

UYARLANABİLİR CEPHELER İLE ENERJİ ETKİN TASARIM

Mehmet ESGİL*, Ruşen YAMAÇLI**

Öz

Binalar, küresel enerji tüketiminin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Binalarda enerji tüketiminin sebep olduğu hem ekonomik hem de çevresel sorunlar, enerji etkin tasarımın önemini her geçen gün artırmaktadır. Binalarda harcanan enerji genellikle değişen iklim koşullarına karşı iç-dış mekân ilişkisini dengede tutarak, kullanıcı konforunun sağlanması için harcanmaktadır. Bu nedenle enerji verimliliği konusunda dış ortamın yapı ile ilk temas ettiği yüzey olan cephelerin rolü büyüktür. Gelişen teknoloji ile birlikte çözüm olarak malzeme, sistem ve bileşenler aracılığı ile belli parametrelere göre işlevlerinde değişiklik yapabilen uyarlanabilir cepheler geliştirilmiştir. Bu çalışmada, uyarlanabilir cephelerin enerji etkin tasarıma ne ölçüde katkı sağladığının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda, ilk olarak, cephenin enerji verimliliği konusundaki önemi belirtilerek, yapıyı oluşturan diğer bileşenlerle ilişkisi irdelenmiştir. Daha sonra, enerji etkin cephe tasarımı için belli parametreler belirlenmiş ve bu parametreleri karşılayabilecek en etkili çözümün uyarlanabilir cepheler olduğu vurgulanmıştır. Uyarlanabilir cephelerin tanımı, onları geleneksel cephelerden ayıran özellikleri ve önemi belirtildikten sonra, değişen çevresel koşullara verdiği tepkilere göre pasif ve aktif uyarlanabilir cephe olarak iki sınıfa ayrılmıştır. Ardından, uyarlanabilir cepheye sahip altı örnek tasarım yaklaşımları, belirlenen enerji etkin cephe tasarım parametrelerini karşılamaları ve sahip oldukları pasif-aktif uyarlanabilir cephe türüne göre incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda uyarlanabilir cephelerin enerji etkin cephe tasarım parametrelerine verdiği yanıtlar ile enerji verimliliğine önemli ölçüde katkı sağladığı tespit edilmiş, ayrıca pasif ve aktif cephe sistemlerinin birlikte entegre bir şekilde kullanıldığı uyarlanabilir cepheler, enerji etkinliği bakımından en ideal çözüm olarak önerilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Uyarlanabilir cephe; Enerji etkinliği; Mimari tasarım; Aktif cephe; Pasif cephe

* Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, esgilmehmet@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-6846-0404

** Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, ryamacli@eskisehir.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-9659-9246

Copyright© Eksen Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Dergisi (Eksen Journal of Dokuz Eylül University Faculty of Architecture)

<https://dergipark.org.tr/en/pub/eksen>

Geliş Tarihi: 29.04.2023 Kabul Tarihi: 18.06.2023

ENERGY EFFICIENT DESIGN WITH ADAPTABLE FACADES

Mehmet ESGİL^{*}, Ruşen YAMAÇLI^{**}

Abstract

Buildings account for a significant portion of global energy consumption. Both economic and environmental problems caused by energy consumption in buildings increase the importance of energy efficient design every day. The energy consumed in buildings is primarily used to provide user comfort by keeping the indoor-outdoor relationship in balance against the change in climate conditions. For this reason, the role of building facades which are the first point of contact with the external environment has an essential role in energy efficiency. As a solution with the developing technology, adaptive facades that can modify their functions according to certain parameters through materials, systems and components have been developed. This study aims to determine to what extent adaptive facades contribute to energy efficient design. In this regard, first of all, the importance of façades in terms of energy efficiency is emphasized and their relationship with other components of the building is examined. Then certain parameters are identified for energy efficient facade design, highlighting that adaptive facades are the most effective solution to meet these parameters. After defining adaptive facades and distinguishing them from traditional facades, their importance and features, they are divided into two categories as passive and active adaptive facades based on their responses to changing environmental conditions. Afterwards, six examples with adaptive facades are examined and evaluated based on their design approaches, compliance with the identified energy efficient facade design parameters, and the passive-active adaptive facade type they have. As a result, it is determined that adaptive facades contribute significantly to energy efficiency with their responses to energy efficient facade design parameters. In addition, adaptive facades, in which passive and active facade systems are used in an integrated manner, are proposed as the most ideal solution in terms of energy efficiency.

Keywords: Adaptive facade; Energy efficiency; Architectural design; Active facade; Passive facade

^{*} Eskişehir Technical University, Faculty of Architecture, Department of Architecture, esgilmehmet@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-6846-0404

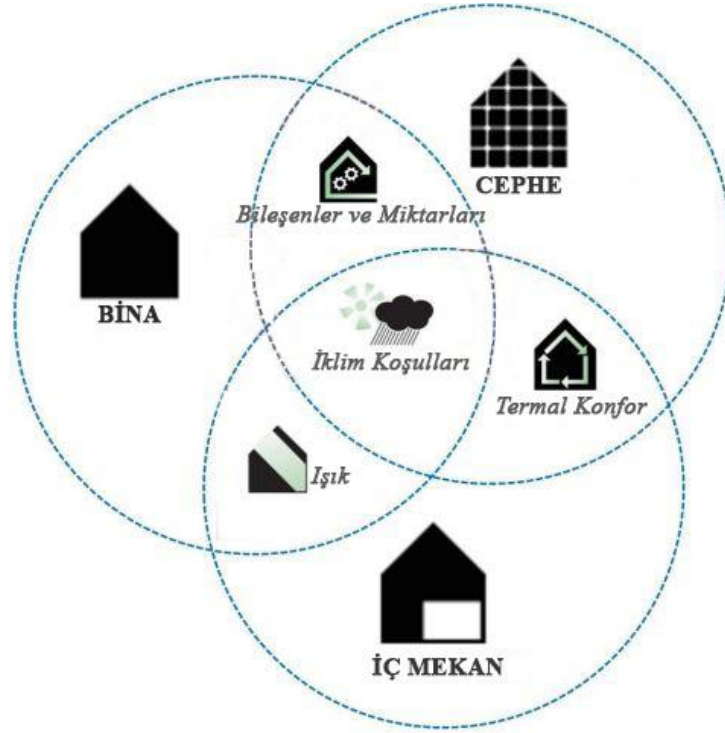
^{**} Eskişehir Technical University, Faculty of Architecture, Department of Architecture, ryamacli@eskisehir.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-9659-9246

Copyright© **Eksen** Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Dergisi (**Eksen** Journal of Dokuz Eylül University Faculty of Architecture)
<https://dergipark.org.tr/en/pub/eksen>

Received: 29.04.2023 Accepted: 18.06.2023

GİRİŞ

Son araştırmalar gelişmiş ülkelerde insanların zamanlarının ortalama % 90'ını iç mekânlarda geçirdiklerini göstermektedir (Aelenei vd., 2016). Günümüzde binalar, kullanıcıların yaşam alanlarındaki tüm organizasyon faaliyetleri göz önünde bulundurularak, kullanıcı konforunu ön planda tutacak şekilde tasarlanmaktadır. Bu durum, iç mekânda kullanıcı konforunun sağlanması için ısıtma-soğutma, havalandırma ve aydınlatma gibi işlemlere çok fazla enerji harcanmasına neden olmaktadır. Çözüm olarak ise son yıllarda mimarların önceliğinin binaların enerji performanslarını optimize etmek olduğu görülmektedir (Kocaağa ve Özcan, 2022). Binaların enerji verimliliğinin iyileştirilmesi ile enerjiyi sürekli tüketmek yerine yenilenebilir kaynaklardan tükettiklerinin daha fazlasını üreten, 'enerji-nötr', hatta 'enerji-pozitif' yapılara dönüştürmek amaçlanmaktadır. Bina performanslarını iyileştirmek için bina verimliliği, üstün mimari ve mühendislik tasarımlarının, enerji verimli yapı malzemelerinin, kaliteli inşaat uygulamalarının ve akıllı sistemlerin entegrasyonu gerekmektedir (Li vd., 2021). Bu bağlamda bina dış duvarlarının ve pencerelerinin dış yüzeyindeki yapı elemanı bileşenlerini kapsayan bina cephesi gün ışığı, ısı ve hava gibi dış ve iç mekân arasındaki enerji transferinden sorumludur. Bu makale, binanın enerji tüketimini azaltmak için gerekli olan enerji tasarruflu uyarlanabilir cephelere odaklanmaktadır.



Şekil 1. Bina – Cephe – İç mekân ilişkisi (Kaynak: Jahed, 2018'den uyarlanmıştır).

Bina bir bütün olarak ele alındığında, dış ortam koşulları, ilk karşılaştığı temas yüzeyi olan cephe aracılığıyla bina ile doğrudan ve dolaylı olarak etkileşime girmekte, bu da iç mekândaki konfor koşullarını etkilemektedir (Şekil 1). Enerji akışı sırasında binanın performansını etkileyen en önemli faktörlerden birisi cephenin özellikleridir. Uyarlanabilir cephelerin bu farklı ortam ve koşullarda önceden belirlenmiş göstergeler, komutlar, hedefler ve standartlar dahilinde gerçekleştirebileceği tepkiler, yapının karakterini oluşturmaktadır. Belirlenen performans göstergelerinin doğru planlanması ile enerji kaynakları çevredeki fiziksel alanlara bağlı olarak kontrol edilebilir bir şekilde yönetilebilmektedir (Kocaağa ve Özcan, 2022). Bu çalışmada, uyarlanabilir cephelerin çevresel etkilere verdiği tepkiler sonucunda enerji verimliliğine getirdiği çözümleri, binaların doğa üzerindeki olumsuz etkilerini azaltma konusundaki çevresel sorumluluğunu ve dünyada uygulanmış örneklerini inceleyerek, uyarlanabilir cephelerin daha iyi anlaşılmasını sağlamak ve gelişen teknoloji ile birlikte sunduğu fırsatlar hakkında bilinç oluşturmak amaçlanmaktadır.

CEPHE TASARIMINDA DİKKATE ALINMASI GEREKEN PARAMETRELER

Bina cepheleri, bir binanın teknolojik olarak en zorlu, çok yönlü ve disiplinler arası bileşenlerinden birisidir. Mimari tasarım açısından cephe, bir binanın estetik değerlerini ve mimari ifadelerini sergilemek için en önemli bileşendir. Mühendislik açısından ise cephe, iç mekân termal koşullarının korunmasında ve binaların sürdürülebilir performansının geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Halawa vd., 2018). Cephenin bina tasarımında bu kadar önemli olmasının nedeni, iç mekân ile dış mekân arasında bir sınır ve arayüz olmasından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla cepheler ömrü boyunca, bina sakinlerinin iç konfor koşullarını etkileyen güneş etkisi, yağış, rüzgâr ve aşırı sıcaklıklar gibi kontrol edilemeyen meteorolojik değişimlere maruz kalmaktadır. Bu değişimlerden iç mekândaki kullanıcının minimum düzeyde etkilenmesi amacıyla, cepheler birbiriyle çelişebilecek farklı tasarım senaryolarına ve işlevsel performanslara duyarlı şekilde tasarlanmalıdır. Bunlar; 'gölgeleme ile güneşin zararlı etkilerinden korunma – güneş ışığından yararlanarak yapay aydınlatma ihtiyacını azaltma; iç ve dış mekân arasındaki görünümü mümkün kılma - mahremiyet amacıyla görünümü engelleme; güneş kazancı - aşırı ısınmayı önleme; gün ışığından yararlanma – fazla gün ışığının neden olacağı parlamayı önleme' şeklinde tanımlanabilmektedir (Tabadkani vd., 2021). Bütün bunlar göz önünde bulundurulduğunda, bina cephesinin tasarım aşamasında dikkate alınması gereken birkaç parametre ön plana çıkmaktadır. Bu parametreler şu şekilde tanımlanabilir:

- Solar kazanç kontrolü
- Doğal havalandırma
- Gün ışığı kontrolü
- Manzara
- Isı kontrolü
- Nem kontrolü
- Gürültü

Bu çalışmada, uyarlanabilir cephelerin sağlayabileceği ölçüde enerji etkin tasarım konusu irdeleneceği için, 'solar kazanç kontrolü, doğal havalandırma, gün ışığına karşı yapay aydınlatma, ısı kontrolü' parametrelerine odaklanılmaktadır (Şekil 2).

Cephe Tasarım Parametreleri



Şekil 2. Cephe tasarım parametrelerinin enerji etkinliği ile ilişkisi (Kaynak: Çalışma kapsamında yazarlar tarafından üretilmiştir).

Solar Kazanç Kontrolü: Binaya kabul edilen güneş ışığı doğrudan iç ortam sıcaklığını ve dolayısıyla bina sakinlerinin konfor seviyesini etkiler (Tabadkani vd., 2021). Cephenin gelen güneş ışığından, iç mekândaki konfor düzeyini bozmayacak şekilde fayda sağlaması önemlidir.

Isı Kontrolü: İç ve dış mekân arasındaki ısı akışının kontrol edilmesi, binanın termal performansı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir (Tabadkani vd., 2021). Sıcak havalarda fazla ısı girişi, soğuk havalarda ise ısı kaybının önlenmesi ile iç mekân ısını belli bir seviyede tutmak önemlidir.

Gün Işığı Kontrolü: Pencere açıklıkları ya da gölgeleme sistemleri ile iç mekâna gün ışığı girişinin kontrol edilmesi, kullanıcı konforu ve doğal ışıktan faydalanılarak yapay aydınlatma ihtiyacının azaltılıp enerji tasarrufunun sağlanması açısından önemlidir (Tabadkani vd., 2021). Gün ışığının yapay aydınlatma ile uyumlu bir şekilde ihtiyaca yönelik kombinasyonu, parlamının önlenmesi ile kullanıcı konforunu sağlamanın yanında, yapay aydınlatmada kullanılan elektrik enerjisinden önemli ölçüde tasarruf sağlanmasına katkıda bulunabilmektedir.

Doğal Havalandırma: Bina cephesi, doğal hava değişimini ve sirkülasyonu kontrol edebilir ve böylece belirli koşullar altında mekanik sistem kullanımı azaltılabilmektedir.

Tablo 1. Enerji etkin tasarım parametrelerine dair yapılması gereken uygulamaların amaçları ve sonuçları (**Kaynak:** Çalışma kapsamında yazarlar tarafından üretilmiştir).

	AMAÇ	SONUÇ
Solar Kazanç Kontrolü	Binaya gelen güneş ışınlarını, cepheye kurulacak sistemlerle kontrol altına alarak, depolama	İç mekânda güneşin zararlı etkisinin önlenmesi ve güneş ışığından enerji üretiminin sağlanması
Isı Kontrolü	İç ve dış mekân arasındaki ısı geçişinin kontrol altında tutulması	İç mekânda ısıtma ve soğutma sistemine harcanacak enerjinin azaltılması
Gün Işığı Kontrolü	İç mekâna gün ışığı girişinin kontrol altında tutulması	İç mekândaki aşırı parlamının önlenmesi ve yapay aydınlatmaya harcanan enerji giderlerinin azaltılması
Doğal Havalandırma	İç ve dış mekân arasındaki doğal hava değişimi ve sirkülasyonunun sağlanması	İç mekân havalandırması için mekanik sistemlere harcanan enerjinin azaltılması

Günümüzde teknolojinin gelişmesi ile birlikte, belirtilen parametrelere göre değişen çevresel koşullara hızlı bir şekilde yanıt vererek Tablo 1'deki uygulamaları gerçekleştirebilmek ve bunun sonucunda kullanıcı konforu ile beraber enerji tasarrufu da sağlayabilmek amacıyla farklı işlevlere sahip uyarlanabilir cepheler geliştirilmiştir.

UYARLANABİLİR CEPHELER

Tipik olarak bir cephenin birincil amacı, dışarıyı içeriden ayırmak ve böylece iç mekânı yağış, yoğun güneş radyasyonu ya da rüzgâr gibi değişen çevresel koşullardan korumaktır. Ancak değişen çevresel etkilere yanıt olarak statik bir cephe sisteminin performansı sınırlıdır. Mevcut istenen konfor koşulları ile gerçek koşullar arasındaki fark, teknik bina ekipmanları tarafından giderilmektedir. Teknik bina ekipmanları tarafından sağlanan ısıtma, soğutma ve aydınlatma ise konut binalarının toplam enerji tüketiminin yaklaşık % 70'inden sorumludur (Tabadkani vd., 2021). Bu durum, değişen çevresel koşullara hızlı bir şekilde yanıt vererek, teknik bina ekipmanları tarafından kullanılan enerji tüketiminin azaltılması için yüksek performanslı cepheye duyulan ihtiyacı gözler önüne sermektedir. Bu ihtiyaca yanıt olarak ise uyarlanabilir cepheler ön plana çıkmaktadır.

Uyarlanabilir cephe, bir binanın enerji tüketimini azaltmak için hava dalgalanmalarına, günlük döngülere ya da mevsimsel değişimlere yanıt olarak zaman içinde işlevlerini sıklıkla değiştirebilen bina kabuğudur (Bui vd., 2020). Bir uyarlanabilir cephe, çevresindeki değişikliklere ya dışsal olarak, yani harici sensörler, kontroller ve aktüatörler aracılığıyla ya da içsel, yani malzemenin özellikleri yoluyla uyum sağlayabilir (Voigt vd., 2023). Uyarlanabilir cepheleri, çevresel etkilere yanıt verdiği içsel veya dışsal özelliklerine göre aktif ya da pasif uyarlanabilir cepheler olarak ikiye ayırmak mümkündür (Şekil 3).

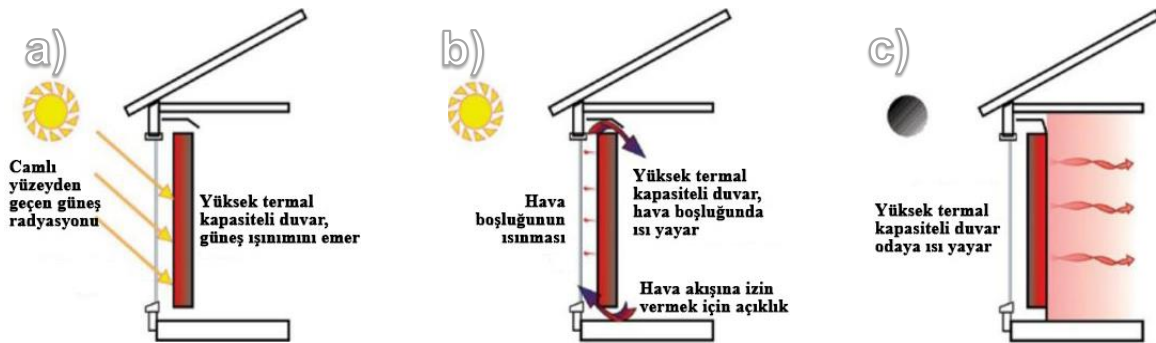


Şekil 3.Özelliklerine göre uyarlanabilir cephe çeşitleri (Kaynak: Çalışma kapsamında yazarlar tarafından üretilmiştir).

Pasif Uyarlanabilir Cepheler

Güç ve kontrol gerektirmeyen, az ya da hiç bakım gerektirmeyen, teknolojik sistemlerle donatılmış cepheler, pasif uyarlanabilir cepheler olarak ifade edilmektedir (Mazzucchelli vd., 2018). Bu tür cephelerin çevresel etkilere yanıt vermesi, cephede kullanılan malzemenin kendisine algılama, kontrol ve harekete geçirme özelliklerinin yerleştirilmesi ile sağlanmaktadır. Sistemin yanıt verme kapasitesi, malzemenin davranışına özgü olduğundan, herhangi bir duysal sistem ya da motor fonksiyon gerektirmez (Orhon, 2016). Pasif uyarlanabilir cephelere; “çift cidarlı cepheler, brise soleiller, sabit panjurlar, ışık yönlendirme sistemleri, Trombe duvarları vs.” örnek olarak verilebilmektedir (Mazzucchelli vd., 2018, s.64). Bu tür cepheler aktif olarak kontrol edilemediği için değişen her dış ortam koşuluna adapte olmakta sorun yaşayabilmektedir.

Çift cidarlı cephelerde, katmanlar arası oluşturulan termal tampon bölge sayesinde ısı-ışık kontrolü ve havalandırma sağlanmakta; cepheye monte edilmiş sabit panjurlar ve dışarıya doğru çıkıntılı, tavan seviyesine monte edilmiş genellikle yatay elemanlar olan brise soleiller ile gölgeleme sağlanmakta; ışık yönlendirme sistemleri ile iç mekân konfor koşullarına göre ışığın yansıtılması veya farklı bir açıyla yönlendirilmesi sağlanmaktadır. Trombe duvarları, pasif sistemler arasında muhtemelen en basit ve en bilinen toplayıcı duvardır. Sera etkisinin kullanıldığı sistem; kısa dalgalı güneş ışığının, güneşe bakan bir cephedeki cam panellere nüfuz ederek uzun dalgalı ısı radyasyonuna dönüştüğü koyu renkli bir emici katmana çarpma olayıdır (Şekil 4a). Cephe katmanları arasındaki boşlukta ısı, duvarın arkasındaki odaya iletilir (Şekil 4b). Duvarın yapısına ve depolama kapasitesine bağlı olarak, kazanılan ısı hızla ya da uzun bir süre boyunca, hatta akşam saatlerine kadar duvardan dışarı atılabilmektedir (Şekil 4c). Duvarın üstünde ve altında açıklıklar varsa, boşluk içindeki ısı farkı odanın hava sirkülasyonunu sağlamaktadır (Şekil 4b). Dış cam katmanına ek açıklıklar monte edilirse, boşluk içindeki hava sirkülasyonu, odaya ısıtılmış taze hava vermektedir (Mazzucchelli vd., 2018). Trombe duvarı, iç mekândaki sıcaklık dalgalanmalarını önleyerek, ısıtma-soğutma giderlerine harcanacak enerjiden tasarruf edilmesini sağlamaktadır.

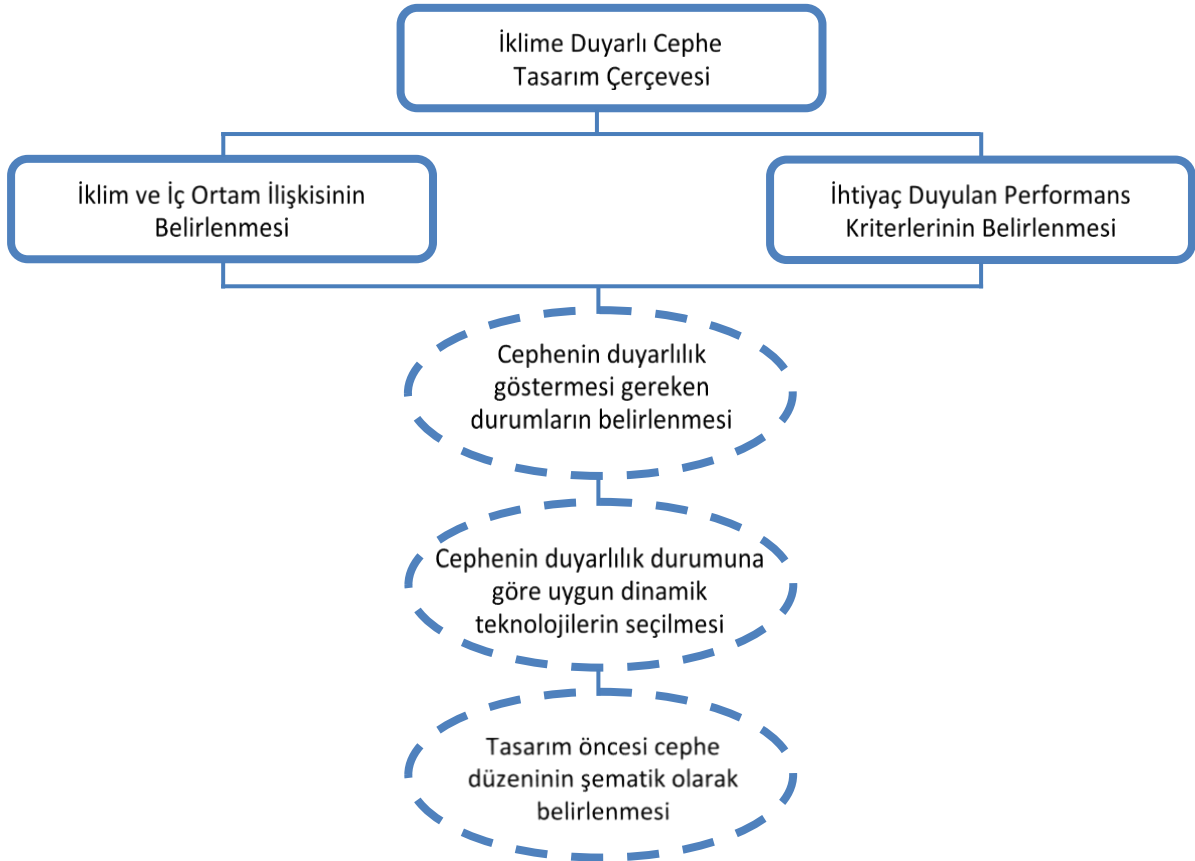


Şekil 4. Trombe duvarının çalışma sistematığı (Kaynak: (a)(b)(c) Konstantinou ve Hoces, 2018).

Aktif Uyarlanabilir Cepheler

Pasif sistemlerdeki elemanların belirli mekanizmalar aracılığı ile değişen çevresel koşullara hızlı dönüşüm kabiliyeti kazandırılması sonucunda enerji verimliliği sağlayan sistemleri içeren uyarlanabilir cephe çeşididir. İklim koşullarının değişken olduğu ve gece-gündüz/yıllık iklim verilerinin farklılık gösterdiği durumlarda cephe elemanlarının kontrol mekanizmasını hareketli kılan aktif sistemleri barındıran uyarlanabilir cephe çeşididir (Yaman, 2021). Aktif sistemler, kullanıcı müdahalesine ihtiyaç olmadan enerji tasarrufunu artırmak için iç ve dış etkenlere göre cephenin kendi kendini ayarlamasını sağlamaktadır (Tabadkani vd., 2021). Aktif uyarlanabilir cephelere, “hareketli panjurlar, jaluziler, stor perdeler, aktif havalandırılmalı CCF, otomatik çalıştırılabilir pencereler vs.” örnek olarak verilebilmektedir (Attia vd., 2020, s.3260). Cephede kullanılan aktif sistemler, değişen koşullara adaptasyonları ile enerji etkinliğinin yanı sıra cephede hareketliliği sağlayarak yapının estetik görünümüne katkı sunabilmektedir.

Aktif cephelerin yıllık, hatta günlük olarak bile değişebilen koşullara getirdiği çözümleri, belli bir sistem üzerinden incelemek yerine, tasarım sürecinin ve kriterlerinin ortaya konulması, çalışma prensibinin daha net anlaşılmasını sağlayacaktır. Bu konudaki örnek çalışmalardan birisi, Soudian ve Berardi'nin yapmış olduğu çalışmadır. Soudian ve Berardi, çok işlevli iklime duyarlı cepheler tasarlamak için performans dayalı bir yaklaşım sunan tasarım öncesi destek aracı geliştirmişlerdir (Soudian ve Berardi, 2021). Önerilen çerçeve, nicel ölçütlere dayalı olarak cephe gereksinimlerinin niteliksel bir değerlendirmesini sunan beş adım içermektedir. Bu adımlar, iklime duyarlı cephenin amaçlarını, çevresel ve bina bağlarına dayalı performans kısıtlamalarını belirlemeyi, duyarlılık özelliğinin etkinleştirileceği durumları tanımlamayı, buna en uygun teknolojiyi seçmeyi ve son olarak aktif cephenin kavramsal tasarımını oluşturmayı içermektedir (Soudian ve Berardi, 2021; Korniyenko, 2021) (Şekil 5). Soudian ve Berardi'nin yapmış olduğu çalışma, iklime duyarlı aktif cephe tasarım çerçevesinin belirlenmesi ve uygulamaların bu çerçeveye göre incelenip yapılması için örnek bir ön çalışma teşkil etmektedir. Bu tasarım öncesi destek aracı ile aktif cephelerin amaçlarının ve işlevlerinin daha net ortaya konulması hedeflenmiştir.



Şekil 5. İklime duyarlı aktif cephe tasarım algoritması (Kaynak: Korniyenko, 2021'den uyarlanmıştır).

UYARLANABİLİR CEPHE ÖRNEKLERİ

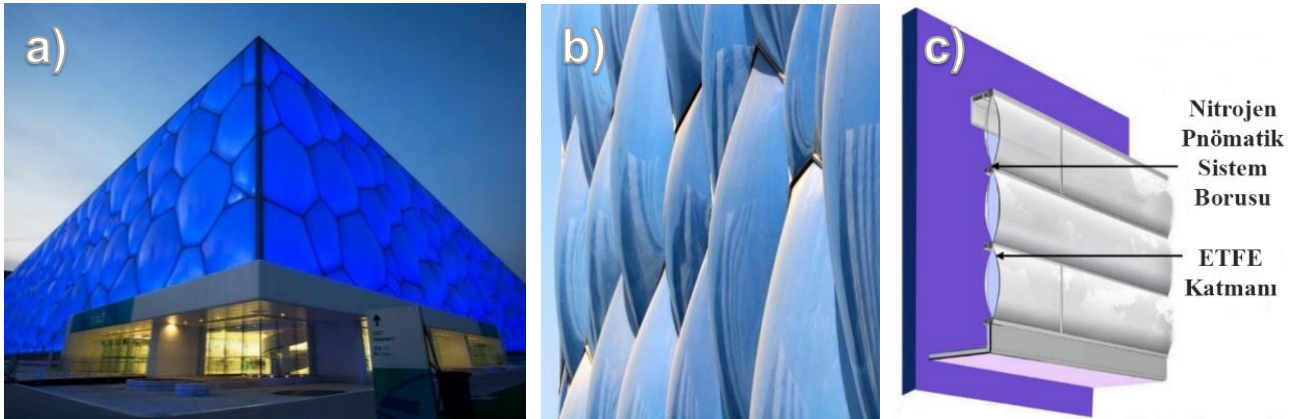
Dünyada pasif ve/veya aktif cephe sistemine sahip birçok uyarlanabilir cephe uygulaması mevcuttur. Bu çalışma ‘enerji etkin tasarım’ konusuna odaklandığı için cephenin enerji verimliliğine katkısının yanında tasarım yaklaşımları açısından da nitelikli altı örnek belirlenmiştir. Belirlenen örneklerin Şekil 2’de gösterilen enerji etkin cephe tasarım parametrelerini karşılayan uyarlanabilir özellikleri incelenmiş ve cephelerin enerji etkinliği değerlendirilmiştir.

Water Cube

Tablo 2. Water Cube hakkında genel bilgi

Yapının Adı	Water Cube – Ulusal Su Sporları Merkezi
Yapının Konumu/Yılı	Pekin, Çin / 2008
Mimarı	PTW, Arup, CSCEC, CCDI
Uyarlanabilir Cephe Türü	<ul style="list-style-type: none"> Pasif Cephe
Cephenin Karşılıdığı Enerji Etkin Tasarım Parametreleri	<ul style="list-style-type: none"> Isı Kontrolü Gün Işığı Kontrolü Solar Kazanç Kontrolü

2003 yılında Pekin’de düzenlenen bir mimari yarışmada PTW, Arup, CSCEC, CCDI’den oluşan bir konsorsiyum tarafından tasarlanmış ve 10 proje arasından seçilerek, 2008 Yaz Olimpiyatları’na ev sahipliği yapmak üzere inşa edilmiştir (Zou ve Leslie-Carter, 2010) (Tablo 2). Yapının cephesi, sabun köpüğünden ilham alınarak tasarlanmış, böylece cephede organik ve estetik bir görünüm elde edilmiştir (Şekil 6). Water Cube, cephesinin mevcut estetik görünümünün yanında, hem ısıtma hem de aydınlatma için solar enerji kullanımını maksimize eden yalıtımlı bir bina olması ile de ön plana çıkmaktadır (Zou ve Leslie-Carter, 2010). Yapının enerji verimliliğini sağlayan bu özellikleri, cephesinde kullanılan ETFE malzemesi ile sağlanmıştır. ETFE, camın % 1’i ağırlığında ve camdan daha iyi bir ısı yalıtkanı olan, esnek, dayanıklı, % 95 oranında ışığı iletebilen şeffaf bir malzemedir (ARUP, b.t.; Richardson, 2009). Çift katmanlı olarak cepheye yerleştirilen ETFE, bu özellikleri sayesinde yüzeye gelen güneş enerjisinin yaklaşık % 20’sini depolayarak ısıtma için kullanmakta, şeffaf özelliği sayesinde iç mekânda yapay aydınlatma için harcanan enerjinin % 55’inden tasarruf edilmesini sağlamaktadır (ARUP, b.t.). Water Cube’un ETFE membran kullanılan cephesinde güneş enerjisinin depolanması ve ısıtmada kullanılması ile ‘solar kazanç kontrolü’ ve ‘ısı kontrolü’, şeffaf özelliği sayesinde gün ışığının iç mekâna girerek doğal aydınlatmanın sağlanması sonucu ‘gün ışığı kontrolü’ parametrelerini karşılayarak enerji etkin bir cephe olduğunu kanıtlamaktadır.



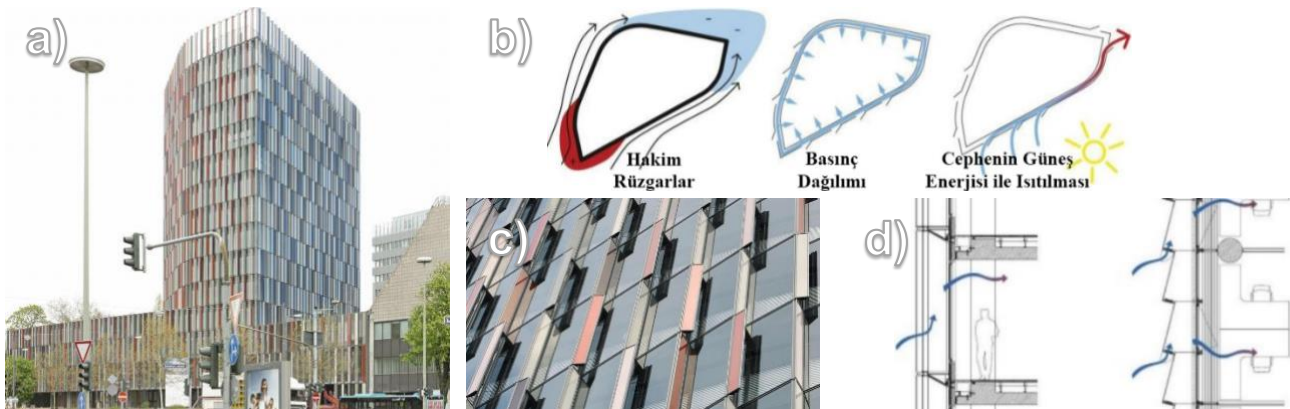
Şekil 6. Water Cube (a) Cephenin genel görünümü; (b) Cephenin detay görünümü; (c) ETFE membran kaplı cephelerin genel detayı (Kaynak: (a)(b) Architizer, 2012; (c) Habibi vd., 2022).

Kfw Westarkade

Tablo 3. Kfw Westarkade hakkında genel bilgi

Yapının Adı	Kfw Westarkade
Yapının Konumu/Yılı	Frankfurt, Almanya / 2010
Mimarı	Sauerbruch Hutton
Uyarlanabilir Cephe Türü	<ul style="list-style-type: none"> • Aktif Cephe
Cephenin Karşılıdığı Enerji Etkin Tasarım Parametreleri	<ul style="list-style-type: none"> • Isı Kontrolü • Gün Işığı Kontrolü • Doğal Havalandırma • Solar Kazanç Kontrolü

KfW Westarkade, 56 metre yüksekliğinde bir ofis binasıdır (Tablo 3). 2010 yılında tamamlanan 14 katlı bina, Frankfurt'un Westend semtinde yer almakta ve Alman Devlet Kalkınma Bankası KfW'nin genel merkezi olarak hizmet vermektedir (Archdaily, 2013). Çift cidarlı cepheye sahip olan yapıda, iki cam katmanının arasına yerleştirilen panjur sistemi ile parlama ve güneş ısı kazanımı kontrol altına alınmıştır (Yaman ve Arpacioğlu, 2021). KfW, 100 kWh/m²'nin altında birincil enerji tüketimi ile dünyanın enerji verimliliği açısından en sürdürülebilir yüksek katlı ofis binalarından birisidir (Archdaily, 2013). Panjur sistemi ile güneş ısı ve ışığının kontrol edilmesinin yanında, yapının büyük ölçüde enerji verimliliğini sağlamasındaki diğer ve en önemli etken doğal havalandırma sistemidir. Yapı, hâkim batı rüzgârına karşı konumlanmış aerodinamik bir şekle sahiptir (Pieczara, 2017). Hâkim rüzgârın geliş yönüne göre cephe kademelendirilmiş ve dış katmandaki kademelere sensörlerle kontrol edilebilen havalandırma kapakçıkları yerleştirilmiştir. Bu kapakçıklar gün boyu değişen sıcaklığa, rüzgârın yönü ve şiddetine göre açılıp kapanarak binanın etrafında pozitif basınç hattı sağlamaktadır (Şekil 7). Hava, iç mekâna döşemelerde bulunan havalandırma delikleri ve cephenin iç katmanındaki kontrol edilebilen pencereler aracılığı ile ulaştırılmaktadır. Sistem, mekanik havalandırma ve geçiş mevsimlerinde ısıtmaya duyulan ihtiyacı ortadan kaldıran doğal havalandırma sağlamaktadır. Soğuk hava koşullarında ise basınç çemberi bu sefer ısı kaybını engelleyerek, enerji tasarrufu sağlamaktadır (Suner, 2011). Binadaki havalandırma sistemi, yılın % 60'lık bölümünde kullanılabilir. Cephedeki doğal havalandırma sistemi sayesinde Almanya'daki tamamen klimalı diğer ofis binalarıyla karşılaştırıldığında, ısıtma ve soğutma giderlerinden % 84 oranında tasarruf sağlamaktadır (Karadağ ve Çakmaklı, 2020). KfW Westarkade'nin cephesi, güneş ışığı ve ısını kontrol altına alarak parlamayı önleyen, gölgelemeyi ve katmanlar arası boşlukta depolanan fazla ısının binadan tasfiyesini sağlayan kapakçıklı çift katman ve katmanlar arasında bulunan panjur sistemi ile 'solar kazanç kontrolü', 'ısı kontrolü', 'gün ışığı kontrolü', mekanik ve doğal havalandırma imkânı sunan havalandırma sistemi ile de 'doğal havalandırma' parametrelerini karşılayarak, enerji etkin bir cephe olduğunu kanıtlamaktadır.



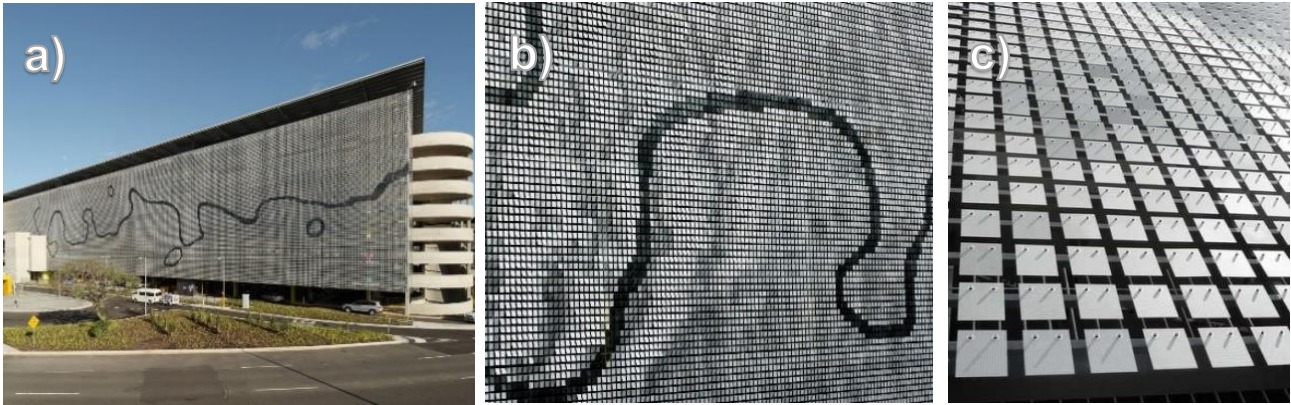
Şekil 7. Kfw Westarkade (a) Cephenin genel görünümü; (b) Rüzgâr kontrol şeması; (c) Cephenin detay görünümü; (d) Cephenin plan ve kesit detayı (**Kaynak:** (a)(c) Bitter, 2010; (b)(d) Sauerbruch, 2011).

Brisbane Havaalanı Otoparkı

Tablo 4. Brisbane Havaalanı Otoparkı hakkında genel bilgi

Yapının Adı	Brisbane Havaalanı Otoparkı
Yapının Konumu/Yılı	Brisbane, Avustralya / 2012
Mimarı	Ned Kahn, UAP
Uyarlanabilir Cephe Türü	<ul style="list-style-type: none"> • Aktif Cephe
Cephenin Karşılıdığı Enerji Etkin Tasarım Parametreleri	<ul style="list-style-type: none"> • Gün Işığı Kontrolü • Doğal Havalandırma

Ned Kahn ve tasarım stüdyosu UAP iş birliği ile Avustralya’da bulunan Brisbane Havaalanı’ndaki otoparka kinetik bir cephe tasarlanmıştır (Tablo 4). Cepheden, şehrin en ikonik doğal güzelliklerinden birisi olan Brisbane Nehri’ni temsil eden koyu gri bir çizgi geçmektedir. Yüzeğe yarı sabitlenmiş olarak asılan 117.000 alüminyum panel, rüzgârın etkisi ile cepheye su dalgası hissi vermektedir (UAP, 2012) (Şekil 8). Alüminyum panellerin, rüzgâr etkisi sonucunda hareket etmesi ile havanın açılan boşluklardan içeri girerek havalandırmayı sağlaması ve cepheden gelen güneş ışığını iç mekâna karmaşık örüntüler şeklinde yansıtarak gölgeleme imkânı sunması gibi önemli avantajlar sağlayarak enerjiden tasarruf edilmesine olanak tanımaktadır (Sarıcıoğlu ve Açıam, 2018). Cephenin, rüzgâr gücü etkisi ile kazandığı hareketlilik ve bu hareketliliğin sağladığı pratik çevresel faydalar, cephenin aktif özelliğini göstermektedir. Aktif özelliğin, sadece bir kenarından menteşeli geri dönüştürülebilir alüminyum parçalarla sağlandığı ve herhangi bir mekanik sistem gerektirmediği için cephenin malzeme ve enerji bakımından sürdürülebilir olduğunu söylemek mümkündür. Brisbane Havaalanı Otoparkı’nın cephesi, hareketli alüminyum paneller ile iç mekânda gölgelemeyi sağlayarak ‘gün ışığı kontrolü’nü, yine alüminyum panellerin cephedeki açıklık ve rüzgâra etkisine yanıt verebilmesi sayesinde ‘doğal havalandırma’ parametrelerini karşılayarak, enerji etkin bir cephe olduğunu kanıtlamaktadır.



Şekil 8. Brisbane Havaalanı Otoparkı (a) Cephenin genel görünümü; (b) Cephenin detay görünümü; (c) Cephede kullanılan alüminyum paneller (Kaynak: (a)(b) UAP, 2012; (c) Inhabit, b.t.).

SDU Kolding Kampüsü

Tablo 5. SDU Kolding Kampüsü hakkında genel bilgi

Yapının Adı	SDU Kolding Kampüsü
Yapının Konumu/Yılı	Kolding, Danimarka / 2014
Mimarı	Henning Larsen Architects
Uyarlanabilir Cephe Türü	• Aktif Cephe
Cephenin Karşılıdığı Enerji Etkin Tasarım Parametreleri	• Isı Kontrolü • Gün Işığı Kontrolü

SDU Kolding, Henning Larsen Architects tarafından tasarlanan, Danimarka'nın Kolding şehrindeki Güney Danimarka Üniversitesi'ne ait iletişim ve tasarım binasıdır (Tablo 5). İkizkenar üçgen formu ve değişen çevresel koşullara hızlı bir şekilde cevap verebilen duyarlı kinetik cephesi ile Güney Danimarka Üniversitesi adına simge bir yapı olarak ön plana çıkmaktadır (Brake, 2015). Yapının üçgen formu ve yönelimi, güneş ışığı almayan doğrudan kuzeye bakan bir cephe oluşumunu engellemekte ve binanın her cephesinden güneş ışığı alınmasına olanak sağlamaktadır (Brake, 2015). Fazla güneş ışığının iç mekandaki konfor koşullarını etkilememesi için cephe, belirli iklim koşullarına ve kullanıcı modellerine uyum sağlayan ve optimum gün ışığı ve konforlu iç mekân koşulları sunan dinamik güneş kırıcılar ile donatılmıştır. Bu güneş kırıcılar, yapının formuna istinaden 1600 adet delikli üçgen metal panelden meydana gelmektedir. Paneller, değişen gün ışığına ve istenilen ışık girişine uyum sağlayacak şekilde cepheye monte edilmiştir (Archdaily, 2015). Cephedeki sensörler, binanın etrafındaki ısı ve ışık seviyelerini izleyerek, güneş kırıcıların açık, yarı açık ve kapalı konuma geçmesini sağlamaktadır. Güneş kırıcılar tamamen kapalı konumdayken bile belli bir miktarda doğal ışığın iç mekâna girişini sağlamak için birbirine bağlanan yuvarlak delikli bir yüzeye sahiptir (Brake, 2015) (Şekil 9). Cepheye bulunan ve değişen çevresel koşullara hızlı dönüşümler sağlayabilen sensörlü metal paneller, cephenin aktif özelliğini göstermektedir. SDU Kolding'in cephesi, ısı ve ışık seviyesini ölçen, gerektiğinde küçük bir motor yardımıyla delikli güneş kırıcıları harekete geçiren sensörler ile iç mekânda doğal aydınlatmayı aksatmadan parlamayı önlemesi ve gölgeleme özelliği ile soğutmaya harcanacak enerji giderlerini düşürmesi sayesinde 'ısı kontrolü' ve 'gün ışığı kontrolü' parametrelerini karşılayarak, enerji etkin bir cephe olduğunu kanıtlamaktadır.



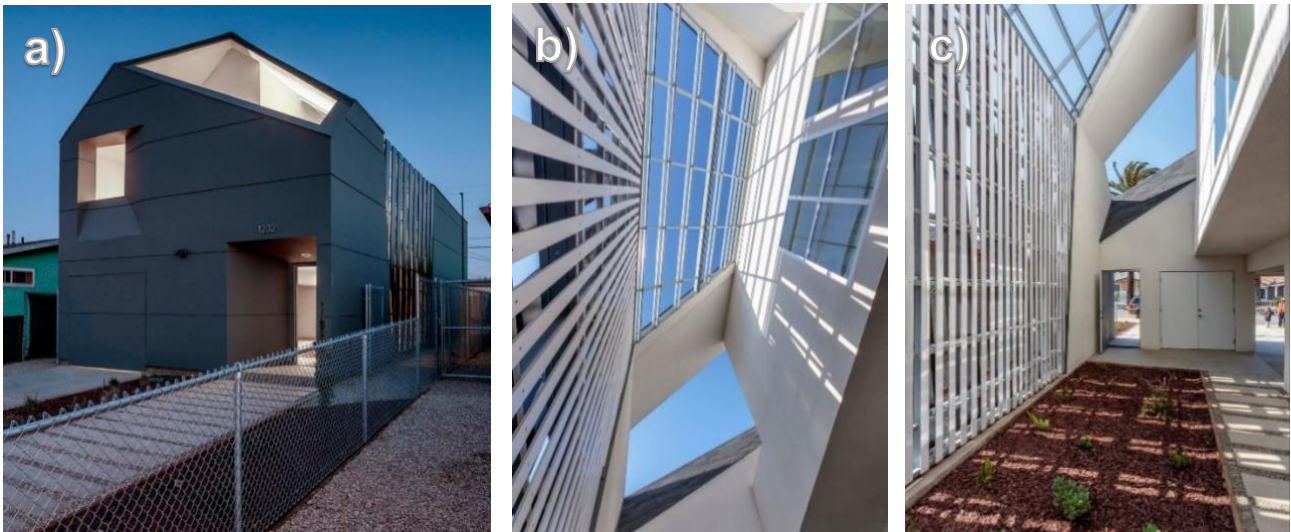
Şekil 9. SDU Campus Kolding (a) Cephenin genel görünümü; (b) Cephenin detay görünümü; (c) Cephedeki güneş kırıcılar tam kapalı konumdayken delikli yüzeyden gün ışığının geçişi (Kaynak: (a)(b)(c) Schubert ve Lindhe, b.t.).

IVRV Evi

Tablo 6. IVRV Evi hakkında genel bilgi

Yapının Adı	IVRV Evi
Yapının Konumu/Yılı	Los Angeles, ABD / 2016
Mimarı	Darin Johnstone, SCI Arc
Uyarlanabilir Cephe Türü	<ul style="list-style-type: none"> • Aktif Cephe / Pasif Cephe
Cephenin Karşılıdığı Enerji Etkin Tasarım Parametreleri	<ul style="list-style-type: none"> • Gün Işığı Kontrolü • Solar Kazanç Kontrolü

ABD'nin Los Angeles kentinde, öğretim üyesi Darin Johnstone önderliğinde Güney Kaliforniya Mimarlık Enstitüsü (SCI Arc) öğrencileri tarafından tasarlanıp ihtiyacı olanlar için kâr amacı gütmeyen evler yapan bir yardım vakfı olan Habitat for Humanity iş birliği ile inşa edilmiştir (Tablo 6). Yapı, Los Angeles'ın düşük gelirlili ve suç oranı yüksek mahallesi olan West Athens'de bulunmaktadır (McKnight, 2016). Bu bağlamda hem biçim hem de içerik olarak sürdürülebilir, ekonomik ve kullanıcıların kendini güvende hissedeceği bir tasarım hedeflenmiştir (Archdaily, 2017). 110 m²'yi kapsayan 2 katlı IVRV Evi, yapılan bağışlar dışında, m² başına 165 dolara inşa edilmiştir; bu da, uyarlanabilir cephelerin ekonomik konutlarda da uygulanabileceğini göstermiştir (McKnight, 2016). Cephede kullanılan akıllı malzemelerin tasarıma çok fazla etki etmeyecek şekilde küçük ölçekte kullanımı, yapının sürdürülebilirliğinin yanında ekonomik olmasını da sağlamıştır. Tasarımda, sürdürülebilir özellikleri genel bir estetikle sentezlemek için giriş avlusuna bakan cephede, avluyu gölgeleyen, enerjiyi yakalayan ve havayı temizleyen 'eko-ekran' kullanılmıştır (Archdaily, 2017) (Şekil 10). Dış katman, ince fotovoltaiik panelleri yüzeyinde barındıracak şekilde tasarlanmış olan siyah metal panellerden oluşmaktadır. İç katmanda ise havadaki zararlı partikülleri yakalayan ve nötralize eden fotokatalist (TiO₂) malzemeyle kaplanmış vinil şeritler kullanılmıştır (McKnight, 2016). İç ve dış katmandaki sabit güneş kırıcı elemanlar cephenin pasiflik özelliğini, dış katmandaki siyah metal panelin yüzeyine uygulanmış ince fotovoltaiik paneller ise cephenin aktif özelliğini göstermektedir. IVRV Evi cephesi, iç ve dış katmanında bulunan güneş kırıcı elemanları ile gölgeleme sağlayarak 'gün ışığı kontrolü', dış katmandaki siyah metal panelin yüzeyine yerleştirilen ve güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüşmesini sağlayan fotovoltaiik paneller sayesinde 'solar kazanç kontrolü' parametrelerini karşılayarak, enerji etkin bir cephe olduğunu kanıtlamaktadır.



Şekil 10. IVRV House (a) Cephenin genel görünümü; (b) Eko-ekran detay görünümü; (c) Cephe-giriş avlusu ilişkisi (Kaynak: (a)(b)(c) White, 2016).

Cube Berlin

Tablo 7. Cube Berlin hakkında genel bilgi







Yapının Adı	Cube Berlin
Yapının Konumu/Yılı	Berlin, Almanya / 2020
Mimarı	3XN
Uyarlanabilir Cephe Türü	<ul style="list-style-type: none"> • Pasif Cephe
Cephenin Karşılıdığı Enerji Etkin Tasarım Parametreleri	<ul style="list-style-type: none"> • Isı Kontrolü • Gün Işığı Kontrolü • Doğal Havalandırma

Danimarkalı mimarlık stüdyosu 3XN, Almanya'nın başkenti Berlin'deki Spree Nehri ve merkez tren istasyonunun yanında yer alan Berlin Cube ofis bloğunu tasarlamıştır (Tablo 7). Yapı tasarımında yapının bulunduğu merkezi konum itibarıyla, bir ofis binasından daha fazlasını sunmak ve ilgi çekici bir görünüm kazandırarak meydanın canlandırılmasını sağlamak amaçlanmıştır (Ravenscroft, 2020). Bunu başarmak için farklı açılarla yerleştirilerek görünümünün ışığın düşme açısına göre sürekli değiştiği, yansıtıcı camlardan oluşan cephe tasarlanmıştır (Şekil 11). Genel olarak, tamamen camlı bir cephenin aşırı ısınmaya neden olacağı ve bu nedenle enerji açısından verimlilik sağlayamayacağı düşünülse de Cube Berlin'in cephesinde kullanılan modern cam malzemesi sayesinde bu durumun tam tersi geçerli olmuştur (Mar, 2020). Cephe, iç ve dış katmanında reflektif özelliğe sahip cam olan koruyucu camın kullanıldığı, dış katmanının güneş kontrol kaplamaları ve güneşi soğuran PVB katmanı ile desteklendiği, çift cidarlı pasif akıllı cam sisteminden oluşmaktadır (Saflex, 2020). Cephedeki akıllı cam sistemi radyant ısıyı atmosfere geri yansıtmaya ve aynı anda iç ısıyı içeriye geri döndürmeye yardımcı olmaktadır. Bu durum, yapıya, güneş ısısının kontrol altına alındığı yüksek enerji verimliliğine sahip tamamen cam cepheden oluşan bir bina olma özelliğini kazandırmıştır (Cottee, 2020). Sonuç olarak yapı, çarpıcı mimarisinin yanı sıra, geleneksel ofis binalarıyla karşılaştırıldığında azaltılmış enerji tüketimi ile çevresel sürdürülebilirliğe yüksek düzeyde katkısı ile de ön plana çıkmaktadır. Akıllı camlar arasındaki boşluktan havalandırmanın sağlandığı çift cidarlı cephe burada çok önemli bir faktördür (GlassonWeb, 2019). Cube Berlin'in çift cidarlı pasif akıllı cam sisteminden oluşan cephesi iç mekânı güneş ışığının zararlı etkilerinden koruması, camın reflektif özelliği sayesinde güneş ışığının iç mekâna etkisini dengede tutarak kullanıcı konforunun yanında ısıtma-soğutma giderlerinin azaltılması, camlar arasındaki boşluk sayesinde havalandırmanın sağlanması ile 'ısı kontrolü', 'gün ışığı kontrolü' ve 'doğal havalandırma' parametrelerini karşılayarak enerji etkin bir cephe olduğunu kanıtlamaktadır.



Şekil 11. Cube Berlin (a) Cephenin genel görünümü; (b) Cephenin detay görünümü; (c) Çift cidarlı cephelerin genel detayı (Kaynak: (a)(b) Mørk, 2020; (c) Habibi vd., 2022).

Tablo 8. İncelenen uyarlanabilir cephelerin enerji etkin tasarım parametrelerini karşılayan özellikleri (**Kaynak:** Çalışma kapsamında yazarlar tarafından üretilmiştir).

PASİF UYARLANABİLİR CEPHE						
AKTİF UYARLANABİLİR CEPHE						
						
	Water Cube	KfW Westerkade	Brisbane Havaalanı Otoparkı	SDU Campus Kolding	IVRV House	Cube Berlin
Isı Kontrolü	Çift cidarlı ETFE membran cephe	Çift cidarlı cephe, panjur sistemi	—	Cephedeki sensörlü güneş kırıcı sistem	—	Çift cidarlı akıllı camlardan oluşan cephe
Gün Işığı Kontrolü	ETFE malzemesinin özelliği	Cephedeki panjur sistemi	Hareketli alüminyum paneller	Cephedeki sensörlü güneş kırıcı sistem	Cephenin iç ve dış katmanındaki paneller	Akıllı cam malzemesinin özelliği
Doğal Havalandırma	—	Cephedeki havalandırma sistemi	Hareketli alüminyum paneller	—	—	Çift cidarlı cam cephelerin arasındaki boşluk
Solar Kazanç Kontrolü	ETFE malzemesinin özelliği	Kapakçıklı çift cidar cephe, panjur sistemi	—	—	Dış yüzeydeki ince fotovoltaik panel	—

UYARLANABİLİR CEPHE ÖRNEKLERİNİN ENERJİ ETKİNLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

- Aktif cepheler gün içinde bile farklılık gösterebilen çevresel koşullara hızlı bir şekilde yanıt verebilmektedir. KfW Westerkade örneğinde görüldüğü üzere, gün içinde güneşin etkili olduğu zamanlarda cephedeki panjur sistemi ile gölgeleme sağlanabilirken, güneş etkisini yitirdiğinde yapay aydınlatma ihtiyacını azaltmak üzere panjurlar güneş ışığını içeri alacak şekilde konumlandırılabilir. Ayrıca gün boyu değişen sıcaklığa karşı, rüzgârın yönü ve şiddetine göre cepheye yerleştirilen kapakçıklar açılıp kapanarak iç mekân havalandırması sağlanabilmektedir (Şekil 7). Sonuç olarak, aktif cepheler değişen çevresel koşullara elektronik ve mekanik sistemler ile kolay adapte olarak iç mekânda yapay aydınlatma, ısıtma, soğutma, havalandırma vb. için harcanacak enerjiden tasarruf etme olanağı sunmaktadır.
- Pasif cephelerde değişen çevresel koşullara yanıt verme, cephede kullanılan malzemelerin izin verdiği ölçüde ve belli bir zaman aralığında gerçekleşmektedir. Örneğin, Cube Berlin'in cephesinde kullanılan akıllı camın yansıtma özelliği, cepheye gelen güneş ışığı miktarından bağımsız olarak sabittir. Water Cube örneğinde, ETFE membran cephe kaplamasının % 95 oranında ışığı ileten şeffaf bir malzeme olması gece ışıklandırması ile yapının estetik bir görünüm kazanmasına, gündüz ise doğal aydınlatmanın sağlanmasına katkıda bulursa da güneşin çok fazla etkili olduğu durumlarda iç mekânda kullanıcı konforunu olumsuz etkileyebilmektedir.
- Aktif cephe sistemleri harekete geçebilmek için, SDU Campus Kolding ve KfW Westerkade örneklerinde görüldüğü gibi belli bir miktar enerjiye ihtiyaç duyabilmektedir. Enerji etkinliği açısından aktif cephe sistemlerini etkinleştirmek için gerekli olabilecek enerjinin tüketimi ile bu sistemlerin sağlayacağı enerji

tasarrufu arasındaki ilişki iyi kurulmalıdır. Gerektiği takdirde, aktif cephe sistemlerini çalıştırmak için harcanacak enerji, fotovoltaik paneller ve rüzgâr türbinleri sisteme dahil edilerek karşılanmalıdır.

- Cephedeki uyarlanabilir özelliğin malzeme ile sınırlı kalmasının, tasarımda mimarın elini genişletse de çeşitli dezavantajları da vardır. Örneğin, Water Cube'un cephesinde kullanılan ETFE çok iyi bir yalıtkan madde olmasına karşın son derece yanıcı bir maddedir. Çeşitli kullanım alanlarından mimarlığa uyarlanan ve pasif cephelerde kullanılan bu malzemeler, kusursuz bir mimari tasarımın her özelliğini karşılamayabilmektedir.
- Aktif ve pasif cephelerin her ikisi de genellikle çift cidar şeklinde tasarlanmakta, katmanlar arasında kurulan sistem farklılık göstermektedir. Çift cidar cephe sistemi gün ışığı kontrolü, ısı kontrolü, doğal havalandırma gibi enerji etkin tasarım parametrelerine sağladığı katkı nedeniyle uyarlanabilir cephe tasarımında önemli bir etmendir.

SONUÇ

İnsanlar yaşamlarının büyük bir kısmını iç mekânlarda geçirmektedir. Bu durum ise iç mekânda kullanıcı konforunun sağlanması için ciddi enerji tüketimine neden olmaktadır. Bina – cephe – iç mekân ilişkisi incelendiğinde üçünü de ilgilendiren ortak etmenin 'iklim koşulları' olduğu görülmektedir. Değişen iklim koşullarına yapının adaptasyonu sağlandığında kullanıcı konforu ile birlikte enerji tasarrufunu da büyük ölçüde sağlamak mümkündür. Bu bağlamda, binanın dış ortam koşullarına adaptasyonunda, çevre ile ilk temas ettiği yüzey olan ve dış mekân ile iç mekân arasında bariyer görevi gören cephelerin rolü büyüktür. Gelişen teknoloji ile birlikte belli tasarım parametrelerine çözüm olabilecek uyarlanabilir özelliğe sahip cepheler tasarlanmıştır. Bu çalışmada, enerji etkin tasarım kapsamında uyarlanabilir cepheler ve etkisi incelenmiş olup aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Uygulanmış örneklerde de görüldüğü üzere, uyarlanabilir cephe kapsamında yüzeyde kullanılan çeşitli güneş kırıcı sistemler ve geçirgenliği değişebilen akıllı malzemeler ile gün ışığı kontrol altına alınabilmekte, bunun sağladığı gölgelendirme ile beraber uygulanan çift cidar sisteminde katmanların arasında bırakılan boşluk sayesinde doğal havalandırma ve ısı kontrolü sağlanabilmekte, fotovoltaik paneller ile solar kazanç sağlanarak elektrik enerjisi üretilebilmektedir. Sonuç olarak, uyarlanabilir cepheler Şekil 2'de belirtilen enerji etkin tasarım parametrelerinin tamamına yanıt vererek, enerji verimliliğine önemli katkılar sağlayabilmektedir (Tablo 8).
- Enerji tüketimini önleme konusunda ısı kontrolü, gün ışığı kontrolü ve doğal havalandırmayı sağlayacak çeşitli sistemler ve malzemeler geliştirilmiştir. Fakat enerji üretimi genellikle fotovoltaik paneller ve rüzgâr türbinleri ile sınırlı kalmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimini sağlama konusundaki çözümlerin sınırlı kalması, tasarımı ve yapıların enerji konusunda pozitive geçebilmesini kısıtlamıştır.
- Pasif ve aktif cephe sistemlerinin iki ayrı sistem olarak değil, birbirine entegre tek bir sistem olarak düşünülmesinin, enerji verimliliğini daha kapsamlı bir şekilde sağlamasının yanında cephe tasarımı konusunda da daha tatmin edici sonuçların elde edilmesine olanak sağlayacağı ön görülmektedir. Pasif cephelerde enerji etkinliğinin malzeme ölçeğine kadar indirgenmesi tasarım konusunda esneklik sağlamakta, aktif cephelerde ise kontrol edilebilen elektronik ve mekanik sistemler cepheye hareketlilik katmasının yanında, değişen iklim koşullarına hızlı cevap verebilmeyi de sağlamaktadır. Örneğin, pasif cephe örneği olan Water Cube'un cephesinde sabun köpüğü konseptinin oluşturulmasını ve şeffaf özelliği sayesinde cephenin ışıklandırılması ile estetik bir görünüm elde edilmesini sağlayan ETFE gibi akıllı malzemelerin tasarım, gün ışığı ve ısı kontrolü amacıyla kullanılmasıyla birlikte; aktif cephe örneği olan KfW Westerkade'de cephedeki cam kaplamanın neden olabileceği parlama ve aşırı ısınmayı önlemek amacıyla yerleştirilen ve cephenin görünümünü etkilemeyen panjur sistemi gibi gün içinde değişen çevresel koşullara hızlı yanıt verebilen elektronik ya da mekanik sistemlerin birlikte entegre bir

şekilde cephede kullanılması hem enerji etkinliği hem de tasarım açısından ideal bir çözüm olabilmektedir.

Sonuç olarak uyarlanabilir cepheler, enerji verimliliğini ve kullanıcı konforunu ciddi ölçüde sağlamanın yanında, tasarım konusunda da çeşitli olanaklar sunmaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte enerji ve tasarım konusunda bu olanakların artacağı ön görülmektedir. Bu bağlamda, yapılarda enerji tüketimine harcanan maliyetlerin düşürülmesi ve fazla enerji tüketiminin neden olduğu çevresel sorunların azaltılabilmesi için uyarlanabilir cephelerin sunduğu fırsatlar hakkında bilinç oluşturulması, uygulanabilirlik açısından erişilebilir olması ve kullanımının artması için tasarımda daha çok yer verilmesi gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- Aelenei, D., Aelenei, L. ve Vieira, C. P. (2016). Adaptive façade: Concept, applications, research questions. *Energy Procedia*, 91, 269-275.
- Archdaily (2013). *Kfw Westarkade / Sauerbruch Hutton*. Web adresinden 11 Nisan 2023 tarihinde erişildi: <https://www.archdaily.com/316143/kfw-westarkade-sauerbruch-hutton>
- Archdaily (2015). *SDU Campus Kolding / Henning Larsen*. Web adresinden 17 Haziran 2023 tarihinde erişildi: <https://www.archdaily.com/590576/sdu-campus-kolding-henning-larsen-architects>
- Archdaily (2017). *SCI Arc / Habitat for Humanity Los Angeles + Darin Johnstone*. Web adresinden 17 Haziran 2023 tarihinde erişildi: <https://www.archdaily.com/874907/ivrv-sci-arc-plus-darin-johnstone-architects>
- Architizer (2012). *Watercube – National Swimming Centre* [Fotoğraf]. Web adresinden 27 Nisan 2023 tarihinde erişildi: <https://architizer.com/projects/watercube-national-swimming-centre/>
- ARUP (b.t.). *A form inspired by the natural formation of soap bubbles*. Web adresinden 10 Nisan 2023 tarihinde erişildi: <https://www.arup.com/projects/chinese-national-aquatics-center>
- Attia, S., Lioure, R. ve Declaude, Q. (2020). Future trends and main concepts of adaptive facade systems. *Energy Science & Engineering*, 8(9), 3255-3272.
- Bitter, J. (2010). *Sauerbruch Hutton KfW Westarkade, Frankfurt, 2010* [Fotoğraf]. Web adresinden 27 Nisan 2023 tarihinde erişildi: <https://www.janbitter.de/sauerbruch-hutton/>
- Brake, A. G. (2015) *Henning Larsen's university building has a facade that moves in response to changing heat and light*. Web adresinden 17 Haziran 2023 tarihinde erişildi: <https://www.dezeen.com/2015/07/14/henning-larsen-syddansk-universitet-sdu-kolding-campus-building-denmark-green-standards-university/>
- Bui, D. K., Nguyen, T. N., Ghazlan, A., Ngo, N. T. ve Ngo, T. D. (2020). Enhancing building energy efficiency by adaptive façade: a computational optimization approach. *Applied Energy*, 265, 114797.
- Cottee, J. (2020). *Cube Berlin – A kaleidoscopic reflection of Berlin's cityscape*. Web adresinden 11 Nisan 2023 tarihinde erişildi: <https://designwanted.com/cube-berlin-3xn/>
- GlassonWeb (2019). *Cube Berlin: Double skin façade that meets complex aesthetic and technical performance requirements*. Web adresinden 11 Nisan 2023 tarihinde erişildi: <https://www.glassonweb.com/news/cube-berlin-double-skin-facade-meets-complex-aesthetic-and-technical-performance-requirements>
- 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.
- Halawa, E., Ghaffarianhoseini, A., Ghaffarianhoseini, A., Trombley, J., Hassan, N., Baig, M., Yusoff, S.Y. ve Ismail, M. A. (2018). A review on energy conscious designs of building façades in hot and humid climates: Lessons for (and from) Kuala Lumpur and Darwin. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 2147-2161.
- Inhabit (b.t.) *Brisbane Airport Domestic Terminal Carpark*. Web adresinden 16 Haziran 2023 tarihinde erişildi: <https://inhabitgroup.com/project/brisbane-airport-domestic-terminal-carpark-brisbane-australia/>
- Jahed, N. (2018). *Performance based façades: Retrofit strategies for energy efficiency and comfort in existing office buildings*. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Karadağ, İ. ve Çakmaklı, A. B. (2020). Interface of the Natural Ventilation Systems with Building Management Systems. *Periodica Polytechnica Architecture*, 51(2), 178-188.

- Kocaağa, M. ve Özcan, U. (2022). Variables affecting the performance of facade systems in architecture. Çavuş, V. & Bardak, S. (Eds.) *Research & Reviews in Engineering* içinde (ss.97-133). Ankara: Gece Kitaplığı
- Konstantinou, T. ve Hoces, A. P. (2018). Environmental design principles for the building envelope and more: Passive and active measures. Konstantinou, T., Cukovic, N., ve Zbasnik M. (Eds.), *Energy-Resources and Building Performance* içinde (ss.147-180). Delft: TU Delft Open
- Korniyenko, S. (2021). Progressive trend in adaptive façade system technology. *AlfaBuild*, 19(4), 18-35.
- Li, Y., Zhao, Y., Chi, Y., Hong, Y. ve Yin, J. (2021). Shape-morphing materials and structures for energy-efficient building envelopes. *Materials Today Energy*, 22, 100874.
- Mar (2020). *Cube Berlin Architecture Cityscape*. Web adresinden 11 Nisan 2023 tarihinde erişildi: <https://designstudio-mag.com/cube-berlin-architecture-cityscape-design-studio-mag-powered-by-furrina/>
- Mazzucchelli, E. S., Aelenei, L. E., Gomes, M. D. G., Karlessi, T., Alston, M. ve Aelenei, D. (2018). Passive adaptive façades: Examples from COST TU1403 working group 1. Luible, A. ve Gosztanyi, S. (Eds.), *Facade 2018-Adaptive: Adaptive Facades Network Final Conference* içinde (ss. 63-72). Lucerne: TU Delft Open
- McKnight, J. (2016). *SCI-Arc students build affordable home in low-income Los Angeles neighbourhood*. Web adresinden 17 Haziran 2023 tarihinde erişildi: <https://www.dezeen.com/2016/06/22/sci-arc-students-habitat-for-humanity-residential-architecture-low-income-los-angeles-neighbourhood-california-usa/>
- Mørk, A. (2020). *3XN unveils cube-shaped office block in central Berlin*[Fotoğraf]. Web adresinden 11 Nisan 2023 tarihinde erişildi: <https://www.dezeen.com/2020/09/03/berlin-cube-office-block-3xn-washingtonplatz/>
- Orhon, A. V. (2016). Adaptive building shells. Efe, R., Matchavariani, L., Yaldir, A., Lévai, L. (Eds) *Developments in Science and Engineering* içinde (ss.555-567). Sofia: St. Kliment Ohridski University Press.
- Pieczara, J. (2017). Natural ventilation and energy efficiency in non-domestic buildings. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, (III/1), 935-947.
- Ravenscroft, T.(2020). *3XN unveils cube-shaped office block in central Berlin*. Web adresinden 11 Nisan 2023 tarihinde erişildi: <https://www.dezeen.com/2020/09/03/berlin-cube-office-block-3xn-washingtonplatz/>
- Richardson, A. (2009). *ETFE: Why this building material is gaining popularity*. Web adresinden 10 Nisan 2023 tarihinde erişildi: <https://www.architen.com/articles/etfe-the-new-fabric-roof/>
- Saflex (2020). *Cube Berlin*. Web adresinden 16 Haziran 2023 tarihinde erişildi: <https://www.saflex.com/gallery/cube-berlin>
- Sarıoğlu, P. ve Ayçam, İ. (2018). Değişim ve dönüşümün cephelere yansması: Kinetik cephelerin sürdürülebilirlik açısından potansiyelinin incelenmesi. *ISUEP2018 Uluslararası Kentleşme ve Çevre Sorunları Sempozyumu: Değişim/Dönüşüm/Özgünlük*, 28-30 Haziran 2018 içinde (ss. 368-378). Eskişehir: Anadolu Üniversitesi.
- Sauerbruch, M. (2011). Sustainable architecture. *Detail Green English*, 1, 26-31.
- Schubert, M. ve Lindhe J., (b.t.). *SDU Campus Kolding / Henning Larsen*. Web adresinden 17 Haziran 2023 tarihinde erişildi: <https://www.archdaily.com/590576/sdu-campus-kolding-henning-larsen-architects>
- Soudian, S. ve Berardi, U. (2021). Development of a performance-based design framework for multifunctional climate-responsive façades. *Energy and Buildings*, 231, 110589.
- Suner, A. (2011). Adaptive architecture. *Çevresel Etkenlere Göre Değişebilen Mimari*, Mayıs-Haziran, 85-86.
- Tabadkani, A., Roetzel, A., Li, H. X. ve Tsangrassoulis, A. (2021). Design approaches and typologies of adaptive facades: A review. *Automation in Construction*, 121, 103450.
- Voigt, M. P., Chwalek, K., Roth, D., Kreimeyer, M. ve Blandini, L. (2023). The integrated design process of adaptive façades: a comprehensive perspective. *Journal of Building Engineering*, 67, 106043.
- White, J. (2016). *SCI-Arc and Habitat for Humanity of Greater Los Angeles Complete Innovative, Sustainable and Affordable Home for Local Veteran and Family*. Web adresinden 17 Haziran 2023 tarihinde erişildi: <https://www.sciarc.edu/news/2016/sci-arc-habitat-for-humanity-la-home-completed>
- Yaman, B. ve Arpacıoğlu, Ü. (2021). Dinamik kontrollü uyarlanabilir cephe ve gölgeleme sistemleri. *Journal of Architectural Sciences and Applications*, 6(1), 153-164.

- Yaman, M. (2021). Different facade types and building integration in energy efficient building design strategies. *International Journal of Built Environment and Sustainability*, 8(2), 49-61.
- 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.
- UAP (2012) *Turbulent Line, Brisbane, Australia*. Web adresinden 16 Haziran 2023 tarihinde erişildi: <https://www.uapcompany.com/projects/turbulent-line#gallery>