



Enerji Etkin Ofis Binalarında Uygulanan Aktif Cephe Sistemleri

Active Facade Systems Applied in Energy Efficient Buildings

Hatice Fulya CEBECİOĞLU AVCI¹, Zafer AKDEMİR²

Gönderilme Tarihi: 23.11.2023- Kabul Tarihi: 06.02.2024

Özet

Enerji sorunu, küresel boyutta artan iklim ve ekoloji krizleri; bina tasarımında ekolojik yaklaşımlar, sürdürülebilirlik, enerji etkin tasarım gibi konuları öne çıkarmıştır. Enerji etkin bina tasarımı, binanın ömrü boyunca en az enerji tüketimini, enerji korunumunu, yenilebilir enerji kaynaklarının kullanımını ve çevreye duyarlı binaları amaçlamaktadır. Ofis binaları, enerji tüketimi yüksek yapı tiplerinden biridir. Bina iç ve dış ortamları arasında ayırıcı görevi olan cepheler, yapı teknolojisinin ilerlemesiyle bina içi konfor koşullarının en az enerji tüketimiyle sağlanmasına katkıda bulunan, değişen iklim koşullarına uyum sağlayabilen aktif bileşenler haline gelmektedir. Bu çalışmada, ofis binaları cephelerinde en çok uygulanan aktif cephe çözümleri ve yenilenebilir enerji üretiminde kullanılan bileşenlerin cepheye entegre olduğu cephe sistemleri incelenmiştir. Farklı cephe sistem çözümlerinin enerji etkin tasarımdaki potansiyelinin ve yenilikçi yaklaşımların etkisinin görülmesi amaçlanmıştır. Bu cephe çözümlerinin bir veya birkaçının kullanıldığı dört örnek bina incelenmiş ve cephe tasarım kararlarının önceliklerinin enerji tüketimi, ısı konfor ve görsel konfor olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Akıllı cepheler, Enerji etkin cephe tasarımı, Ofis binası cepheleri.

Abstract

Energy problem and increasing global climate and ecological crises have highlighted issues such as ecological approaches in building design, sustainability and energy efficient design. Energy efficient building design aims to minimize energy consumption, energy conservation, use of renewable energy resources throughout the life of the building and environmentally friendly buildings. Office buildings are one of the building types with high energy consumption. Facades, which separate the interior and exterior of the building, with the advancement of building technology, are becoming active components that can adapt to changing climatic conditions and contribute to the provision of indoor comfort conditions with minimum energy consumption. In this study, it is aimed to see the potential of different facade system solutions in energy efficient design and the effect of innovative approaches by examining the active facade solutions most commonly applied on office building facades and the facade systems in which components used in renewable energy production are integrated into the facade. Four sample buildings where one or more of these facade solutions were used were examined and it was seen that the priorities of facade decisions were energy consumption, thermal comfort and visual comfort.

Keywords: Intelligent facades, Energy-efficient facade design, Office building facades.

Atf: Cebecioğlu Avcı, H. F. ve Akdemir, Z. (2024). Enerji etkin ofis binalarında uygulanan aktif cephe sistemleri. *Modular Journal*, 7(1-2), 181-197. <https://doi.org/10.59389/modular.1394734>

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, fcebecioglu@yahoo.com | ORCID: 0000-0002-8208-4572

² İstanbul Gedik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, zafer.akdemir@gedik.edu.tr | ORCID: 0000-0003-3464-3568

1. Giriş

Enerji kaynaklarının tükenme noktasına gelmesi, küresel ısınma sonucu iklim krizi vb. çevresel sorunlar, bina tasarımında ve mevcut binalarda ekolojik yaklaşımların ön plana çıkmasını sağlamıştır. Binaların yaşam döngüsü boyunca çevreye duyarlı olması, standartları düşürmeden en az enerji kullanımının sağlanması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, enerji etkin bina tasarımının konusunu oluşturmaktadır (Çakmanus, 2004; Dikmen, 2011). Enerji etkin bina tasarımında öne çıkan kararlar aşağıdaki gibi sıralanabilir (Çakmanus, 2004):

- Kışın ısıtma, yazın soğutma yükünü en aza indirmek,
- Doğal havalandırma sağlamak,
- Doğal aydınlatma sağlamak,
- Yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmak.

Yapı kabuğu, oluşturduğu yapma çevrede kullanıcı için gerekli konfor koşullarının sağlanmasında en önemli yapı parçalarındandır (Manioğlu, 1995). Bu bağlamda, binanın dış görünümünü oluşturan yapı kabuğu alt bileşeni olan cephe sistemi, bina içi ve dışı arasındaki denge göreviyle enerji etkin bina tasarımında önemli rol oynamaktadır.

Binalarda aktif cephe sistemleri, konfor koşullarını gözeterek enerji korunumunun sağlanması ve enerji tüketiminin en aza düşürülmesinde cephe sistemi bileşenlerinin çevre verilerine göre değişiklik gösterebilmesi olarak tanımlanmaktadır (Wigginton ve Harris, 2002; Lee vd., 2002). Sensörlerle ölçülebilen çevresel verilerin bilgileri, merkezi bir bina yönetim sistemine aktarılmakta ve sistem, iç ve dış ortam koşullarını dikkate alarak cephe bileşenlerinin en uygun halini almasını sağlamaktadır (Wigginton ve Harris, 2002). Bu uygulamalarda öngörülen değerlere ulaşılabilmesi için, cephenin ilk tasarımından uygulama aşamasına kadar birçok farklı disiplinin bütünlük bir yaklaşımla çalışması gerekmektedir (Moghtadernejad vd., 2019).

Ofis binalarında kurumsal kimlik kaygısı nedeniyle cephenin sağladığı estetik algı, mimari tasarımı ve konsept yaklaşımlarını yönlendirebilmektedir. Bina teknolojisi ve yeniliklerin ofis tipi binalarda kullanılması; küresel ölçekte sertifika veren kuruluşlardan (LEED, BREEAM vb.) alınan dereceler, kurumun prestijini de olumlu etkilemektedir. Cephelerinde pasif ve aktif çözümlerin bir arada kullanıldığı, yeşil bina sertifikalı ofis binalarının sayısı çoğalmaktadır. Kullanım aşamasındaki enerji tüketimi yüksek olan bina tiplerinden biri olan ofis binalarında, çevreye duyarlı tasarım yanında, kullanıcıların iş verimliliği için bina içi konfor koşullarının sağlanması da önemli konulardan biri olmaktadır.

Ofis binalarında enerji tüketimi büyük ölçüde ısıtma, soğutma ve aydınlatma gereksiniminden kaynaklanmaktadır (WBCSD, 2009). Binada iç ve dış ortam arasında denge görevini üstlenen cephe ögesinin tasarımında verilen kararlar, enerji tüketimini doğrudan etkilemektedir. Bina teknolojisindeki gelişmelerin etkisiyle, bina cephelerinde aktif cephe sistemleri ve cepheye entegre yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı uygulamaları artmaktadır. Bu bağlamda, uygulanan cephe sistemlerini ve etkilerini incelemek önem taşımaktadır.

2. Araştırmanın Amacı

Bu çalışmada, ofis binaları cephelerinde en çok uygulanan aktif cephe çözümleri ve yenilenebilir enerji üretiminde kullanılan bileşenlerin cepheye entegre olduğu cephe sistemleri incelenerek, enerji etkin tasarımda farklı cephe sistem çözümlerinin potansiyelinin ve yenilikçi yaklaşımların etkisinin görülmesi amaçlanmıştır.

3. Araştırmanın Kapsamı

Ofis binalarının tasarımında, kurumsal imajın etkisiyle estetik kaygı ve yenilikçi yaklaşımlar ön planda tutulmaktadır. Ofis binaları, enerji tüketimi yüksek yapı tiplerinden biridir. İç ve dış ortamlar arasında denge görevi gören cephe ögesinin tasarımında, enerji korunumu ve enerji kazanımı konularında yapı teknolojisinin ilerlemesiyle, farklı cephe çözümleri geliştirilmektedir. Bu doğrultuda Dünya genelindeki enerji etkin ofis binalarının cephe tasarım kararlarına bakıldığında, iklim verilerine uyum sağlayan aktif cephe sistemleri ve yenilenebilir enerji üretiminin cepheye entegre edildiği örnekler dikkat çekmektedir. Araştırma kapsamında bu cephe sistemleri tanımlanmış ve örnek uygulamalar ile binaya kattığı özellikler belirtilmiştir.

4. Araştırmanın Yöntemi

Çalışmada öncelikle bina yönetim sistemi ile yönlendirilen aktif cephe çözümleri olarak, çift kabuklu cephe sistemi ve dinamik dış güneş denetim sistemi ele alınmıştır. Ayrıca, cephelerde güneş enerjisi üretimi için fotovoltaik sistemler ve rüzgâr enerjisi üretimi için rüzgâr türbinleri kullanımı grafiksel olarak ifade edilmiş ve örnek ofis bina cepheleri verilmiştir. Bu cephe çözümlerinin bir veya birkaçının beraber kullanıldığı referans niteliğinde dört ofis binası incelenmiş; cephe kararları ve cephenin bina sistemine kattığı olumlu özellikleri belirtilmiştir.

5. Ofis Binalarında Enerji Etkin Cephe Tasarımı

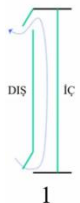
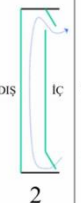



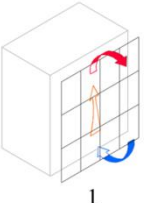
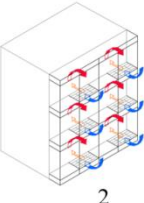
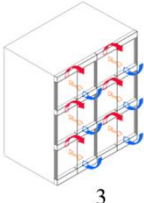
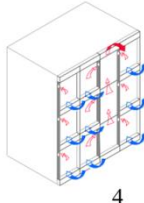
Dış ortamdan bağımsız, iç ortam konfor koşullarını mekanik olarak sağlayan cam kutu formundaki ofis bina cepheleri, küresel iklim ve ekolojik krizin bina tasarımına etkisiyle çevreye duyarlı cephe çözümlerine dönüşmektedir. Enerji etkin cephe tasarımının konusu, binanın enerji korunumunun sağlanması yanında, cephede yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimine yönelik tasarım yapılmasını da içermektedir. Binanın çevre verilerindeki değişime uyum sağlayarak enerji tüketimini en aza indirmeyi amaçlayan ofis binalarında en çok kullanılan aktif cephe sistemleri, çift kabuk cephe sistemleri ve dinamik dış güneş denetim sistemleridir. Bina cephelerinde, yenilenebilir enerji kaynakları olarak güneş ve rüzgâr enerjisini elektrik enerjisine çeviren cephe bileşenleri farklı çözümlerle cepheye entegre edilmektedir. Bu bölümde, bu cephe sistemleri ve kullanımları incelenmiştir.

5.1. Çift kabuk cephe sistemi

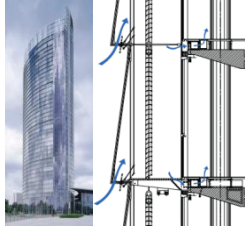

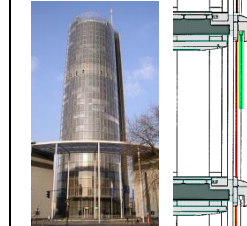
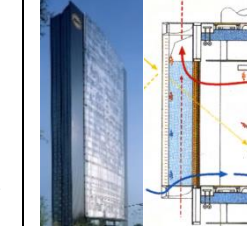
Çift kabuk cephe sistemi, bina cephesi önüne bir ara boşluk oluşturarak ikinci bir cephe kurulmasıyla oluşturulmaktadır (Compagno, 2002). İki katman arasındaki boşluk, soğutma ve ısıtma yüklerini azaltarak enerji tasarrufu sağlamaktadır. İkinci katman

üzerinde oluşturulan boşluklar, çok katlı yapılarda bina içi doğal havalandırma sağlayabilmektedir. İkinci katman, ses yalıtımını önemli oranda iyileştirmekte ve yaz mevsiminde soğutma yükünü azaltmak için gece havalandırmasına izin vermektedir. Güneş denetim bileşenleri iki katman arasındaki boşluğa yerleştirilebilmekte; bu şekilde bakım maliyetleri düşmektedir. İç ortamda cephe yakınındaki ısı konfor seviyesinin düşmesini önleyen çift kabuk cephe sistemi, cephe tasarımında daha geniş saydam alana olanak vermektedir. İç mekânda cephe yakınındaki mekânların konfor koşullarının iyileştirilmesi, bu alanların kullanımını arttırmaktadır. Bu cephe sistemlerinin olumsuz özellikleri de bulunmaktadır. Yangın yayılımı için önlemler alınmasını gerektirmekte, aynı cephe boşluğuna bakan odalar arasında ses geçişine neden olabilmektedir. Uygun şekilde tasarlanmadığında, iki katman arasındaki boşlukta aşırı ısınma olabilmektedir. Çok katlı uygulamalarında boşluktaki hava akış hızı artabilmekte, doğal havalandırma yapılan mekânlarda basınç farklılıkları oluşabilmektedir. Ayrıca, ilk yapım ve işletme maliyetleri geleneksel tek kabuklu cephe sistemlerine göre daha fazladır (Poizaris, 2004).

Çift kabuk cephe sistemleri, iki katman arasındaki boşluğun havalandırma yöntemlerine ve bölünmesine göre farklı detaylarla çözümlenmekte ve farklı gereksinimlere karşılık vermektedir (Şekil 1). İki katman arasındaki boşluk; boşluğun dış ortam havasıyla havalandırıldığı dış hava perdesi, iç ortam havası ile havalandırıldığı iç hava perdesi, dış ortam havasının bina iç ortamına geçişi ile çalışan hava desteği, iç ortam havasının tahliyesi ile çalışan hava çıkışı ve iki katmanın da kapalı olduğu ve mekanik olarak havalandırılan hava tamponu olmak üzere beş farklı şekilde havalandırılabilir. Cephe sistem çözümüne göre, bir cephe farklı havalandırma yöntemleri ile çalıştırılabilir (Loncour vd., 2005). Çift kabuk cephe sistemleri, iki katman arasındaki boşluğun bölünmesine göre; cephe yüksekliğinde kesintisiz uygulandığı çok katlı çift kabuk cephe sistemi, her katta yatay bölünmüş koridor çift kabuk cephe sistemi, bir katta yatayda ve düşeyde bölünerek özelleşen tek üniteli çift kabuk cephe sistemi, yatayda bölünmüş çift cephe sisteminin cephe yüksekliğinde kesintisiz baca etkisiyle çalışan bir kanala bağlandığı düşey kanallı çift kabuk cephe sistemi olarak dörde ayrılmaktadır (Saelens, 2002). Bu sistemlerin uygulandığı ofis binası cephelerinin örnekleri Şekil 2’de sunulmuştur.

Havalandırma yöntemleri					Havalandırma boşluklarının bölünmesi			
								
1. Dış hava perdesi	2. İç hava perdesi	3. Hava desteği	4. Hava çıkışı	5. Hava tamponu	1. Çok katlı çift kabuk cephe sistemi	2. Koridor çift kabuk cephe sistemi	3. Tek üniteli çift kabuk cephe sistemi	4. Düşey kanallı çift kabuk cephe sistemi

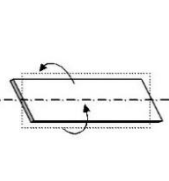
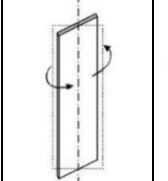
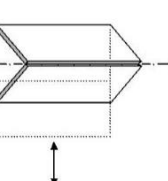
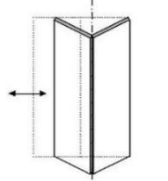
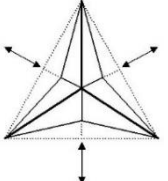
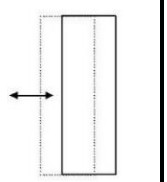
Şekil 1. Çift Kabuk Cephe Sisteminin Havalandırma Yöntemleri (Loncour vd., 2005) ve Havalandırma Boşluklarının Bölünmesine Göre Sınıflandırılması (Cebeciöglü, 2004)

1.Çok katlı çift kabuk cephe sistemi	2.Koridor çift kabuk cephe sistemi	3.Tek üniteli çift kabuk cephe sistemi	4.Düşey kanallı çift kabuk cephe sistemi
			
1. Post Tower, Bonn, Almanya, 2002 (Wood ve Salib, 2013) 2. KfW Westarkade, Frankfurt, Almanya, 2010 (Wood ve Salib, 2013)		3. Rwe Tower, Essen, Almanya, 1999 (Space Modulator, 1999) 4. Arag Headquarters, Düsseldorf, Almanya, 2001 (Compagno, 2002)	









Şekil 2. Çift Kabuk Cephe Sistemlerinin Ofis Binaları Cephelerinde Kullanım Örnekleri

5.2. Dinamik dış güneş denetim sistemleri

Dinamik güneş denetim sistemleri, iç ortam konfor koşullarının en düşük enerji kullanımıyla sağlanabilmesi için, değişen dış ortam koşullarına göre en uygun duruma dönüştürülebilir hareketli cephe bileşenleridir. Merkezi bina yönetim sistemi, sensörler aracılığıyla alınan veriler (güneşin yönü, yoğunluğu, hava akışı vb.) doğrultusunda, dinamik bileşenlerin açma-kapama ya da kademeli çalışma durumlarından en verimli moduna getirilmesini sağlamaktadır. Bu dinamik güneş denetim sistemlerinin, güneş ışınımından kaynaklanan ısı kazancı ve gün ışığı kullanımı yanında, parlamannın önlenmesi ve dış ortamla görsel temasın sağlanması için etkin olarak yönetilmesi gereklidir (Loonen vd., 2015). Güneş denetim sistemleri; aksel dönme, katlanma, kayma veya malzeme özelliklerinden kaynaklanan çözümler ile farklı biçimlerde hareket edebilmektedir (Şekil 3). Bu sistemler, cephenin bir kısmında veya tümünde uygulanabilmektedir. Ofis bina cephelerinde uygulama örnekleri Şekil 4'te verilmiştir.

1.Eksenel Dönme Yatay Eksen	Düşey Eksen	2. Katlanma			3.Kayma
		Yatay Katlanma	Düşey Katlanma	Çoklu Katlanma	
					

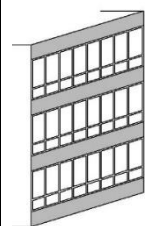
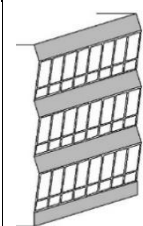
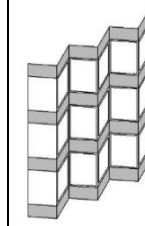


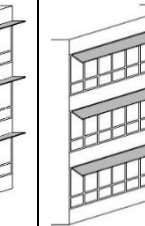
Şekil 3. Dinamik Dış Güneş Denetim Sistemlerinin Hareket Tipleri

1. Eksenel Dönme			
Yatay Eksen			Düsey Eksen
	Head office of AGC Glass Europe Louvain-La-Neuve, Belçika, 2014 (Samyn and Partners, t.y.)		RMIT Design Hub Melbourne, Avustralya, 2012 (Seangodsell, t.y.)
2. Katlanma			
Yatay Katlanma		Düsey Katlanma	Çoklu Katlanma
			
	Kiefer Technic / Steiermark, Avusturya, 2017 (Giselbrecht, t.y.)	Cologne Oval Offices / Köln, Almanya, 2010 (Sauerbruchhutton, t.y.)	Al Bahr Towers / Abu Dabi, BAE, 2012 (Arup, t.y.)
3. Kayma		4. Malzemeye Bağlı Çözümler	
		Şişme (Etilen Tetra Floro Etilen Malzeme)	
Arap World Institute / Paris, Fransa, 1987 (Imarabe, t.y.)		Media-TIC / Barcelona, İspanya, 2009 (AV, t.y.)	








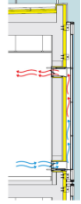
Şekil 4. Dinamik Dış Güneş Denetim Sistemlerinin Ofis Binaları Cephelerinde Kullanım Örnekleri

5.3. Cephelerde yenilenebilir enerji üretimi

Güneş Enerjisi: Fotovoltaik sistemler, güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirmektedir. Bu sistemler, bina cephelerinde Şekil 5'te sunulduğu gibi cepheyi oluşturan düşey bileşen veya cepheye entegre bileşen olarak kullanılabilir. Düşey bileşen olarak; düzlemsel, kırıklı ve eğimli şekilde uygulanabilmektedir. Cepheye entegre olan sistemler ise; yatay güneş denetim bileşeni, eğimli güneş denetim bileşeni ve cephe üzerine kurulan taşıyıcı ızgara üzerine yerleştirilen yağmur perdesi sistemidir (Çelebi, 2002). Ofis binalarında uygulanmış örnekleri Şekil 6'da verilmiştir. Fotovoltaik sistem modülleri; geçirgen veya yarı geçirgen olabilmekte, istenilen boyutlarda ve renkte üretilebilmekte, cepheye kolay entegre edilebilmektedir (Sayın ve Koç, 2011).

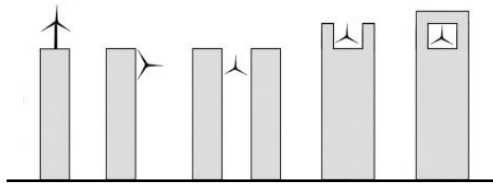
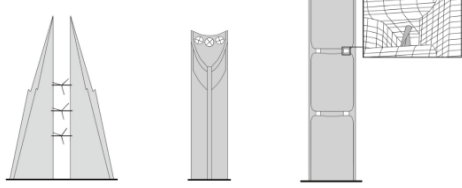


1. Cepheyi oluşturan düşey bileşen olarak fotovoltaik sistem kullanımı				2. Cepheye entegre fotovoltaik sistem kullanımı		
Düzlemsel	Kırıklı (yatay-düşey)	Eğimli	Güneş denetim bileşeni Yatay	Eğimli	Yağmur Perdesi	
						

Şekil 5. Fotovoltaik Sistemlerin Cephede Kullanımı

1. Cepheyi oluşturan dikey bileşen olarak fotovoltaik sistem örnekleri			
Düzlemsel	Kırıklı	Eğimli	
			
Gioia 22 / Milano, İtalya, 2021 (Ariatta, t.y.)	FKI Tower / Seoul, Kore, 2014 (AS+GG, t.y.)	Hanwa Headquarters / Seoul, Kore, 2019 (Solararchitecture, t.y.)	
2. Cepheye entegre fotovoltaik sistem örnekleri			
Yatay güneş denetim bileşeni	Eğimli güneş denetim bileşeni	Yağmur perdesi	
			
Pearl River Tower / Guangzhou, Çin, 2013 (Arch20, t.y.)	HML Headquarters / Yorkshire, İngiltere, 2011 (Bowman Riley, t.y.)	Solar XXI / Lizbon, Portekiz, 2006 (Gonçalves vd., 2012).	

Şekil 6. Fotovoltaik Sistemlerin Ofis Binaları Cephelelerinde Uygulama Örnekleri

Rüzgâr Enerjisi: Binaların doğal havalandırılmasının sağlanmasında pasif olarak yararlanılan rüzgâr enerjisi, rüzgâr türbinlerinin kullanımı ile yenilenebilir enerji kaynağı olarak da bir seçenek oluşturmaktadır. Sistemin doğru çalışabilmesi için bina çevresinin rüzgâr hızı ve iklim verileri uygun olmalıdır. Ilgın ve Günel (2021)'e göre; rüzgâr enerjisinin binalara mimari entegrasyonu, binaya bağlı rüzgâr türbinlerinde, çatı veya duvarlara yerleştirilen 'bina-monte-tadilli' ve türbin performansını yükselten mimari biçim ile oluşturulan 'bina-entegre' rüzgâr türbini kullanımı olarak ikiye ayrılmaktadır (Şekil 7). Tüm uygulamalarda rüzgâr türbinleri bina cephesinde görünmekte veya cephe tasarımını yönlendirmektedir.

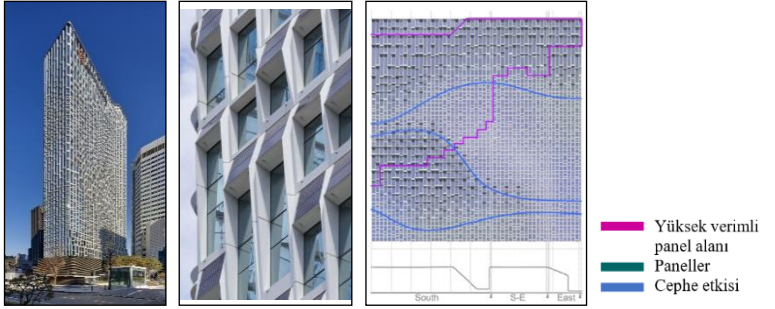
1. Bina-monte-tadilli rüzgâr türbini	2. Bina-entegre rüzgâr türbini
	
	
The Hess Tower (149 m) Teksas, ABD, 2009 (Gensler, t.y.)	Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi (240 m) Manama, Bahreyn, 2008 (CTBUH, t.y.)

Şekil 7. Binalarda Rüzgâr Türbini Kullanımı (Ilgın ve Günel, 2021), Ofis Binaları Cephelelerinde Uygulama Örnekleri

6. Enerji Etkin Ofis Binaları Örnekleri


Çalışma kapsamında örnek olarak, farklı aktif cephe sistemi çözümlerinin bir arada uygulandığı enerji etkin ofis binaları seçilmiştir. Referans niteliğindeki dört ofis binasının cephe sistem bilgileri; güneş denetimi, yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı, bina yönetim sistemi, cephe sisteminden beklenen nitelikler ve cephe tasarım kararlarının enerji tüketimine etkisi ana başlıkları ile sunulmuştur.

‘Hanwha Genel Merkezi’ binasında (1998), yatay opak panel şerit ve koyu renkli cam cepheden oluşan 125,5 metre yüksekliğindeki mevcut cephe, yalıtımlı cam ve fotovoltaik panelleri içeren bir cephe tasarımı ile 2016-2019 yıllarında UNStudio tarafından yenilenmiştir. Yenileme projesi, Green Building Award 2014 finalisti olmuş; 2020 CTBUH (Council on Tall Buildings and Urban Habitat) Yenileme Ödülü’nü kazanmıştır. Uygulama, binanın kullanımını etkilemeden üçer kat olacak şekilde gerçekleştirilmiştir (Solararchitecture, t.y.). Cephenin %80’inde aynı tip modül kullanılmış; güneşin hareketleri dikkate alınarak, güney ve güney doğu cephesindeki modüllerde opak alanlara fotovoltaik paneller yerleştirilmiştir (Şekil 8). Diğer cephe yönlerinde de gerekli yerlere fotovoltaik panel eklenerek, en iyi verimi alabilmek için panellerin bulunduğu modüllerde açılı uygulamalar yapılmıştır. Ayrıca cephe modülü tasarımında, opak yüzeylerin gölgeleme bileşeni olarak kullanılması sağlanarak cam yüzeyin rahatsız edici güneş ışınımlarından korunması amaçlanmıştır. Cephede modül yerleşimi, bina içi işlev de dikkate alınarak tasarlanmış; karmaşıklık ve düzensizlik algısı oluşturulmuştur (Unstudio, t.y.a). Yeni cephe çözümü ile enerji tüketimi %40 oranında azalmıştır (Solararchitecture, t.y.). Cephe tasarım kararlarıyla iç mekânda görsel konfor ve ısı konfora katkı sağlanması, enerji tüketiminin azaltılması ve cephede fotovoltaik panellerin kullanımıyla enerji üretiminin sağlanması amaçlanmıştır. İşitsel konfor sağlanabilmesi için cephe açılımı tercih edilmemiştir. Cephe sistemi bilgileri Şekil 8’de belirtilmiştir.

Hanwha Headquarters Cephe Yenilemesi	
Konum	Seul, Güney Kore
Yapım Yılı	2019 yenileme
Mimar	UNStudio
Kat Sayısı	31 katlı
Cephe Sistemi	Tek kabuklu cephe sistemi
Güneş Denetimi	Cephe modüllerinin opak bileşenleri (sabit)
Yenilenebilir Enerji Kaynakları Üretimi	Fotovoltaik panel
Bina Yönetim Sistemi	Yok
Cephe Sisteminden Beklenen Nitelikler	Görsel konfor, Isıl konfor, İşitsel konfor, Enerji üretimi
Enerji Tüketimi	%40 azalma (Cephe sistemi yenilenmeden önceki duruma göre)

Şekil 8. Hanwha Headquarters Cephe Sistemi, Genel Görünümü (Solararchitecture, t.y.; Unstudio, t.y.a) ve Güney-G. Doğu Cephelerinde Fotovoltaik Panel Yerleşimi (Unstudio, t.y.b)

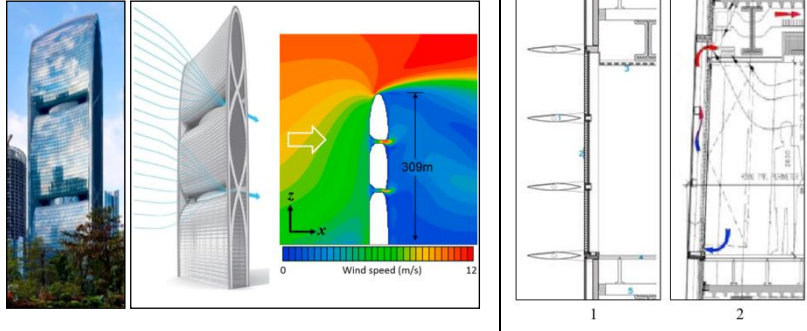
‘Al Bahr Towers’ binası, 25 katlı iki bloktan oluşmakta ve Abu Dabi’de yer almaktadır. Cephesinde dinamik güneş denetim elemanları kullanılmıştır. Ofis binasının bulunduğu sıcak iklimin etkilerini azaltabilmek için, bina çevresinde güneşin konumuna göre açılıp kapanabilen modüller bir sistem geliştirilmiştir (Şekil 9). Binanın batı, güney ve doğu cephelerine yerleştirilen bu modüller, güneş ışınlarının ısıtıcı ve parlama etkisini azaltarak daha az koyu renk cam kullanımına olanak sağlamış; bina içinde doğal aydınlatma kullanım oranını arttırmıştır (Arup, t.y.). Tasarımın çıkış noktasını geleneksel binalarda kullanılan ‘maşrabiye’ olarak adlandırılan ahşap kafesler oluşturmuştur. Bulduğu konumun tarihi, kültürü ve çevresine saygılı tutumu cephe kararları ile kendisini göstermiştir. Cephenin tasarım aşamasında, güneşin yönüne göre bileşen hareketlerini sağlayabilmek için çeşitli simülasyonlarla ayrıntılı çalışmalar yapılmıştır. Ana cepheye 2 metre mesafede yerleştirilmiş 4 metre yüksekliğindeki hareketli üçgen düzlemlerden oluşan 2098 modül, bilgisayar sisteminin yönlendirmesi ile açılıp kapanarak güneş enerji kazanımının %50’ye kadar azaltılmasını sağlamaktadır (AHR, t.y.). Her ünite, bir dizi gerilmiş PTFE (politetrafloroetilen) panelden oluşmaktadır (Wikiarquitectura, t.y.). Binanın cephe sisteminin enerji tüketimine etkisi; binanın tamamı için %20, sadece ofis alanları için ise %50 azalma yönündedir (Karanouh ve Kerber, 2015). Cephe tasarım kararlarında, görsel konfor ile ısı konforun sağlanabilmesi ve enerji tüketiminin azaltılması dikkate alınmıştır. Ofis binasının cephe sistemi bilgileri Şekil 9’da yer almaktadır.

Al Bahr Towers	
Konum Abu Dabi, Birleşik Arap Emirlikleri	
Yapım Yılı 2012	
Mimar AHR Architects	
Kat Sayısı 25 katlı, 2 blok	
Cephe Sistemi	Çok katlı çift kabuk cephe sistemi (dış hava perdesi)
Güneş Denetimi	Dinamik dış güneş denetim sistemleri (çoklu katlanma)
Yenilenebilir Enerji Kaynakları Üretimi	Yok
Bina Yönetim Sistemi	Var
Cephe Sisteminden Beklenen Nitelikler	Görsel konfor, Isıl konfor, İşitsel konfor
Enerji Tüketimi	%20 azalma (Tüm bina için), %50 azalma (Ofis alanları için)

Şekil 9. Al Bahr Towers Cephe Sistemi, Genel Görünümü (Arup, t.y.) ve Güneş Denetim Elemanlarının Hareketleri (Wikiarquitectura, t.y.).

‘Pearl River Tower’ ofis kuleleri; enerji tüketimini azaltmak, enerji üretmek, karbon emisyonlarını azaltmak ve kullanıcılara sağlıklı iç ortam koşulları sağlamak amacıyla yüksek performanslı bir ofis binası olarak tasarlanmıştır. Çin’in Guangzhou şehrinde yer alan ve 2013 yılında inşaatı tamamlanan 71 katlı binanın cephe çözümleri, yönlere göre farklılık göstermektedir. Bina uzun kenarı, bölgenin hakim rüzgâr yönü olan güneye dik olarak konumlanmıştır. Güney cephesi, iç bükey ve eğrisel formu ile rüzgârı Şekil 10’da görüldüğü gibi 24. ve 50. katlardaki mekan alanlarındaki 4 açıklığa


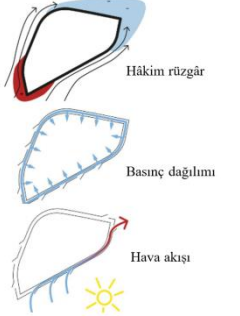
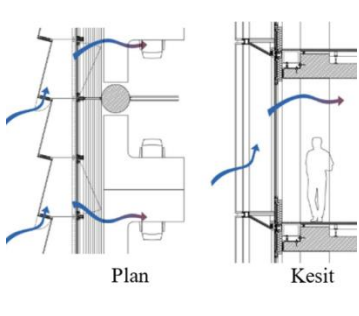
yönlendirmektedir. Cephe girişlerinin rüzgâr hızını 2,5 kat arttıracakları ön görülmüştür. Bu açıklıklardaki düşey rüzgâr türbinlerinin (2 m x 5 m) ürettiği enerji, bina için elektrik enerjisi olarak kullanılmaktadır. Güney ve kuzey cephelerinde uygulanan 3.00x3.90 metre boyutlarında çift katmanlı cephe panellerinde, iki katman arasındaki boşluk 24 cm genişliğindedir ve mekanik olarak havalandırılmaktadır. Dış katman yalıtımlı, low-e kaplamalı, temperli cam; iç katman ise şeffaf camdır (Şekil 10). Çift cephe sistemi, iç ve dış ortam arasındaki sıcaklık farkını azaltmak ve ses yalıtımı sağlamak için tercih edilmiştir. Kullanıcı görsel konforunu arttırmak ve güneş denetimini sağlamak amacıyla iki katman arasına yerleştirilen motorlu panjurlar, fotosellerin sağladığı veriler doğrultusunda, bina yönetim sistemi tarafından kapalı, 45° ve açık olacak şekilde üç kademe kontrol edilmektedir. Doğu ve batı cephelerinde tek katmanlı sistemde üçlü cam kullanılmış, dışta yatay olarak belirli aralıklarla yerleştirilmiş güneş denetim bileşenleri üzerinde fotovoltaik paneller kurulmuştur (Şekil 11). Binanın, tüm alınan tasarım kararları doğrultusunda, yönetmeliğe uygun benzer bir yapıya göre enerji tüketimini %58 oranında azalttığı öngörülmektedir (Tomlinson vd., 2014; Frechette ve Gilchrist, 2008). Çok katlı ofis yapısının cephe tasarım kararlarında, rüzgâr tribünü kullanımı ön planda tutulmuştur. Cephe, hakim rüzgâr yönü dikkate alınarak rüzgârı yönlendirecek şekilde form almış; cephede açılım yapılmamıştır. Çift kabuklu cephe sistemi ve dışta sabit güneş denetimli tek kabuklu cephe sistemi ile ısı konfor, görsel konfor ve işitsel konfor sağlanmıştır. Ofis binasının cephe sistem bilgileri Şekil 10’da belirtilmiştir.

Pearl River Tower		
Konum Guangzhou, Çin		
Yapım Yılı 2013		
Mimar Skidmore, Owings ve Merrill (SOM)		
Kat Sayısı 71 katlı		
Cephe Sistemi	Doğu-Batı	Tek kabuklu cephe sistemi
	Güney-Kuzey	Koridor çift kabuk cephe sistemi (iç hava perdesi)
Güneş Denetimi	Doğu-Batı	Dış güneş denetim bileşenleri (sabit)
	Güney-Kuzey	Cephe boşluğunda panjur
Yenilenebilir Enerji Kaynakları Üretimi	Fotovoltaik Panel Rüzgâr Türbini	
Bina Yönetim Sistemi	Var	
Cephe Sisteminden Beklenen Nitelikler	Görsel konfor, Isıl konfor, İşitsel konfor, Enerji üretimi	
Enerji Tüketimi	%58 azalma (Yönetmeliğe uygun benzer bir yapıya göre)	

Şekil 10. Pearl River Tower Cephe Sistemi, Önden Görünüşü, Bina-Rüzgâr İlişkisi, Rüzgâr Hızı Grafiği (Kim vd., 2016), Doğu ve Batı (1) Güney ve Kuzey (2) Cephe Kesitleri (Arch20, t.y.; Frechette ve Gilchrist, 2008).

‘KfW Westarkade’ binası, 15 katlıdır ve hakim rüzgâr yönünde aerodinamik bir formda tasarlanmıştır. Cephe, manzara ve gün ışığı sağlamak için tamamen saydamdır. Tüm cephede yatayda kesintisiz uygulanan çift cephe sistemi, düşeyde kat hizasında

bölünmüştür. Ana tasarım stratejisi, rüzgârın basınç farklılıklarından yararlanarak doğal havalandırma sağlamaktır. Güneş kazanımını en aza indirmek ve parlamayı önlemek için, iki katman arasında bina yönetim sistemi kontrolünde olan otomatik panjurlar yer almaktadır. Taze hava, 70 cm genişliğindeki iki katman arasındaki boşluğa, dış katmandaki en çok 90° açılabilen ve mekanik olarak yönlendirilen renkli cam paneller vasıtasıyla alınmaktadır. Soğutma mevsiminde, fazla ısınmayı önlemek ve rüzgârın devamlılığını sağlamak için, yatayda bina cephesi boyunca rüzgâr yönünün sonunda yer alan pencereler de açılabilir. Dış katman açılımlarını kontrol eden bina yönetim sistemi, çatıda yer alan hava durumu istasyonu bilgilerine göre çalışmaktadır. Kullanıcılar, iç katmandaki pencere açılımı ile ilgili olarak, bina yönetim sistemi tarafından ofislerdeki panel sistemiyle yönlendirilmektedir. Ancak, son karar kullanıcıya bırakılmıştır. Binada, yılın yaklaşık %60'ında, doğal havalandırma sağlanabilmektedir. Cephe sistemi kullanımı ile ısıtma ve soğutma için kullanılan enerji, dış ortama kapalı ve klimalı bir Alman ofis binasına göre tahmini %84 daha azdır (Wood ve Salib, 2013). Cephe tasarım kararlarında, binada doğal havalandırma sağlamak ön planda tutulmuştur. Bina formunda hakim rüzgâr yönü dikkate alınmıştır. Cephe seçiminde, dış katmandaki açılır panellerin ve boşluktaki güneş denetim bileşenlerinin bina yönetim sistemi ile kontrol edildiği çift kabuklu cephe sistemi tercih edilmiştir. Bu doğrultuda cepheden beklenen nitelikler; doğal havalandırma, görsel konfor ve ısı konfor olmuştur. Ofis binasının cephe sistem bilgileri Şekil 11'de yer almaktadır.

KfW Westarkade			
Konum	Frankfurt, Almanya		
Yapım Yılı	2010		
Mimar	Sauerbruch Hutton		
Kat Sayısı	15 katlı		
Cephe Sistemi	Koridor çift kabuk cephe sistemi (Hava desteği)		
Güneş Denetimi	Cephe boşluğunda panjur		
Yenilenebilir Enerji Kaynakları Üretimi	Yok		
Bina Yönetim Sistemi	Var		
Cephe Sisteminden Beklenen Nitelikler	Görsel konfor, Isıl konfor, İç hava kalitesi- Doğal havalandırma		
Enerji Tüketimi	%84 azalma (Dış ortama kapalı klimalı bir Alman ofis binasına göre)		

Şekil 11. Kfw Westarkade Binasının Cephe Sistemi, Genel Görünümü, Doğal Havalandırma Tasarım Stratejisi, Cephe Sistem Detayı (Wood ve Salib, 2013)

İncelenen örneklerde, cephe sistem kararları mimari tasarım aşamasında bütüncül bir yaklaşımla ele alınmıştır. Çevre verilerine uyum sağlayan aktif cephe çözümleri, yapı içi konfor koşullarını iyileştirerek enerji tüketimini azaltmaktadır. Çift kabuklu cephe ve dinamik dış güneş denetim sistemlerinin, yenilenebilir enerji üretiminde kullanılan bileşenler ile farklı kurgularla bir araya getirildiği ofis binası cephe sistemleri çözümlerinin, enerji etkin bina tasarımıdaki etkisinin büyük olduğu görülmektedir.


7. Bulgular ve Değerlendirme

Kentin merkezinde yer alması istenen ve kentin görünümüne önemli oranda etki bırakan ofis binaları, iklim krizi ve enerji sorunu ile bina sektöründe gelişen çevreye duyarlı tasarımların kullanımında ön plana çıkmaktadır. Özellikle çok katlı ofis yapılarında daha karmaşık hale gelen konfor koşullarının standartlarının sağlanması ve mekanik sistemlere bağımlılık sorunları, cephe sistemlerinde yeni çözümler geliştirilmesine yol açmaktadır. Binanın ilk tasarım aşamasında, gereksinmelerin karşılanabilmesi için çevre verilerinin dikkate alınarak cephe sistem kararlarının verilmesi ve cephenin istenilen özellikleri karşılayabilmesi için birçok disiplinin bir arada çalışması gerekmektedir.

Bu çalışmada, ofis binalarının cephelerinde uygulanan aktif cephe çözümleri ve yenilenebilir enerji üretiminde kullanılan bileşenlerin entegre edildiği cephe sistemleri açıklanmıştır. Seçilen dört ofis binasının cephe kararları ve binaya getirdiği olumlu özellikleri, Tablo 1’de belirtilmiştir. Tüm binalarda görsel konforu sağlamak için, güneşten korunmak ve gün ışığı kullanımı ile ilgili önlemler alındığı görülmektedir. Al-Bahr Towers, Pearl River Tower ve KfW Westarkade ofis binalarında, gün ışığı kullanımını arttırmak için cephe tamamen saydam olarak tasarlanmıştır. Güneşin ısıtıcı etkisinden korunmak için Al-Bahr Towers cephesinde dinamik güneş denetim bileşenleri; Pearl River Tower ve KfW Westarkade cephelerinde ise çift kabuk cephe sistemi ve yatay güneş denetim bileşenleri kullanılmıştır. Tüm bu ofis binalarında cephe sistemini denetlemek ve yönlendirmek için bina yönetim sistemi bulunmaktadır. Hanwha Headquarters binasının mevcut bina cephesi yıkılarak, yeni bir cephe sistemi yapılmıştır. Cephe tasarımında iklimsel verilere ve güneş yönüne göre simülasyonlar kullanılarak, fotovoltaik hücreler ile güneş enerjisinden yararlanma ve güneşten korunma stratejisiyle modüler cephe sistemi kurgulanmıştır. Pearl River Tower ofis binası cephesinde uygulanan rüzgâr türbini nedeniyle, cephe formu aerodinamik tasarlanmış ve bina tamamen dış ortamdan bağımsız, mekanik olarak havalandırılmaktadır. KfW Westarkade cephe sisteminde ise rüzgârın basınç etkisinden yararlanarak binada doğal havalandırma sağlamak için, koridor çift cephe sistemi kullanılmıştır. Tüm ofis yapılarında bu kararlar doğrultusunda enerji tasarrufu sağlandığı görülmektedir.

Her cephe sistemi, binanın tasarımında istenilen gereksinimlere ve çevresel verilere göre farklı çözümlenebilmektedir. İncelenen ofis binalarında cephe sistem çözümlerindeki genel kaygının, enerji tüketimini azaltma, saydam cephe kullanımı ve ısısal konfor sağlamak olduğu görülmektedir.

Tablo 1. Ofis Binaları Örneklerinin Cephe Sistemleri ve Nitelikleri

	<p>Hanwha Headquarters Seoul, Güney Kore, 2019</p> 	<p>Al Bahr Towers Abu Dabi, BAE, 2012</p> 	<p>Pearl River Tower Guangzhou, Çin, 2013</p> 	<p>KfW Westarkade Frankfurt, Almanya, 2010</p> 
	31 katlı	25 katlı	71 katlı	15 katlı
Cephe Sistemi	Tek Kabuklu Cephe Sistemi (Sabit pencere)	Çift Kabuklu Cephe Sistemi (Dış hava perdesi) <u>İç katman:</u> sabit pencere <u>Dış katman:</u> dinamik dış güneş denetim sistemi	• Doğu-Batı Tek Kabuklu Cephe Sistemi (Sabit pencere) • Güney-Kuzey Koridor Çift Kabuk Cephe Sistemi (İç hava perdesi) <u>İç katman:</u> sabit pencere <u>Dış katman:</u> sabit pencere <u>Boşluk:</u> 240 mm	Koridor Çift Kabuk Cephe sistemi (Hava desteği) <u>İç katman:</u> açılabilir pencere <u>Dış katman:</u> açılabilir paneller <u>Boşluk:</u> 700 mm
Güneş Denetimi	Cephe Modüllerinin Opak Bileşenleri (sabit)	Dinamik Dış Güneş Denetim Sistemleri (çoklu katlanma)	• Doğu-Batı Dış güneş denetim bileşenleri (sabit) • Güney-Kuzey Cephe boşluğunda panjur	Cephe Boşluğunda Panjur
Yenilenebilir Enerji Kaynakları Üretimi	• Güney-Güney Doğu Fotovoltaik panel (eğimli düşey bileşen)	Yok	• Doğu-Batı Fotovoltaik panel (yatay güneş denetim bileşeni) • Güney-Kuzey Rüzgâr türbini (bina-entegre)	Yok
*BYS	Yok	Var	Var	Var
Cephe Sisteminden Beklenen Nitelikler	• Görsel Konfor (Gün ışığı kullanımı, Güneş denetimi) • Isıl Konfor (Güneş denetimi) • İşitsel Konfor (Sabit pencereler) • Enerji Üretimi (Güneş enerjisi)	• Görsel Konfor (Gün ışığı kullanımı, Güneş denetimi) • Isıl Konfor (Güneş denetimi) • İşitsel Konfor (Sabit pencereler)	• Görsel Konfor (Gün ışığı kullanımı, Güneş denetimi) • Isıl Konfor (Çift kabuk cephe sistemi, Güneş denetimi) • İşitsel Konfor (Çift kabuk cephe sistemi) • Enerji Üretimi (Güneş enerjisi ve Rüzgâr enerjisi)	• Görsel Konfor (Gün ışığı kullanımı, Güneş denetimi) • Isıl Konfor (Çift kabuk cephe sistemi, Güneş denetimi) • Hava Kalitesi- Doğal Havalandırma (Çift kabuk cephe sistemi)
Enerji Tüketimi	%40 azalma (Cephe sistemi yenilenmeden önceki duruma göre)	%20 azalma (Tüm bina için) %50 azalma (Ofis alanları için)	%58 azalma (Yönetmeliğe uygun benzer bir yapıya göre)	%84 azalma (Dış ortama kapalı klimalı bir Alman ofis binasına göre)

*BYS: Bina Yönetim Sistemi

8. Sonuç ve Tartışma

Bina cephesi, dış ortam koşullarına maruz kalarak iç ortamda ısı konfor, hava kalitesi, görsel konfor ve işitsel konfor koşullarının sağlanmasında büyük rol oynamaktadır. Çevreye duyarlı bina tasarım yaklaşımlarının ön plana çıkmasıyla, bina teknolojisindeki araştırma ve gelişmeler artmaya devam etmektedir. Binanın tasarım aşamasında, yaşam boyu performansı iklim verileriyle yapılan simülasyonlar sonucunda öngörülebilme ve cephe kararları bu doğrultuda yönlendirilebilmektedir. Bina işletmesinde ise akıllı bina yönetim sistemleri, cephelerdeki aktif özelliklerin yönlendirilmesini sağlamakta; binanın enerji performansını iyileştirmektedir.

Bina cephelerinde, değişen dış ortam koşullarına göre dönüştürülebilir aktif cephe sistemleri, iç ortam konfor koşullarını koruyarak enerji tüketimini azaltabilmektedir. Özellikle ofis binalarının Dünya genelindeki örneklerine bakıldığında cephe, iç ve dış ortam arasında denge görevi üstlenmektedir. Yenilenebilir enerji üretimini sağlayan teknolojilerin de cepheye entegre hale gelmesiyle, binanın formunu da etkileyen bütüncül tasarımlar ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada, enerji etkin ofis binalarının aktif cephe sistemleri ve yenilenebilir enerji üretiminin cepheyle entegre edilmesi örneklerle anlatılmıştır. Farklı cephe sistemlerinin bir arada kullanıldığı dört binada da enerji tüketimi önemli oranda azalmıştır. Her bina kendi iklim verileri doğrultusunda, enerji etkin tasarım stratejileriyle çözümlenmiş ve cephe tasarımında kentsel bağlamda bütünleşme ile ilgili herhangi bir tasarım kaygısı olmadığı görülmüştür.

Çevreye duyarlı aktif cephe çözümleri, binaya ve çevreye kattığı olumlu özelliklerine rağmen araştırma ve yapım maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle, refah seviyesi yüksek ülkelerde daha fazla uygulama alanı bulabilmektedir. Küresel ölçekteki referans binaları tasarlayan mimari ofisler, farklı disiplinlerden oluşan mühendislerin yer aldığı AR-GE çalışmalarıyla cephe prototipleri geliştirerek istenilen performansa yönelik çözümler üretebilmektedir. Bu bağlamda Türkiye’de aktif cephe sistemlerinin uygulanabilirliğini arttırabilmek için, üniversitelerin ilgili bölümleri, bu alanla ilgili özel sektör kuruluşları, Araştırma Enstitüleri ve TÜBİTAK gibi devlete bağlı kurumların sorumluluğunda araştırma laboratuvarları oluşturulmalıdır. Kolektif çalışma kültürü ve kurumsal iş birliği içerisinde, enerji etkin ve aktif cephe çözümlerinde gelişmelerin daha sağlıklı bir şekilde ilerlemesi sağlanabilecektir.

Yazarın Katkı Oranı

Sıra	Adı soyadı	ORCID	Yazıya katkısı*
1	Hatice Fulya CEBECİOĞLU AVCI	0000-0002-8208-4572	1, 2, 3, 4, 5
2	Zafer AKDEMİR	0000-0003-3464-3568	3, 5

*Katkı bölümüne ilgili açıklamanın karşılığına gelen rakamlar yazılmıştır.

1. Çalışmanın tasarlanması
2. Verilerin toplanması
3. Verilerin analizi ve yorumu
4. Yazının yazılması
5. Kritik revizyon

Yazar Notu

Bu çalışma; Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Doktora Programı'nda, Hatice Fulya CEBECİOĞLU AVCI tarafından, Prof. Dr. Zafer AKDEMİR danışmanlığındaki doktora tezinden üretilmiştir.

Çatışma Beyanı

Çalışma kapsamında herhangi bir kişisel ve/veya finansal çıkar çatışması yoktur.

Kaynaklar

AHR. (t.y.). *Al Bahr Towers*. 6 Ekim 2023 tarihinde <https://www.ahr.co.uk/projects/al-bahr-towers> adresinden alındı.

Arch20. (t.y.). *Pearl River Tower – SOM10*. 6 Ekim 2023 tarihinde https://www.arch20.com/pearl-river-tower-som/#google_vignette adresinden alındı.

Ariatta. (t.y.). *Gioia 22 – Porta Nuova*. 6 Ekim 2023 tarihinde <https://www.ariatta.it/30/case-studies/152/gioia-22-porta-nuova.html> adresinden alındı.

Arup. (t.y.). *Al Bahr Towers*. 15 Kasım 2023 tarihinde <https://www.arup.com/projects/al-bahr-towers> adresinden alındı.

AS+GG. (t.y.). *FKI Tower*. 8 Ekim 2023 tarihinde <https://smithgill.com/work/fki/> adresinden alındı.

AV. (t.y.). *Media-TIC Building*. 15 Kasım 2023 tarihinde <https://arquitecturaviva.com/works/media-tic-building> adresinden alındı.

Bowman Riley. (t.y.). *Hml Head Office – Skipton*. 6 Ekim 2023 tarihinde <https://www.bowmanriley.com/projects/hml-head-office/> adresinden alındı.

Cebecioğlu, H. F. (2004). *Çift katmanlı giydirme cephelerin sınıflandırılması ve değerlendirilmesi* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Tez Veritabanı, Tez No. 151644.

Compagno, A. (2002). *Intelligent Glass Façades*. Berlin: Birkhauser.

CTBUH. (t.y.). *Bahrain World Center 1*. Erişim tarihi: 25 Aralık 2023, <https://www.skyscrapercenter.com/building/bahrain-world-trade-center-1/998>

- Çakmanus, İ. (2004). Enerji verimli bina tasarım yaklaşımı. *Tesisat Mühendisliği Dergisi* (84), 20-27.
- Çelebi, G. (2002). Bina düşey kabuğunda fotovoltaik panellerin kullanım ilkeleri. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17(3), 17-33.
- Dikmen, Ç. (2011). Enerji etkin yapı tasarım ölçütlerinin örneklenmesi. *Politeknik Dergisi*, 14(2), 121-134.
- Engin, N. (2012). Enerji etkin tasarımda pasif iklimlendirme: Doğal havalandırma. *Tesisat Mühendisliği* (129), 62-70.
- Frechette, R. E., & Gilchrist, R. (2008). *Case Study: Pearl River Tower*. CTBUH 2008 8th World Congress. Dubai: 1-11.
- Gensler. (t.y.). *Hess Tower*. 25 Aralık 2023 tarihinde <https://www.gensler.com/projects/hess-tower> adresinden alındı.
- Giselbrecht. (t.y.). *Showroom Kiefer technic*. 15 Kasım 2023 tarihinde https://giselbrecht.at/projekte/gewerbe_industriebauten/kiefer/index.html# adresinden alındı.
- Gonçalves, H., Aelenei, L., & Rodrigues, C. (2012, Mart). SOLAR XXI: A Portuguese office building towards net zero-energy building. *REHVA Journal*, 19(3), 34-40.
- İlgin, H. E., ve Günel, M. H. (2021, Aralık). Rüzgâr enerjisinin yüksek binalara mimari entegrasyon stratejilerinin tipolojik sınıflandırması için bir öneri. *Yapı* (472), 52-56.
- Imarabe. (t.y.). *Architecture*. 25 Aralık 2023 tarihinde <https://www.imarabe.org/en/architecture> adresinden alındı.
- Karanouh, A., & Kerber, E. (2015). Innovations in dynamic architecture. *Journal of Facade Design and Engineering*, 3(2), 185-221. doi:10.3233/FDE-150040
- Kim, H.-G., Jeon, W.-H., & Kim, D.-H. (2016). Wind resource assessment for high-rise BIWT using RS-NWP-CFD. *Remote Sensing*, 8(12), 1019. <https://doi.org/10.3390/rs8121019>
- Lee, E., Selkowitz, S., Bazjanac, V., Inkarojrit, V., & Kohler, C. (2002). *High-performance commercial building facades*. Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Loncour, X., Deneyer, A., Blasco, M., Flamant, G., & Wouters, P. (2005). *Ventilation double skin façades*. Brussels: Belgian Building Research Institute (BBRI).
- Loonen, R. C., Rico-Martinez, J. M., Favoino, F., Marcin, B., Menezo, M., La Ferla, G., & Aelenei, L. (2015). *Design for façade adaptability – Towards a unified and systematic characterization*. In Proceedings of the 10th Energy Forum - Advanced Building Skins, (1274-1284). Bern, İsviçre. https://www.researchgate.net/publication/279955723_Design_for_facade_adaptability_-_Towards_a_unified_and_systematic_characterization

- Manioğlu, G. (1995). *İklimsel konfor ve enerji ekonomisi açısından ısıtma sisteminin işletme şekline bağlı olarak bina kabuğunun ısı performansının değerlendirilmesi*. Bina Yapımında Güncel Yaklaşımlar Sempozyumu, İstanbul, (235-249).
- Moghtadernejad, S., Mirza, S. M., & Chouinard, L. E. (2019). Façade design stages: issues and considerations. *ACS Journal of Achitectural Engineering*, 25(1), 04018033-1-10. doi:10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000335
- Poizaris, H. (2004). *Double skin façades for office buildings*. Lund: Lund Institute of Technology Department of Construction and Architecture.
- Saelens, D. (2002). *Energy performance assessments of single storey multiple-skin façades*. Leuven: Katholieke Universiteit Leuven.
- Samyn and Partners. (t.y.). *Head office of AGC Glass Europe*. Erişim tarihi: 15 Kasım 2023, <https://samynandpartners.com/portfolio/head-office-of-agc-glass-europe-5/>
- Sauerbruchhutton. (t.y.). *Cologne Oval Offices*. Erişim tarihi: 15 Kasım 2023, <https://www.sauerbruchhutton.de/en/project/coo>
- Sayın, S., ve Koç, İ. (2011). Güneş enerjisinden aktif olarak yararlanmada kullanılan fotovoltaiik (PV) sistemler ve yapılarda kullanım biçimleri. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(3), 89-106.
- Seangodsell. (t.y.). *RMIT Design Hub*. 15 Kasım 2023 tarihinde <https://www.seangodsell.com/rmit-design-hub> adresinden alındı.
- Solarchitecture. (t.y.). *Hanwha Headquarters*. 10 Ekim 2023 tarihinde <https://solarchitecture.ch/hanwha-headquarters/> adresinden alındı.
- Space Modulator. (1999). *RWE Tower - a New Phase of Ecological and High-tech*. No.86. 25 Aralık 2023 tarihinde http://space-modulator.jp/sm81~90/sm86_contents/sm86_e_2skin_txt.html adresinden alındı.
- Tomlinson, R., Baker, W., Leung, L., Chien, S., & Zhu, Y. (2014). Case Study: Pearl River Tower, Guangzhou. *CTBUH Journal*, (II), 11-17.
- Unstudio. (t.y.a). *Hanwha Headquarters Remodelling*. 6 Ekim 2023 tarihinde <https://www.unstudio.com/en/page/11994/hanwha-headquarters-remodelling> adresinden alındı.
- Unstudio. (t.y.b). *Study: Hanwha Headquarters Responsive Facade, Part 1*. 6 Ekim 2023 tarihinde <https://www.unstudio.com/en/page/5879/study-hanwha-headquarters-responsive-facade-part-1> adresinden alındı.
- Wigginton, M., & Harris, J. (2002). *Intelligent skins*. Oxford: Architectural Press.
- Wikiarquitectura. (t.y.). *Al Bahar Towers*. Erişim tarihi: 10 Ekim 2023, <https://en.wikiarquitectura.com/building/al-bahar-towers/>
- Wood, A., & Salib, R. (2013). *Natural Ventilation in High-Rise Office Buildings*. Oxon: Routledge.