28 Aralık, 2024]
- Organisation for Economic Co-Operation and Development (2019), *Global Material Resources Outlook to 2060: Economic drivers and environmental consequence*. OECD Publishing, Paris, France.
- One Click LCA (2021). *Life Cycle Assessment for Buildings: Why it matters and how to use it*. One Click LCA Ltd. Helsinki, Finland.
- Orhon, A. V. (2016). Adaptive Building Shells. İçinde R. Efe, L. Matchavariani, A. Yaldir, & L. Lévai (Ed.), *Developments in Science and Engineering* (ss. 555-567). St. Kliment Ohridski University Press.
- Owens, B., Macken, C., Rohloff, A., Rosenberg, H. (2013). LEED V4 impact category and point allocation development process. *US Green Building Council. Retrieved*, 2(01), 2016.

- Özmehmet, E. (2007). Avrupa ve Türkiye’deki Sürdürülebilir Mimarlık Anlayışına Eleştirel Bir Bakış. *Journal of Yaşar University*, 2(7), 809-826.
- Pang, Y. L., Lim, S., Lai, S. O., Chong, W. C. (2023). Green Chemistry for the development of biomass conversion process into cellulose and bioethanol. In *Green Sustainable Process for Chemical and Environmental Engineering and Science* (ss. 121-137). Elsevier.
- Ruck, N. (2004) Daylighting of Buildings. *Environment Design Guide*. 1-8.
- Sassi, P. (2006). Strategies for Sustainable Architecture. In Taylor and Francis eBooks (1.Baskı) Taylor and Francis.
- Sauerbruch, M. (2011). Sustainable architecture. *Detail Green English*, 1, 26-31.
- Schleicher, S., Lienhard, J., Poppinga, S., Speck, T., Knippers, J. (2015). A methodology for transferring principles of plant movements to elastic systems in architecture. *Computer-Aided Design*, 60, 105-117.
- Schumacher, M., Vogt, M. M. ve Krumme, L. A. C. (2019). *New MOVE: Architecture in Motion-New Dynamic Components and Elements*. Basel: Birkhäuser.
- Stankovic, D., Tanic, M. ve Cvetanovic, A. (2019). The impact of intelligent systems on architectural aesthetics. *E3S Web of Conferences* içinde (s. 01044). EDP Sciences.
- Soudian, S. ve Berardi, U. (2021). Development of a performance-based design framework for multifunctional climateresponsive façades. *Energy and Buildings*, 231, 110589.
- Soulti, E. ve Leonard, D. (2016). *The Value of BREEAM. A Review of Latest Thinking in the Commercial Building Sector*. BRE Global Ltd. London, UK.
- Sönmez, B. ve Kiasif, G. Ç. (2018). Çevresel, sosyal ve ekonomik bağlamda akıllı cephe sistemlerinin sürdürülebilir kalkınmaya etkileri. *Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 1(1), 47-70.
- Suner, A. (2011). Adaptive architecture. *Çevresel Etkenlere Göre Değişebilen Mimari*, Mayıs-Haziran, 85-86.
- Tabadkani, A., Roetzel, A., Li, H. X., Tsangrassoulis, A. (2020). A review of automatic control strategies based on simulations for adaptive facades. *Building and Environment*, 175, 106801.
- Tabadkani, A., Roetzel, A., Li, H. X., Tsangrassoulis, A. (2021). Design approaches and typologies of adaptive facades: A review. *Automation in Construction*, 121, 103450.
- Tascon, M.H. (2008) “Experimental and Computational Evaluation of Thermal Performance and Overheating in Double Skin Facades”, [Doktora Tezi, Nottingham Üniversitesi]

- T.C. Dışışleri Bakanlığı. (2022). Paris Anlaşması. T.C. Dışışleri Bakanlığı <https://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa> (Erişim Tarihi: 28 Aralık 2024).
- Tebbouche, H., Bouchair, A. ve Grimes, S. (2017). Towards an environmental approach for the sustainability of buildings in Algeria. *Energy Procedia*, 119, 98-110.
- Tuladhar, R. ve Yin, S. (2019). Sustainability of using recycled plastic fiber in concrete. *Use of Recycled Plastics in Eco-efficient Concrete*, 441-460.
- Türk Dil Kurumu (2024). Sürdürülebilir, Sürdürülebilirlik. Türk Dil Kurumu Güncel Türkçe Sözlük (Online versiyon). <https://sozluk.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 6 Mart, 2025)
- United Nations Environment Programme (2009). *Buildings and Climate Change: Summary for Decision-Makers*. United Nations Environment Programme. <https://research.monash.edu/en/publications/buildings-and-climate-change-summary-for-decision-makers>
- United Nations Environment Programme (2022). *2022 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector*. United Nations Environment Programme. <https://www.unep.org/resources/publication/2022-global-status-report-buildings-and-construction>
- United Nations Environment Programme (2023). *Emissions Gap Report 2023: Broken Record – Temperatures hit new highs, yet world fails to cut emissions (again)*. United Nations Environment Programme.
- U.S. Green Building Council. (2014). LEED® Core Concepts Guide. An Introduction to LEED and Green Building (3rd ed.). Green Building Council. Washington, ABD.
- U.S. Green Building Council (2024). *USGBC Impact Report 2024: Accelerating green buildings to improve lives and livelihoods*. U.S. Green Building Council Washington, ABD
- U.S. Green Building Council (2025). *Leed V4.1 Building Design And Construction*. U.S. Green Building Council, Washington, ABD
- Voigt, M. P., Chwalek, K., Roth, D., Kreimeyer, M., Blandini, L. (2023). The integrated design process of adaptive façades – A comprehensive perspective. *Journal of Building Engineering*, 67, 106043.
- Yunus, I. S., Harwin, Kurniawan, A., Adityawarman, D., Indarto, A. (2012). Nanotechnologies in water and air pollution treatment. *Environmental Technology Reviews*, 1(1), 136-148.
- Wang, G., Luo, T., Luo, H., Liu, R., Liu, Y., Liu, Z. (2024). A comprehensive review of building lifecycle carbon emissions and reduction approaches. *City and Built Environment*, 2(1), 12.
- Wood, A. ve Salib, R. (eds.) (2012) *Guide to Natural Ventilation in High Rise Office Buildings*, Routledge, London, UK.

- World Health Organization (2010). *WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants*. World Health Organization. Geneva, Switzerland.
- World Health Organization (2011). *Burden of disease from environmental noise: Quantification of healthy life years lost in Europe*. World Health Organization Regional Office for Europe, Copenhagen, Danimarka
- World Health Organization (b.t.). Information for the general public during heat-waves. <https://www.who.int/docs/default-source/documents/radiation/phe-info-for-the-public--heatwaves.pdf> (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2025)
- Wu, P., Mao, C., Wang, J., Song, Y., Wang, X. (2016). A decade review of the credits obtained by LEED v2. 2 certified green building projects. *Building and Environment*, 102, 167-178.
- Qader, I. N., K  k, M., Dagdelen, F., Aydoğdu, Y. (2019). A review of smart materials: researches and applications. *El-Cezeri*, 6(3), 755-788.
- Zaimen, M. ve Laouar, D. (2020). *L'effet De La Facade Adaptative Sur Le Confort Thermique Interieur Dans Les Equipements Publics En Algerie* [Doktora Tezi]. Universit   de Jijel, Facult   des Sciences et de la Technologie.
- Zou, P. X., ve Leslie-Carter, R. (2010). Lessons learned from managing the design of the 'Water Cube' National Swimming Centre for the Beijing 2008 Olympic Games. *Architectural Engineering and Design Management*, 6(3), 175-188.
- http-1: https://www.yapikatalogu.com/blog/cift-cidarli-cephelerin-calisma-sistemleri_308 (Erişim Tarihi: 04.12.2024)
- http-2: <https://rkw.plus/de/projekt/arag-tower/#> (Erişim Tarihi: 04.12.2024)
- http-3: <https://www.arkiv.com.tr/proje/kucukcekmece-belediyesi-yeni-hizmet-binasi/2351> (Erişim Tarihi: 04.12.2024)
- http-4: <https://www.arkiv.com.tr/proje/maslak-no1-ofis-yapisi/5840> (Erişim Tarihi: 04.12.2024)
- http-5: <https://www.archdaily.com/424911/hygroskin-meteorosensitive-pavilion-achim-menges-architect-in-collaboration-with-oliver-david-krieg-and-steffen-reichert> (Erişim Tarihi: 02.11.2023)
- http-6: <https://architectuul.com/architecture/cooled-conservatories-gardens-by-the-bay> (Erişim Tarihi: 31.10.2023)
- http-7: <https://www.architecturalrecord.com/ext/resources/archives/tech/techFeatures/2013/images/05/Dynamic-facades-9.jpg> (Erişim Tarihi: 31.10.2023)
- http-8: <https://archello.com/project/kiefer-technic-showroom> (Erişim Tarihi: 10.11.2023)

- http-9: https://soma-architecture.com/index.php?page=theme_pavilion&parent=2# (Erişim Tarihi: 01.11.2023)
- http-10: https://www.archdaily.com/326747/q1-thyssenkrupp-quarter-essen-jswd-architekten-chaix-morel-et-associes/510bd652b3fc4be6060000be-q1-thyssenkrupp-quarter-essen-jswd-architekten-chaix-morel-et-associes-sunshade-diagram?next_project=no (Erişim Tarihi: 23.05.2024)
- http-11: <https://www.archdaily.com/162101/ad-classics-institut-du-monde-arabe-jean-nouvel> (Erişim Tarihi: 23 Mayıs, 2024)
- http-12: <https://www.azahner.com/works/stony-brook> (Erişim Tarihi: 23.05.2024)
- http-13: <https://bregroup.com/about/history/timeline> (Erişim Tarihi: 08.04.2025)
- http-14: <https://breeam.com/standards> (Erişim Tarihi: 11.04.2025)
- http-15: <https://www.dgnb.de/en/dgnb/about-dgnb> (Erişim Tarihi: 13.04.2025)
- http-16: <https://www.dgnb.de/en/certification/important-facts-about-dgnb-certification/about-the-dgnb-system> (Erişim Tarihi: 14.04.2025)
- http-17: <https://www.dgnb.de/en/certification/buildings/new-construction> (Erişim Tarihi: 14.04.2025)
- http-18: <https://www.archdaily.com/486302/compiegne-univeristy-of-technology-ameller-dubois-and-associes> (Erişim Tarihi: 09.05.2025)
- http-19: <https://www.ashrae.org/File%20Library/Technical%20Resources/Technical%20FAQs/TC-02.01-FAQ-92.pdf> (Erişim Tarihi: 10.05.2025)
- http-20: <https://breeam.com/about/net-zero-carbon#:~:text=BREEAM%20certification%20focuses%20on%20reducing,and%20end%20of%20life.> (Erişim Tarihi: 15.05.2025)
- http-21: <https://www.buildingenclosureonline.com/articles/86976-the-countdown-to-zero-net-energy> (Erişim Tarihi: 15.05.2025)
- http-22: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/monthly-electricity-statistics> (Erişim Tarihi: 05.05.2025)
- http-23: <https://ember-energy.org/countries-and-regions/oecd/> (Erişim Tarihi: 05.05.2025).
- http-24: <https://www.usgbc.org/credits/new-construction-core-and-shell-schools-new-construction-retail-new-construction-data-20?return=/credits/New%20Construction/v4.1/Material%20&%20resources> (Erişim Tarihi: 15.05.2025)

- http-25: <https://www.arup.com/projects/national-aquatics-center-water-cube/> (Erişim Tarihi: 16.05.2025)
- http-26: <https://www.architen.com/articles/etfe-the-new-fabric-roof/> (Erişim Tarihi: 16.05.2025)
- http-27: <https://architizer.com/projects/watercube-national-swimming-centre/>
- http-28: <https://www.archdaily.com/316143/kfw-westarkade-sauerbruch-hutton> (Erişim Tarihi: 17.05.2025)
- http-29: <https://www.archdaily.com/270592/al-bahar-towers-responsive-facade-aedas> (Erişim Tarihi: 17.05.2025).
- http-30: <https://www.arup.com/projects/al-bahr-towers/> (Erişim Tarihi: 17.05.2025).
- http-31: <https://www.uapcompany.com/projects/turbulent-line#gallery> (Erişim Tarihi: 17.05.2025).
- http-32: <https://www.designboom.com/art/brisbane-airport-kinetic-parking-garage-facade-by-ned-kahn-uap/> (Erişim Tarihi: 17.05.2025)
- http-33: https://www.architectmagazine.com/technology/architectural-detail/fighting-a-megacitys-pollution-with-mega-panels_o (Erişim Tarihi: 17.05.2025).
- http-34: <https://www.iaacblog.com/programs/computational-design-hospital-manuel-gea-gonzalez-facade/> (Erişim Tarihi: 17.05.2025).
- http-35: <https://www.fastcompany.com/2681660/this-beautiful-mexico-city-building-eats-the-citys-smog> (Erişim Tarihi: 17.05.2025).
- http-36: <https://www.internationale-bauausstellung-hamburg.de/en/themes-projects/the-building-exhibition-within-the-building-exhibition/smart-material-houses/biq/projekt/biq.html> (Erişim tarihi: 18.05.2025).
- http-37: <https://www.dezeen.com/2015/07/14/henning-larsen-syddansk-universitet-sdu-kolding-campus-building-denmark-green-standards-university/> (Erişim Tarihi: 17.05.2025)
- http-38: <https://www.archdaily.com/590576/sdu-campus-kolding-henning-larsen-architects> (Erişim Tarihi: 17.05.2025)
- http-39: <https://www.henninglarsen.com/projects/university-of-southern-denmark-campus-kolding> (Erişim Tarihi: 18.05.2025)
- http-40: <https://www.world-architects.com/en/nemesi-studio-roma/project/palazzo-italia-italy-pavilion-expo-2015> (Erişim Tarihi: 18.05.2025).
- http-41: <https://www.re-thinkingthefuture.com/materials-construction/a3397-smart-materials-the-future-of-architecture/> (Erişim Tarihi: 18.05.2025).

- http-42: <https://www.architectmagazine.com/project-gallery/milan-expo-2015-italy-6692> (Erişim Tarihi: 18.05.2025).
- http-43: <https://www.dezeen.com/2016/06/22/sci-arc-students-habitat-for-humanity-residential-architecture-low-income-los-angeles-neighbourhood-california-usa/> (Erişim Tarihi: 17.05.2025).
- http-44: <https://www.archdaily.com/874907/ivrv-sci-arc-plus-darin-johnstone-architects> (Erişim Tarihi: 17.05.2025).
- http-45: <https://www.dezeen.com/2020/09/03/berlin-cube-office-block-3xn-washingtonplatz/> (Erişim Tarihi: 17.05.2025).
- http-46: <https://www.glassonweb.com/news/cube-berlin-double-skin-facade-meets-complex-aesthetic-and-technical-performance-requirements> (Erişim Tarihi: 17.05.2025).
- http-47: <https://designwanted.com/cube-berlin-3xn-architects/> (Erişim Tarihi: 17.05.2025).

ÖZGEÇMİŞ

ORCID NO: 0000-0002-6846-0404

Ad Soyad : Mehmet ESGİL

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2025, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mimarlık Bölümü, Bina Bilgisi, Tezli Yüksek Lisans
- 2021, KTO Karatay Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Lisans

Yayınları ve/veya Bilimsel/Sanatsal Faaliyetleri:

- Esgil, M., & Yamaçlı, R. (2023). Akıllı Cephelerin Sürdürülebilirliğe Etkisi: Türkiye ve Dünyadaki Örnekleri. *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, 6(1), 1-12.
- Esgil, M., & Yamaçlı, R. (2023). Uyarlanabilir Cepheler ile Enerji Etkin Tasarım. *EKSEN Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 4(2), 1-18.
- Esgil, M., & Yamaçlı, R. (2024). Biyofilik Tasarım Yaklaşımı Olarak Yeşil Cephe Uygulamaları Üzerine Araştırma. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Teknoloji ve Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 6(2), 97-113.
- Esgil, M., & Yamaçlı, R. (2024). Kinetik Mimarlık Kapsamında Uyarlanabilir Cephelerin Sürdürülebilir Mimariye Katkısı. *ArtGRID-Journal of Architecture Engineering and Fine Arts*, 6(1), 60-79.