

## **Akıllı Cephelerin Sürdürülebilirliğe Etkisi: Türkiye ve Dünyadaki Örnekleri**

### **The Effect of Smart Facades on Sustainability: Examples in Turkey and The World**

Mehmet ESGİL, Ruşen YAMAÇLI  
Mimarlık Fakültesi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye

Geliş Tarihi : 11.12.2022

Kabul Tarihi : 02.01.2023

Doi: 10.51764/smutgd.1217457

#### **ÖZET**

Binalar çok miktarda enerji tüketir ve çevreyi çeşitli şekillerde kirletirler. Günümüzde, çevre kirliliğinin ve enerji tüketiminin azaltılarak gelecek nesillere daha yaşanılabilir bir dünya bırakma arzusu sürdürülebilir mimarlığın önemini arttırmıştır. Sürdürülebilir mimarlık, yapılarda çeşitli şekillerde uygulanmaya çalışılmaktadır. Bu uygulamalardan bir tanesi de "akıllı cepheler"dir. Bu çalışmada "binanın iç sistemlerinden bağımsız, sadece akıllı cepheler ile sürdürülebilirlik ne ölçüde sağlanabilir?" sorusuna cevap bulmak amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda; cephelerin "akıllı" olarak sayılabilmesi için ne gibi özelliklere sahip olması gerektiği ve bu özelliklerin sürdürülebilirliğe katkısı incelenmiştir. Daha sonra dünyadaki akıllı cephe örnekleri incelenerek, sürdürülebilirlik ilkelerine göre analiz edilmiştir. Ardından Türkiye'deki yaygın akıllı cephe sistemleri incelenerek, dünyadaki durum ile karşılaştırmalı değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda sadece akıllı cephelerinde sürdürülebilirliği önemli ölçüde sağlayabileceği tespit edilmiştir. Dünyadaki durum göz önünde bulundurulduğunda Türkiye'deki akıllı cephe sistemlerinin enerji üretimi konusunda geliştirilmesi gerektiği ve dünyada da akıllı cephe sistemlerinin kullanımının yaygınlaştırılması önerilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sürdürülebilirlik, Akıllı Cepheler, CO2 Emisyonu, Enerji Verimliliği, Güneş Işığı

#### **ABSTRACT**

Buildings consume a lot of energy and pollute the environment in various ways. Today, the desire to leave a more livable world to future generations by reducing environmental pollution and energy consumption has increased the importance of sustainable architecture. Sustainable architecture is tried to be applied in buildings in various ways. One of these applications is "smart facades". In this study, it is aimed to find an answer to the question "To what extent sustainability can be achieved with only smart facades, independent of the internal systems of the building?". In accordance with this purpose; What kind of features the facades should have in order to be counted as "intelligent" and the contribution of these features to sustainability were examined. Then, examples of smart facades in the world were examined and analyzed according to sustainability principles. Then, common smart facade systems in Turkey were examined and a comparative evaluation was made with the situation in the world. As a result of the study, it has been determined that it can provide sustainability to a significant extent only on its smart facades. Looking at the situation in the world; it has been suggested that smart facade systems in Turkey should be developed in terms of "energy production" and that the use of smart facade systems should be widespread in the world.

**Keywords:** Sustainability, Smart Facades, CO2 Emission, Energy Efficiency, Sunlight

## 1.GİRİŞ

İnşaat sektörü, tüm ülke ekonomilerinde en fazla enerjinin harcandığı sektörlerden birisidir. Bina bölümü de inşaat sektörünün en çok enerji gerektiren bölümü olarak kabul edilmektedir. Mevcut literatüre göre, bina bölümü harcanan toplam enerjinin %40'undan fazlasını, doğal kaynakların %30'unu, üretilen elektriğin %70'ini kullanır ve gelişmiş ülkelerdeki toplam sera gazının %30'undan fazlasının yayılmasına sebep olmaktadır. Binalar bu kadar çok enerji tüketirken, çevreyi de çeşitli şekillerde kirletir (Balali & Valipour, 2020). Cephe, hem enerji tüketimini azaltmada hem de olumsuz çevresel etkileri hafifletmekte bina mimarisinin önemli bir parçasıdır. Günümüzde sürdürülebilir mimarlığı sağlamak adına birçok farklı özelliklere sahip cepheler tasarlanmıştır. Bunların bazıları "akıllı cephe" olarak adlandırılmaktadır. Genel olarak akıllı cephe; "çevresel etkilere, çeşitli fonksiyonları veya özellikleri ile yanıt vererek, yararlılık gösteren cepheler" olarak tanımlanmaktadır.

Bu çalışmada akıllı cephelerin sürdürülebilirliğe etkisi araştırılarak, günümüz teknolojisinde, akıllı cepheler ile sürdürülebilirliğin ne ölçüde sağlanabileceği incelenecektir. Bu doğrultuda; cephenin çeşitli etmenlerle ilişkisi irdelenerek, akıllı cephe sistemlerinin sürdürülebilir özelliklerine göre sınıflandırılması yapılacaktır. Bu sınıflandırmalarda çeşitli sistem ve akıllı cephelere sahip yapılar incelenecek, daha sonra bu yapıların sürdürülebilirliğe katkıları değerlendirilecektir.

## 2.CEPHELERİN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK İLE İLİŞKİSİ

Sürdürülebilirlik, sürekli olmak, gelişmek ve yenilenebilir enerjiye uyum sağlamak demektir. Günümüzdeki çeşitli çevresel sorunlar mimaride sürdürülebilirlik kavramını önemli hale getirmektedir. Mimarlık, insan yaşamı ve gelişimi için daha iyi bir yaşam alanı oluşturmanın yanı sıra gezegenin doğasını ve kaynaklarını, küresel sürdürülebilir bir bakış açısıyla ele almakla ilgilidir (Li, 2011). Mimarlık özelinde sürdürülebilirlik; "çevreye verdiği zarar ve enerji tüketimi en az olan yapılar üretme", şeklinde tanımlanmaktadır (URL-1). Bu bağlamda; güneş ışığına doğrudan temas eden, dış mekan ile iç mekan arasında bariyer görevi gören, kısacası binanın çevreye bakan yüzü olan cepheler, yapılarda sürdürülebilirliği sağlamak adına önemli bir rol üstlenmektedir. Cephelerin sürdürülebilirlikte üstlendiği rolü anlayabilmek için cephenin belirli faktörlerle ilişkisinin irdelenmesi gerekmektedir. Bunlardan en önemlileri sıcaklık ve enerjidir:

1. Cephe - Sıcaklık ilişkisi; insanların konfor sıcaklığı 22°C ila 27°C arasındadır. Doğal şartlarda bu sıcaklığın sağlanması dünyanın çeşitli yerlerinde yılın belli bölümünde mümkündür. İnsanlar konfor sıcaklığının üstüne veya altına düştüğünde, uygun sıcaklığı yeniden sağlanması için soğutma veya ısıtma cihazları kullanır ve bu cihazlar enerji tüketimine sebep olmaktadır (Jalloul, 2020). Binayı sıcaklıklardan ve diğer faktörlerden korumak için cephede çeşitli sistemler kullanılmalıdır. Bu sayede cepheler binayı doğrudan güneş ışığı, rüzgar v.s. zararlı etkilerinden koruyarak, aşırı ısınma ve soğumayı engelleyebilmektedir. Ancak bu etkilerin bir veya birkaçı özelinde geliştirilen cepheler aksi bir iklim değişikliğinde işlevselliğinin kaybolmasının yanında ters etkiye oluşturabilmektedir. Bu nedenle cephe-sıcaklık ilişkisinde yapının cephesinin maruz kalacağı bütün iklim şartlarının göz önünde bulundurulması gerekmektedir (Tablo-1).
2. Cephe – Enerji ilişkisi; cephenin hava ve iklimdeki değişime uyum sağlaması ile birlikte enerji tüketiminde tasarrufu sağlayacak ve enerjiden yararlanılabilecek birçok özelliği de içerecek şekilde geliştirilmesi gerekmektedir. Cepheler, "Cephe-Sıcaklık" ilişkisi kısmında da değinildiği üzere iç sıcaklık çeşitli sistemler ile stabilize tutularak binanın enerji tüketimini azaltma konusunda yardımcı olabilmektedir (Jalloul, 2020). Ayrıca dış etmenlerde bina için enerji üretilmesine yardımcı olabilmektedir. Bu bağlamda cephede güneş ışığı ve rüzgar enerjisini, elektrik enerjisine dönüştürecek sistemler kullanılmalıdır (Tablo-1).

Yapılarda enerji ve sıcaklık faktörü göz önünde bulundurularak; iklimin olumsuz etkilerini avantaja çevirip enerji verimliliğini sağlamak ve karbon salınımını azaltarak çevre kirliliğini önlemek adına cephede çeşitli sistemler ve malzemeler kullanılmaktadır. Ancak akıllı sistem ve malzemelerin kullanıldığı cephelerde; sürdürülebilirliği tasarım ile birleştirme süreci uygulama aşamasında maliyetli olduğu için çok fazla tercih edilmemektedir. Fakat uzun vadeli düşünüldüğünde sürdürülebilirliğin uygulanmasıyla enerji tüketiminde büyük bir düşüş sağlanacak ve bu durum rutin olarak diğer giderleri azaltacaktır. Bu da sürdürülebilir bir binanın toplam maliyetini, sürdürülebilir olmayan bir binadan daha düşük hale getirmesinin yanında gelecek nesillere daha yaşanılabilir bir çevre bırakmaya katkı sağlayacaktır.

	KRİTERLER	ÇÖZÜMLER
<b>CEPHE-SICAKLIK İLİŞKİSİ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- İç mekan sıcaklığı, kullanıcı konforunu sağlamak için 22°C–27°C arasında tutulmalıdır.</li> <li>- İç mekan sıcaklığı dengede tutularak doğal aydınlatma sağlanmalıdır.</li> <li>- Farklı iklim koşullarına dayanıklı çözümler üretilmelidir.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cephede, iç mekanı güneşin zararlı etkilerinden koruyacak, her türlü iklim koşuluna karşı dayanıklı gölgeleme ve yalıtım elemanlarının kullanılması</li> </ul>
<b>CEPHE-ENERJİ İLİŞKİSİ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- İç mekan ısı dengede tutularak, ısıtma-soğutma sistemleri için harcanacak enerjiden tasarruf edilmelidir.</li> <li>- Güneş ışığı, rüzgar enerjisi gibi kaynaklardan enerji üretimi sağlanmalıdır.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Güneş ışığı, rüzgar enerjisi gibi kaynaklardan enerji üretimi sağlanmalıdır.</li> <li>- Cephede güneş ışığı, rüzgar enerjisinden enerji üretebilecek sistemlerin kurulması</li> </ul>

**Tablo-1.** Cephenin Kavramlarla İlişisindeki Kriterler ve Sürdürülebilir Çözümler

### 3.AKILLI CEPHELER

Akıllı cepheler genel olarak; "minimum enerji tüketimi ile optimum bir iç konfor sağlayan, dış ortam ile binanın içi arasında aktif ve duyarlı bir arabulucu" olarak tanımlanmaktadır (Böke, Knaack & Hummerling, 2019). Cephelerin çevresel sürdürülebilir etkisini de inceleyeceğimiz bu çalışmada, "Akıllı Cephe" tanımı ile "Çevresel koşullara cevap veren ve binaları daha etkin hale getiren yapı cepheleri"nden bahsedilmektedir. Bu tür cepheler kendi kendini ayarlayarak dış koşullara uyum sağlar, bu sayede enerji ihtiyacını minimum seviyede tutarken, kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılayarak konfor koşullarını sağlar. (Altın & Orhon, 2014). Çevresel uyaranlara yanıt verebilmesi için cephelerin belli özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bunlar:

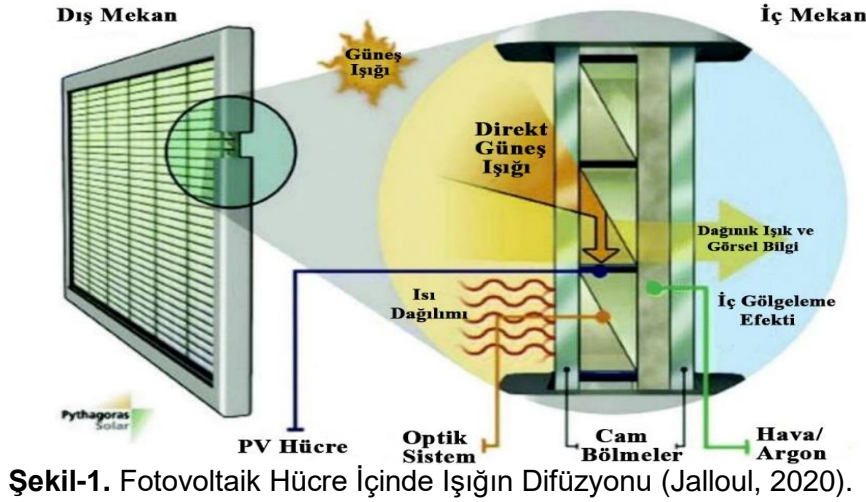
- "Akıllı" bir sisteme sahip olması,
- "Akıllı" malzemelerle üretilmiş olmasıdır (Altın & Orhon, 2014).

Bu iki kriter göz önünde bulundurulduğunda, cephelerin "akıllı" olarak nitelendirilmesi ve sürdürülebilirlik ile ilişkisi cephede kullanılan akıllı malzeme ve akıllı sistemler olarak iki başlık altında incelenecektir.

#### 3.1. Cephelerde Akıllı Sistemlerin Kullanılması

Cephelerde kullanılan akıllı sistemler; "değişen dış ortam koşullarına cevap vererek mekân içerisinde kullanıcı konforu için gerekli ışık, ısı, ses ve hava kalitesini en üst seviyede sağlarken enerji tüketimini minimum seviyede tutabilen sistemlerdir." (Okumuş, 2020). Akıllı sistemlere örnek olarak iç mekanı güneş ışığının zararlı etkilerinden korumasının yanında, güneş ışığından enerji üretimi de sağlayan "fotovoltaik paneller" gösterilebilir.

Bu sistemde, gölgeleme cihazlarının cepheye yerleştirilmesi, güneşin doğrudan iç mekana girmesini engeller. Camın iç kısmına yerleştirilen fotovoltaik hücreler kırılmış güneş ışığının ısısını emer ve mekana sadece ışığın yayılmasını sağlar. Soğuk mevsimlerde ise; pasif koruma olarak, camın içine yerleştirilen izolasyon malzemesi iç mekandaki ısı kaybını önlemek için bir bariyer görevi görür ve çift veya üç camlı cepheler sıcaklıkları izole eder. Aktif bir koruma sistemi olarak ise; gerektiğinde camlı panellerin camları arasındaki mesafe iklimdeki farklılığa göre değiştirilebilir özelliğine sahiptir. Mesela, soğuk havalarda camların arasında bulunan gazın yoğunlaştırılarak daha sıcak hale getirilip, dışarıdan gelen soğuk havanın önlenmesi için camlar birbirine yaklaştırılır. Sıcak havalarda da bu durumun tam tersi uygulanır. Ayrıca panellerin verimliliğini arttırmak ve iç mekandaki sıcaklığı daha da azaltmak için camlar arasındaki boşluklara su püskürtülmektedir (Jalloul, 2020). Bu sistem, herhangi bir sıcaklık değişimine karşı bariyer görevi üstlenmektedir, böylelikle sıcak ve soğuk havalarda binanın iç sıcaklığındaki aşırı değişimler önlenmektedir. Isıtma ve soğutma cihazlarının öncekine göre çok daha az bir yardımı ile konforlu bir sıcaklık elde etmek mümkün kılınmaktadır.



Şekil-1. Fotovoltaik Hücre İçinde Işığın Difüzyonu (Jalloul, 2020).

Fotovoltaik paneller, gün batımından sonra veya güneş ışığının etkisinin az olduğu yerlerde enerji üretimi konusunda yeterli verimi sağlayamamaktadır. Bu koşullarda da rüzgardan üretilecek enerji ön plana çıkmaktadır. Rüzgardan enerji üretimi konusunda, katlanabilir rüzgar türbinlerini ele alacak olursak, bu sistem şekil-2'de görülen türbinlerin cepheye yerleştirilerek rüzgardan enerji üretme esasına dayanır. Türbinler katlanabilirlik özelliği sayesinde aşırı hava koşullarından korunmak ve gereksiz zamanlarda görüntüsünü gizlemek amacıyla cepheye gizlenebilmektedir (Jalloul,2020). İhtiyaç duyulduğunda da tekrar açılıp rüzgar tribünü haline gelerek, rüzgardan enerji üretimi sağlamaktadır.



Şekil-2. Katlanabilir Rüzgar Türbini (Jalloul, 2020).

Örneklerde de görüldüğü üzere değişen iklim koşullarına göre, farklı cephe sistemleriyle kullanıcı konforunun sağlanmasının yanında, enerji verimliliğinin sürekliliğini sağlamakta mümkündür. Bu sayede farklı yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla enerji elde edilebilmektedir. Bu da enerji verimliliğinin büyük ölçüde sağlanıp, binalardaki karbon salınımını azaltarak sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır.

### 3.2. Cephelerde Akıllı Malzemelerin Kullanılması

Akıllı malzemeler çevresel uyarılara yapısındaki çeşitli değişimlerle cevap veren malzemelerdir. Çevresel uyarılar durduğunda eski haline dönen bu malzemeler, aynı işlemi birçok kez gerçekleştirebilmektedir. Akıllı malzemeler; hava kirliliğinin önlenmesi, iç mekan konforunun ve enerji verimliliğinin sağlanması gibi pek çok yönden sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır. Ayrıca sürdürülebilirliğin malzeme ölçeğinde sağlanması tasarım aşamasına da esneklik katmaktadır. Akıllı malzemeler özelliklerine göre 3'e ayrılmaktadır.

#### 3.2.1.Özellik Değiştiren Akıllı Malzemeler

Malzemeler, çevresinden gelen dış uyarılardaki bir değişikliğe doğrudan yanıt vermek amacıyla, bir veya daha fazla özelliğinde (kimyasal, elektriksel, manyetik, mekanik veya termal) değişikliklere uğramaktadır. Bir malzemeye enerji girişi, malzemenin mikro yapısını değiştirerek malzemenin iç enerjisini etkilemekte ve bunun sonucunda malzemenin özelliğinin değişmesine sebep olmaktadır (Mohamed, 2017). Özellik değiştiren akıllı malzemeler, çevresel uyarılara; renk ve optik özelliklerinde veya adezyon özelliğinde yaptığı değişimlerle yanıt verebilmektedir (Kayılı, 2020).

Renk ve optik özelliklerini değiştirebilen akıllı malzemeler; sıcaklık, basınç, ışık, elektrik veya manyetik alan ve/veya kimyasal etkiler gibi bir veya daha fazla uyarana bağlı olarak rengini ve/veya optik özelliklerini değiştiren malzeme ve ürünleri içerir (Ritter, 2007). Genellikle akıllı cam yapımında kullanılmaktadır (Kayılı, 2020). Bu malzemeler camlarda kullanıldığında güneşin zararlı etkilerinden iç mekanı koruyarak, görsel konforu sağlamanın yanında ısıtma-soğutma ve aydınlatma ihtiyacını düşürerek enerji gereksinimini azaltmaktadır.

Adezyon değiştiren akıllı malzemeler; yüzeye yapışma özelliğinde değişimler gösterebilen malzemelerdir. Bu malzemeler ışık ve sıcaklık gibi çevresel uyaranlar ile adezyon özelliğinde değişimler yapabilmektedir. Bu malzemelerin en yaygın olarak kullanılanı;  $TiO_2$ 'dir.  $TiO_2$  boya ya da ince film tabakası şeklinde de yüzeye uygulanabilecek olup, UV ışığı altında yüzeyine tutunan kirleticileri, su ve karbondioksit parçalayabilmektedir (Kayılı, 2020). Bu özelliği sayesinde hem kendi kendini temizleyerek cephenin yüzeyini temiz tutmakta hem de hava kirliliğini önlemektedir.

### **3.2.2. Enerji Alışverişinde Bulunan Akıllı Malzemeler**

Enerji alışverişinde bulunan akıllı malzemeler; çevresel uyaranlara yapısındaki enerji değişimi ile yanıt veren malzemelerdir. Bu malzemeler, sürdürülebilirlik kapsamında, enerji değişimi yapan ve elektrik üreten malzemeler olarak sınıflandırılabilir (Kayılı, 2020).

Elektrik üreten akıllı malzemeler; çevresel uyaranlar ile elektrik üretebilen malzemelerdir. Bu malzemelerden akıllı cephelerde yaygın olarak kullanılan çeşidi fotoelektrik malzemedir. Fotoelektrik malzeme şeffaf olması dolayısıyla cephelerde ve pencerelerde kullanılabilir (Kayılı, 2020). Bu malzemeler ile yüzeye gelen ışık enerjisi, elektrik enerjisine dönüştürülerek enerji verimliliği artırılmaktadır.

Enerji değişimi yapan akıllı malzemeler; çevresel uyaranlara karşı enerji değişimi sağlayan malzemelerdir. Yaygın olarak kullanılan faz değiştiren malzemelerdir. Bu tür malzemeler, faz değişimleri sırasında ortaya çıkan gizli ısının enerji depolama uygulamalarında kullanıldığı malzemelerdir (Kayılı, 2020). Belirli sıcaklıklarda maddelerde; katıdan sıvıya, sıvıdan gaz veya tam tersi bir faz değişimi meydana gelmektedir. Bu durumlarda, enerjinin emildiği veya salındığı yer, malzemenin bileşimine bağlı olarak tahmin edilebilmektedir. Faz değiştiren malzemeler kasıtlı olarak bu soğurma/ salma eylemlerinden yararlanmaya çalışmaktadır. Bu malzemeler, belli sıcaklıklara ulaşıldığında enerjiyi emme veya salma özelliği gösterebildiğinden, bir binadaki termal ortamla başa çıkmak amacıyla mimaride kullanılmaktadır (Addington & Schodek, 2005). Böylece, iç mekan konforunu sağlamanın yanında ısıtma ve soğutma için harcanacak enerjiden tasarruf edilmesini de sağlamaktadır.

### **3.2.3. Madde Alışverişinde Bulunan Akıllı Malzemeler**

Akıllı malzemelerin madde alışverişinde bulunması ve maddeyi depolaması, farklı fiziksel ve/veya kimyasal işlemler gerektirmektedir. Madde alışverişinde bulunan akıllı malzemeler; bünyesine kattığı maddeyi tersinir özellikte katı, sıvı veya gaz bileşenleri şeklinde depolamakta veya serbest bırakabilmektedir (Ritter, 2007). Bu malzemeler iç mekan konforunu artırmasının yanında, atmosferik suyun depolanmasına da imkan sağlamaktadır.

## **4. AKILLI CEPHE ÖRNEKLERİNİN İNCELENMESİ**

### **4.1. Dünyadaki Akıllı Cephe Örnekleri**

Dünyada farklı özelliklere sahip pek çok akıllı cephe örneği bulunmaktadır. Bu çalışma da üç akıllı cephe çeşiti olan; "ısı kaybını ve kazancını dengeleyen", "enerji üreten", "kendini ve havayı temizleyen" akıllı cepheler, dünyadaki örnekleri üzerinden incelenecek, sürdürülebilirliğe katkıları ile ilgili bir değerlendirme yapılacaktır, değerlendirme sonucunda elde edilen veriler, sürdürülebilirlik ilkesine göre tablolandırılacaktır (Tablo-2).

#### **4.1.1. Isı Kaybını ve Kazancını Dengeleyen Akıllı Cephe : Al Bahar Kuleleri**

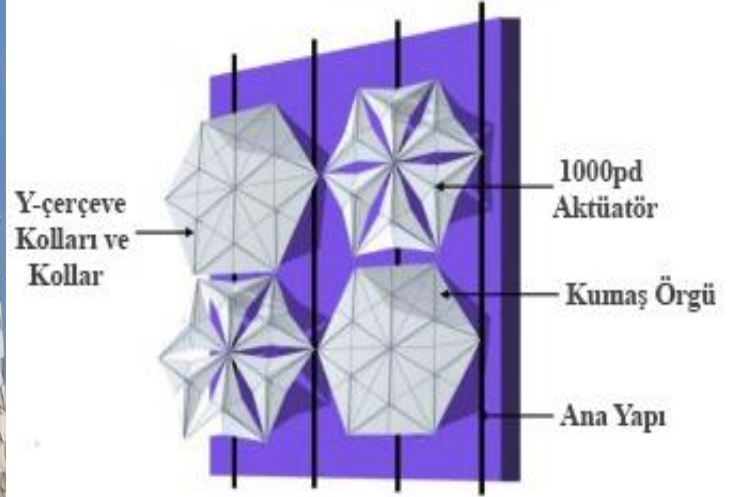
Abu Dabi'deki Al Bahar Kuleleri, 2012 CTBUH Ödülleri kapsamında, CTBUH Yenilik Ödülü'nün sahibi olmuş, ayrıca Orta Doğu ve Afrika'nın En İyi Yüksek Binası Finalisti olmuştur. Tasarımında öne plana çıkan özellikleri; yönlenme ve manzara, ısıyı emilen doğal dağınık güneş ışığının iç mekana alınması, güneşin zararlı etkilerinden korunma, kullanıcı konforu, inşa edilebilirlik, yüksek enerji verimliliği ve kültürel kimliğin tasarıma yansması olarak sayılabilir (Altın & Orhon, 2014). Al Bahar Kuleleri'nde gölgeleme için cephesine yerleştirilen hareketli elemanlar ve enerji üretimi için çatısına yerleştirilen paneller olmak üzere iki akıllı cephe sistemi bulunmaktadır.

Gölgeleme; bina bulunduğu konumda hakim olan çöl iklimi nedeniyle çok fazla güneş ışığına ve termal sıcaklığa maruz kalmaktadır. Bu soruna çözüm olarak, panellerin deforme olmaması ve görsel olarak tatmin edici olması gibi kriterler göz önünde bulundurularak, giydirmeye cepheye sabitlenebilen "Mashrabia" adında bir strüktür tasarlanmıştır. "Mashrabia" güneşin hareketlerine göre açılıp kapanabilme özellikleriyle iç mekanı güneşin istenmeyen etkilerinden koruyarak, gölgeleme oranını %80'e çıkartabilmektedir (Altın & Orhon, 2014). Bu cephe sistemi binanın tüm yüzeyine uygulanmayıp, bazı cepheler açık bırakılarak ve gölgeleme sistemindeki elemanın açılıp kapanabilir özelliği (Şekil-4) sayesinde yüksek oranda yapay aydınlatma gerektirmemektedir.

Enerji üretimi; binanın çatısına daima güneşe bakacak şekilde fotovoltaik hücreler yerleştirilmiştir. Çatıya yerleştirilen bu sistem ile binanın toplam elektrik ihtiyacının %5'i karşılanır (Jalloul, 2020). Gölgeleme için kurulan açılıp, kapanır sistem burada üretilen elektrik enerjisi ile çalışmaktadır. Gölgeleme ve enerji üretimi için kurulan bu iki sistem ile iç mekan konforunun sağlanmasının yanında, enerji tüketimi azaltılmakta ve enerji üretimi sağlanmaktadır.



**Şekil-3.** Cephedeki Gölgeleme Elemanları (URL-2).



**Şekil-4.** Mashrabia'nın Ayrıntılı Modeli (Habibi, Valladares & Pena, 2022).

#### **- Cephe Sisteminin Sürdürülebilirliğinin Değerlendirilmesi**

Sistemin avantajları, parlamanın azaltılması, yeterli güneş ışığı alımı ile doğal aydınlatma sağlanarak, yapay aydınlatmaya duyulan ihtiyacın azaltılması, güneş ışınımının %50 azaltılması olarak sayılabilir ki böylelikle CO2 emisyonunda yılda 1750 ton azaltma sağlanmaktadır (Altın & Orhon, 2014). Bu sayede bina cephesindeki akıllı sistemler sayesinde karbon ayakzini azaltarak, sürdürülebilir bir bina olduğunu göstermektedir.

#### **4.1.2. Enerji Üreten Akıllı Cephe : BIQ – Biyoreaktör Cephe Bina**

Enerji üreten cepheler günümüze kadar güneş kolektörleri, fotovoltaik paneller, trombe duvarları gibi sistemler ve teknolojilerden yararlanılarak oluşturulsa da, günümüzde enerji üretimi için pek çok farklı cepheler tasarlanmaya başlanmıştır (Altın & Orhon, 2014). Bu cephe sistemine örnek olarak "Biyoreaktör Cephe Bina" incelenecektir.

2013 yılında bir mühendislik firması olan Arup, Uluslar Arası Yapı Fuarı'nın bir parçası olarak Almanya'nın Hamburg şehrindeki bir apartmanda ilk "biyoreaktör cepheyi" inşa etti. Binanın güneşe bakan cephelerine, içinde algler bulunan cam paneller yerleştirildi. Paneller gölgeleme elemanı olarak, paneller arasındaki algler ise cepheye gelen güneş ışığının yardımıyla besin üretmek için fotosentez yaparken harcadığı CO2 ve açığa çıkardığı ısı ile havayı temizleyen bir ısıtma elemanı olarak kullanılmaktadır (Altın & Orhon, 2014). SolarLeaf adı verilen bu cephe alglerin karbondioksiti parçalayıp, fotosentez yoluyla işlemesi ile yeşil bir görünüm kazanmaktadır. Bu yenilenebilir enerji üretim biçimi, binanın cephesine mimari konsepti yansıtmaktadır.

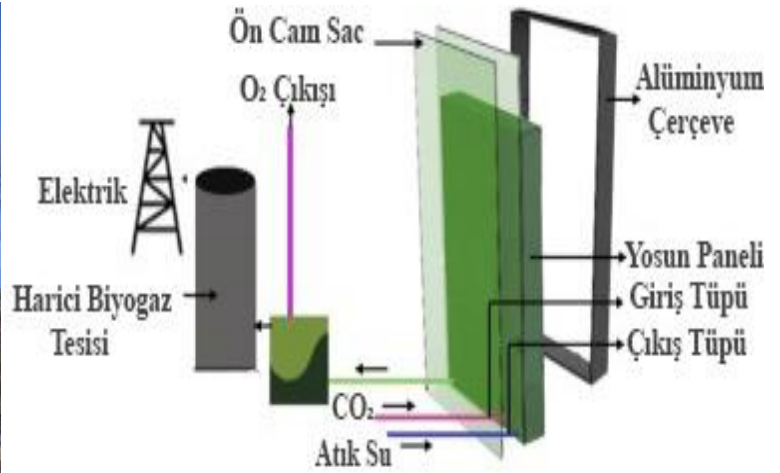
#### **- Cephe Sisteminin Sürdürülebilirliğinin Değerlendirilmesi**

Gölgeleme ve iç mekan konforunun sağlanması, enerji tüketimini azaltma, biyokütle-yenilenebilir enerji kaynağı kullanımı, karbon salınımının azaltılması, çevreye verilen zararın azaltılması şeklinde sayılabilir. Alglerden oluşan bu paneller, binanın tüm enerji ihtiyacını karşılarırken, karbon salınımını da yılda 6 ton azaltmaktadır (Altın & Orhon, 2014). Böylelikle BIQ binası cephesindeki paneller sayesinde enerji kaybı ve kazanımında artışa

geçerek, çevresine de yarar sağlaması bakımından sürdürülebilir bir bina olduğunu göstermektedir.



Şekil-5. BIQ (URL-3).



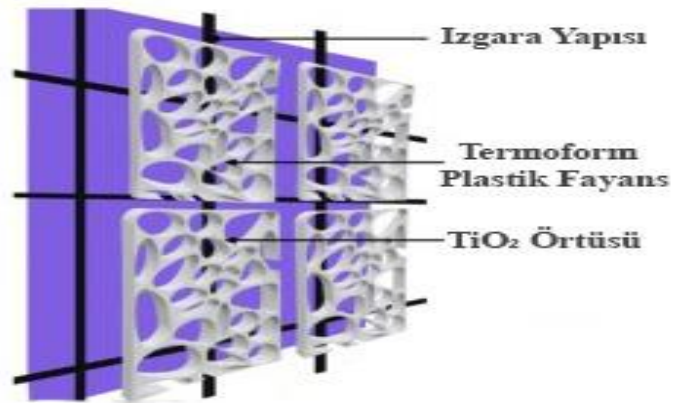
Şekil-6. BIQ Cephedeki Panel Detayı (Habibi vd. 2022).

#### 4.1.3. Kendini ve/veya Havayı Temizleyen Akıllı Cephe :Manuel Gea Gonzalez Hastanesi – Duman Yiyen Cephe

Yapı, 1992 yılında Birleşmiş Milletler tarafından dünyanın en kirli kenti ilan edilen Mexico City’de bulunmaktadır (URL-4). Bu durum yapıyı, kendi kendini temizleyen bir cephe kurmak için ideal kılar. Aynı zamanda cephe, sadece kendini değil, etrafındaki yoğun hava kirliliğini de temizleyebilmektedir. Cephe, duman parçacıklarını yakalayan ve nötralize eden bir fotokatalitik madde olan çok ince bir  $TiO_2$  (titanyum dioksit) kaplamasına sahip “Prosolve 370e” adı verilen karolardan oluşmaktadır (URL-5). Cepheye gelen UV ışını, cephedeki  $TiO_2$  kaplamasının kirliliği havaya tepkimeye girmesini sağlayarak, havadaki ve cephenin yüzeyindeki kirleticileri zararsız miktarda karbondioksit ve suya dönüştürmektedir (URL-6). Bu kimyasal reaksiyonda  $TiO_2$ , katalizör olduğu için kendisi etkilenmez ve bu işlemi sayısız şekilde tekrarlayabilmektedir. Bu cephelere fotokatalitik cepheler denir (Altın & Orhon, 2014). Bu akıllı cephe önceki iki örnekten farklı olarak, akıllı sistemler yerine cephede akıllı kaplama malzemesinin kimyasal özellikleriyle hem kendini temiz tutup, hem de çevresindeki hava kirliliğini azaltmaktadır.



Şekil-7. Manuel Gea Gonzalez Hastanesi Cephesi (URL-7).

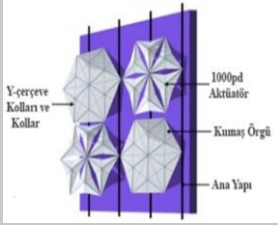
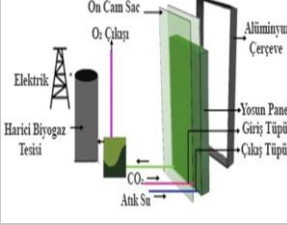
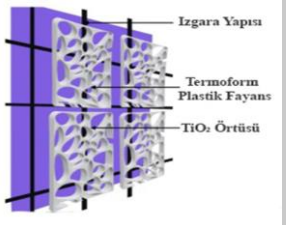


Şekil-8. Cephe Detayı (Habibi vd. 2022).

Binanın cephesi, sadece kaplama malzemesi değil, malzemenin hava ile daha fazla temas edebilmesi için yapılan tasarım ile de akıllı cephe özelliği gösterir. Tasarımın delikli, kademeli ve çok yüzeyli şekilde olması cephenin daha fazla yüzey alanına sahip olmasını ve dolayısıyla kimyasal reaksiyonunda daha büyük ölçekte gerçekleşmesini sağlamıştır. Cephe tasarımını gerçekleştiren firma eş-direktörü Daniel Schwaag’ın belirttiğine göre bu tasarım ile cephenin yüzey alanı %200 artmış ve aynı zamanda cephe bu geometri sayesinde her yönden gelebilecek ışınları da yüzeyle buluşturabilme imkanı sağlamaktadır (Altın & Orhon, 2014). Sürdürülebilirliği sadece malzeme ve akıllı sistem ölçeği ile sınırlı kalmayıp, sürdürülebilir tasarıma estetik açıdan da yaklaşmak, binanın daha büyük kitlelere ulaşarak, daha fazla kişiye ilham kaynağı olması, sürdürülebilir bir çevrenin oluşturulması açısından önemlidir.

- Cephe Sisteminin Sürdürülebilirliğinin Değerlendirilmesi :

Fosil kaynaklı enerji tüketiminin sebep olduğu hava kirliliğini temizleme, çevreye verilen zararlı etkinin azaltılması, gölgeleme ve iç mekan konforunun sağlanması, binanın karbon salınımını azaltması şeklinde sayılabilir. Cephe, 2500 m<sup>2</sup>'lik alanıyla günde 1000 aracın sebep olduğu hava kirliliğini temizleyebilmektedir (Altın & Orhon, 2014). Böylelikle Manuel G.G. Hastanesi , cephesinde kullanılan akıllı malzeme sayesinde, gölgeleme ile kendi enerji tüketimini azaltıp, konumu itibariyle çevresinde bulunan yoğun hava kirliliğinin temizlenmesine katkı sağlaması bakımından sürdürülebilir bir bina olduğunu göstermektedir.

	<b>AI Bahar Kuleleri Cehesi</b>	<b>BIQ Binası Cehesi</b>	<b>Manuel G.G. Hastanesi Cehesi</b>
<b>Bulunduğu Çevreye ve İklim Uyum Tasarım</b>	 - Gölgeleme – iç mekan konfor koşulları	 - Gölgeleme – iç mekan konfor koşulları	 - Gölgeleme – iç mekan konfor koşulları
<b>Enerjinin Korunumu</b>	- %80 oranında gölgeleme ile soğutma sistemine ihtiyacı azaltılması, açılıp kapanabilmesi ile yapay ışık ihtiyacını azaltma	- Cam panellerin içindeki algler ile binanın tüm enerji ihtiyacının karşılanması	—
<b>Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kullanımı</b>	- Gölgelemedeki açık kapanabilir sistemin elektrik ihtiyacının çatıya yerleştirilen fotovoltaik panellerle sağlanması	- Biyokütle-yenilenebilir enerji kaynağı kullanımı	—
<b>Atık Yönetimi</b>	—	- Karbon salınımının azaltılması	- Binaın karbon salınımını azaltması - Fosil kaynaklı yakıt tüketiminden oluşan hava kirliliğini temizleme, çevreye verilen zararın azaltılması
<b>Geri Dönüşümlü Malzeme Kullanımı</b>	—	-Cephede kullanılan cam paneller	—

Tablo-2. Dünyadaki Örneklerin Sürdürülebilirlik Kriterlerine Göre Değerlendirmesi

4.2 Türkiye'deki Akıllı Cephe Örnekleri

Türkiye'de cephelerdeki sürdürülebilirlik genel olarak akıllı camlar ile sağlanmaktadır. Bu bağlamda akıllı camların cepheye yerleştirilme şekillerine göre "tek tabakalı cephe sistemleri" ve "çift tabakalı cephe sistemleri" incelenecektir.

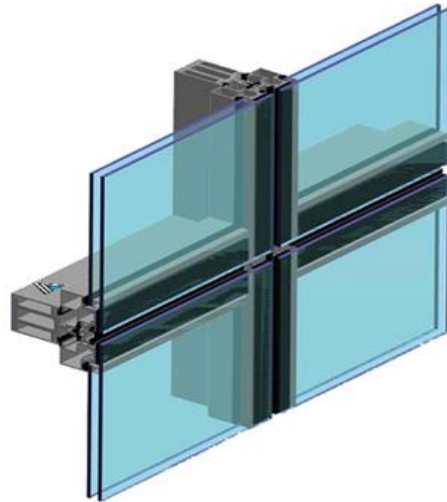


#### 4.2.1. Tek Tabakalı Cephe Sistemleri: Giydirme Cephe

Giydirme cephe binanın taşıyıcı elemanlarına monte edilen, ankraj elemanları ve bu elemanlara sabitlenen alt konstrüksiyonlar ve cephe kaplama malzemelerinden meydana gelmektedir. Bu cephe sistemlerinde, cephe ile bina arasına boşluk bırakılır ve bırakılan bu boşluk ile hava sirkülasyonu ile birlikte kat aralarına yerleştirilen yalıtım malzemeleri ile ekstra yalıtım sağlamaktadır. Giydirmeye cephelerde kullanılan saydam malzemeler ile güneş ışığının içeri girmesi kolaylaştırılarak doğal aydınlatma sağlanmaktadır. Güneş ışığının zararlı etkilerinden korunmak için de cephenin iç ve dış kısmına yerleştirilen güneş kırıcılar kullanılmaktadır. Giydirmeye cepheler yapısal özelliklerine göre; "Izgara Konstrüksiyon" ve "Panel Konstrüksiyon" olmak üzere ikiye ayrılır. Türkiye'de tadilat ve bakımının kolay olmasından dolayı Izgara Konstrüksiyon (Çubuk Sistem) kullanılmaktadır. Panel Konstrüksiyon cepheler ise fabrikalarda üretilip, şantiyelere taşınmaktadır, kapalı sistem olduğu için maksimum geçirimsizliğe sahiptir (Sönmez & Kiasif, 2018). İstanbul'daki İş Bankası Genel Müdürlük Binası'nda "Panel Konstrüksiyon Cephe" uygulanarak, bu alanda yapıldığı dönem bakımından ilk örneği temsil etmektedir(Şekil-9).



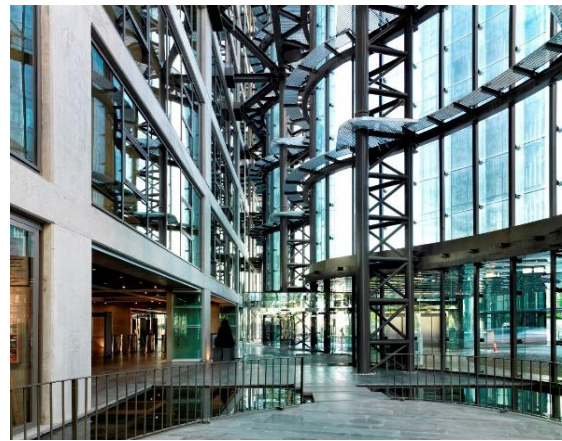
Şekil-9. İş Bankası Genel Müdürlük Binası – Panel Sistem Örneği



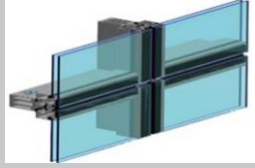
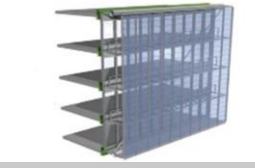
Şekil-10. Tek Tabakalı Giydirmeye Cephe Detayı

#### 4.2.2.Çift Kabuklu Cephe Sistemleri

Çift kabuklu cephe sistemleri; iç katman, dış katman ve bu katmanlar arasındaki hava boşluğundan meydana gelmektedir. Bu tür cepheler sıcak iklimlerde aşırı ısınmayı, soğuk iklimlerde ise aşırı soğumayı önlemektedir. Cephedeki dış katman, iç katman ile arasındaki boşluğa; güneş ışığının girmesine izin vererek doğal aydınlatmayı, hava girişine izin vererek ise istenildiğinde iç katmandaki pencerenin açılması sonucu doğal havalandırmayı sağlamaktadır. Aynı zamanda dış mekandaki gürültü kirliliğinin de iç mekana girmesini önleyerek, kullanıcı konforunu sağlamaktadır. Pasif sistemler sayesinde mekanik sistemlerdeki enerji kullanımının azaltılması, binanın giderlerini düşürmekte ve sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır (Sönmez & Kiasif, 2018). Bu cephe sistemine örnek olarak, bina yüksekliği boyunca devam eden çift kabuklu cepheden oluşan "Maslak No:1 Ofis Binası" gösterilebilir.



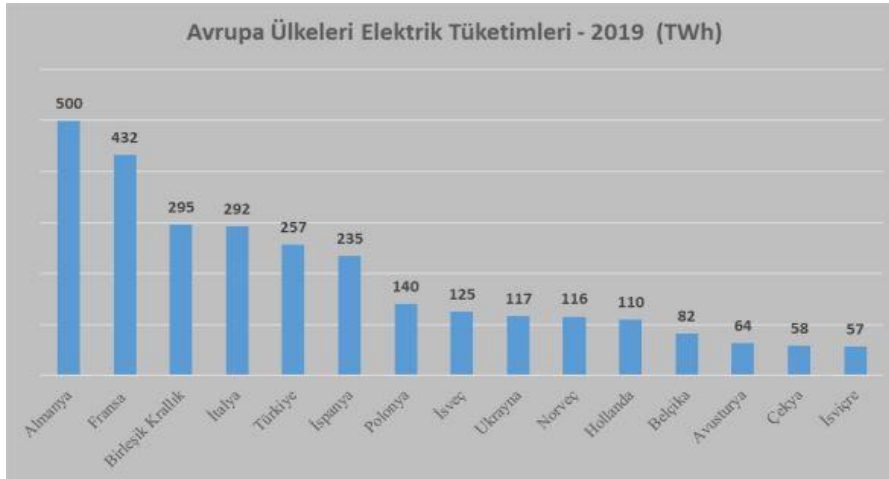
Şekil-11. Bina Yüksekliğinde Çift Kabuk Cephe Örneği Maslak No:1 Ofis Binası (URL-8).

	<b>Tek Tabakalı Cephe Sistemleri</b>	<b>Çift Kabuklu Cephe Sistemleri</b>
<b>Bulunduğu Çevreye ve İklim Uyum Tasarım</b>	 <p>- Cepheye içten ve dıştan monte edilebilen güneş kırıcılarla, güneş korunumunun sağlanması</p>	 <p>- İç katman, dış katman arasındaki hava boşluğu gereksiz ısı kaybı ve kazancını önler. - İç katmandaki pencerenin açılması sonucunda doğal havalandırma sağlanır.</p>
<b>Enerjinin Korunumu</b>	<p>- Cepheye kullanılan saydam malzemelerle doğal aydınlatma sağlanması - Güneş kırıcılar ile gölgeleme</p>	<p>- İç katman, dış katman arasındaki hava boşluğu gereksiz ısı kaybı ve kazancını önler.</p>
<b>Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kullanımı</b>	—	—
<b>Atık Yönetimi</b>	—	—
<b>Geri Dönüşümlü Malzeme Kullanımı</b>	<p>- Cepheye kullanılan camlar</p>	<p>- Cepheye kullanılan camlar</p>

**Tablo-3.**Türkiye'deki Örneklerin Sürdürülebilirlik Kriterlerine Göre Değerlendirmesi

#### 4.3.Türkiye'deki Akıllı Cephelerin Dünyadaki Örneklerle Karşılaştırmalı Değerlendirmesi

- Türkiye'deki akıllı cephe uygulaması belirli malzemeler ve belirli sistemler ile sınırlı kalmıştır. Bu durum sürdürülebilirliğin birçok yönden sağlanması ve tasarım ile bütünleşmesi konusunda kısıtlamalar oluşturabilmektedir. Yurtdışındaki örneklerde ise akıllı cephelerin enerji etkin özelliklerini tasarımla bütünleştirdiğini görüyoruz. Mesela Al-Bahar Kulelerindeki açıp kapanır sistemin oradaki yöreye uygun, estetik bir "Mashrabia" adındaki strüktür ile sağlanması, BIQ'da alglerin yaptığı fotosentez ile binanın cephesinin yeşillendirilerek, binanın tasarım konseptini yansıtmaması, Mea Gonzalez Hastanesi'nde havanın cephe yüzeyi ile daha fazla temas ederek tepkimeye girebilmesi için yüzey alanını arttırmaya yönelik yapılan tasarım ile binanın cephesinde estetik bir görüntü yakalanması sağlanmıştır.
- Balali ve Valipour; Birleşmiş Milletler 17 Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi(SGD)'nden yararlanarak , akıllı malzemelerin seçimi konusunda 38 kriter belirlemiştir. Daha sonra 180 uzmana bu seçim kriterlerinden öncelikleri sorularak, Friedman Testi'ne göre bu önceliklerin puanlaması yapılmıştır. Bu puanlama sonucunda "enerji yenilenebilirliği" en önemli kriter olarak belirlenmiştir (Balali & Valipour, 2020). Ancak Türkiye'de uygulanan akıllı cephe sistemlerinde enerji üretimini arka planda tutup, enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik bir eğilim vardır. Enerji kavramını elektrik üzerinden değerlendirecek olursak, TEDAŞ'ın 2019 verilerine(Tablo-4) göre Türkiye , Avrupa ülkeleri arasında elektrik tüketimi konusunda 5.sırada yer almaktadır. Bu bağlamda binalarda fotovoltaik cephe sistemlerinin kullanımının yaygınlaştırılması sürdürülebilirliğin yanında ülke ekonomisine de ciddi katkılar sağlayacaktır.



**Tablo-4.** Avrupa Ülkelerinin Elektrik Tüketim Verisi – 2019 (URL-9).

## 5.SONUÇ

Dünyada kullanılan enerjinin büyük bir kısmı binaların yapım-işletim-yıkım süreçlerinde harcanmaktadır. Bu nedenle binalarda enerji etkin akıllı sistemlerin kullanılması sürdürülebilir bir kalkınma için çok önemlidir. Bu çalışmada sürdürülebilirlik kapsamında akıllı cephelelerin etkisi incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Dünyadaki örneklerde de görüldüğü üzere; cephelere yerleştirilen fotovoltaik panel ve katlanabilir rüzgar türbinleri binanın ihtiyacı olan enerjiyi elde etmesinin yanında iç konforu da optimum değerde tutabilmekte; güneş kırıcı sistemler ve kaplamalı camlar yardımıyla iç mekandaki kullanıcıları rahatsız etmeden doğal aydınlatma sağlanabilmekte; yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjiyle doğal kaynaklardan elde edilen enerji gereksinimi minimuma indirilebilmektedir. Bu açıdan akıllı cephe sistemleri çevresel, sosyal ve ekonomik olmak üzere pek çok yönden sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır.
- Akıllı cephelerdeki sürdürülebilirliğin artırılması için; cephede akıllı malzeme kullanımı önemlidir. Duman Yiyen Cephe örneğinde de görüldüğü üzere herhangi bir akıllı sisteme gerek kalmadan, cephede akıllı malzemelerin kullanılması ile cephenin kendisini temiz tutmasının yanında, çevresindeki hava kirliliğini de önleyerek çevresel katkı sağlayabilmesi mümkündür. Akıllı malzemenin seçiminde ise kriterlerin belirlenip, uzmanların fikirlerinin alındığında en önemli kriterin “enerji yenilenebilirliği” olduğu belirtilmektedir. Bu nedenle akıllı malzemeler belirlenirken enerjinin kazanımı ön planda tutulmalıdır.
- Türkiye’deki akıllı cephe uygulaması ise yaygın olarak kullanılan iki sistem üzerinden incelenmiştir. İnceleme sonucunda sistemlerin; doğal aydınlatmayı sağlama, iç mekandaki ısının dengede tutularak ısıtma-soğutma ihtiyacının azaltılması, gürültü kirliliğinin önlenmesi, doğal havalandırma ile iç mekan konforunun artırılması gibi kriterler ile sürdürülebilirliği belirli bir ölçüde sağlayabilmektedir. Bu sistemler enerji kaybını ciddi anlamda önlesede enerjinin kazanımı konusunda yetersiz olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca akıllı cephelerde sınırlı sistem ve malzeme kullanımının, sürdürülebilirlik ile estetiğin birleştirilmesi konusunda tasarım sürecini kısıtlayacağı öngörülmektedir.

Sonuç olarak akıllı cepheler kendi başlarına, sürdürülebilirliği önemli ölçüde sağlamakta ve karbon salınımını önlemektedir. Gelecek dönemlerde akıllı cephenin gelişen teknoloji ile çeşitlilik kazanması, enerjiye ve sağlıklı bir çevreye duyulan ihtiyacın artması, sürdürülebilir özelliğinin yanında tasarıma da etkileri sebebiyle mimarlığın odak noktalarından birisi olacaktır. Bu bağlamda ülkemizde akıllı cephelerdeki akıllı malzeme ve akıllı sistem çeşitliliğinin artırılması ve enerji kaybının önlenmesinin yanında, enerji kazanımına da önem verilmesi gerekmektedir. Genel olarak ülkemizde ve dünyada sürdürülebilir mimarlığın sağlanabilmesi ve dünyanın daha yaşanılabilir bir yer haline getirilebilmesi için akıllı cephelere tasarımda daha çok yer verilmeli ve kullanımı yaygınlaştırılmalıdır.

**KAYNAKLAR**

- Addington, D. M., & Schodek, D. L. (2012). Smart materials and new technologies: for the architecture and design professions. Elsevier Press, New York.
- Altın, M., & Orhon, A. V. (2014). Akıllı yapı cepheleri ve sürdürülebilirlik. Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu, 1-9.
- Balali, A., & Valipour, A. (2020). Identification and selection of building façade's smart materials according to sustainable development goals. Sustainable Materials and Technologies, 26, e00213.
- Böke, J., Knaack, U., & Hemmerling, M. (2019). State-of-the-art of intelligent building envelopes in the context of intelligent technical systems. Intelligent Buildings International, 11(1), 27-45.
- Habibi, S., Valladares, O. P., & Peña, D. M. (2022). Sustainability performance by ten representative intelligent façade technologies: a systematic review. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 52, 102001.
- Jalloul, H. (2020). Sustainable and adaptive architecture: rethinking the capabilities of cost-efficient intelligent facades in extreme climates. Beirut, Lebanon: Faculty of Architectural Engineering. Beirut Arab University.
- Kayıllı, MT (2020). Akıllı malzemelerin kamu yapılarında uygulama önerileri: Karabük örneği. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi , (18), 805-817.
- Li, W. (2011). Sustainable design for low carbon architecture. Procedia Environmental Sciences, 5, 173-177.
- Mohamed, A. S. Y. (2017). Smart materials innovative technologies in architecture; towards innovative design paradigm. Energy Procedia, 115, 139-154.
- Okumuş, E.. (2020). Sürdürülebilir mimarlık kapsamında akıllı cephe sistemlerinin incelenmesi. Academic Perspective Procedia, 3 (1), 267-281. DOI: 10.33793/acperpro.03.01.54.
- Ritter, A. (2007). Smart materials in architecture, interior architecture and design. Birkhäuser Basel.
- Sönmez, B., & Kiasif, G. Ç. (2018). Çevresel, sosyal ve ekonomik bağlamda akıllı cephe sistemlerinin sürdürülebilir kalkınmaya etkileri. Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 1, 63-98.
- URL-1 [https://tr.wikipedia.org/wiki/S%C3%BCrd%C3%BCr%C3%BClebilir\\_mimari](https://tr.wikipedia.org/wiki/S%C3%BCrd%C3%BCr%C3%BClebilir_mimari) Erişim Tarihi: 24/11/2022
- URL-2 <https://igsmag.com/market-trends/super-tall-buildings/the-al-bahar-towers-shading-the-real-envelope/> Erişim Tarihi: 03/10/2022
- URL-3 <https://phys.org/news/2013-04-algae-powered-hamburg.html> Erişim Tarihi: 03/10/2022
- URL-4 [https://www.architectmagazine.com/technology/architectural-detail/fighting-a-megacitys-pollution-with-mega-panels\\_o](https://www.architectmagazine.com/technology/architectural-detail/fighting-a-megacitys-pollution-with-mega-panels_o) Erişim Tarihi: 29.12.2022
- URL-5 <https://www.iaacblog.com/programs/computational-design-hospital-manuel-gea-gonzalez-facade/> Erişim Tarihi: 11/12/2022
- URL-6 <https://www.sustainablebusiness.com/2014/07/green-technology-spotlight-biodynamic-cement-purifies-the-air-52421/> Erişim Tarihi: 11/12/2022
- URL-7 <https://makeasmartcity.com/2016/06/05/elegant-air-purification-in-construction/> Erişim Tarihi: 11/12/2022
- URL-8 <http://www.arkiv.com.tr/proje/maslak-no1-ofis-yapisi/5840> Erişim Tarihi: 02/12/2022
- URL-9 2021\_Yili\_Turkiye\_Elektrik\_Dagitimi\_Sektor\_Raporu.pdf (tedas.gov.tr) Erişim Tarihi: 25/11/2022