

# Akıllı Malzemelerin Yapı Kabuğu Üzerinde Değerlendirilmesi

Ayşe Zülal OKCU<sup>1\*</sup>  Mustafa DERELİ<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Bölümü, Konya, Türkiye

<sup>2</sup> Necmettin Erbakan Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Konya, Türkiye,

## Makale Bilgisi

## ÖZET

**Geliş Tarihi:** 29.7.2024  
**Kabul Tarihi:** 8.9.2024  
**Yayın Tarihi:** 30.9.2024

**Anahtar Kelimeler:**  
Akıllı malzemeler,  
Çağdaş yapı malzemeleri,  
Yapı kabuğu.

Günümüzde teknolojinin ilerlemesi ile birlikte pek çok alanda olduğu gibi mimari alanda da değişiklikler meydana gelmiştir. Bu değişimlerden faydalanan en önemli alanlardan biri de malzeme bilimi olmuştur. Bu yeniliklerden biri olan akıllı malzemelerin mimaride kullanımının yaygınlaşması ile geleneksel yapı malzemeleri yerine tercih edilen bir malzeme türü haline gelmiştir. Akıllı malzemeler, dışarıdan gelen çevresel uyarılar karşısında, şekil ya da enerji dönüşümü olarak tepki veren malzemelerdir. Çevresel etkenler hedefli olan bu yenilikçi malzemelerin, direkt olarak dışarıdan gelen etkenlere maruz kalan yapı kabuğunda kullanımı oldukça önem taşımaktadır. Bu bağlamda, çalışmada yapı kabuğunda akıllı malzeme kullanılan örnek yapılar ele alınmıştır. Bu yapıların türleri, akıllı malzemenin kullanıldığı yapı elemanı ve işlevleri incelenmiştir.

## Evaluation of Smart Materials on Building Envelope

## Article Info

## ABSTRACT

**Received:** 29.7.2024  
**Accepted:** 8.9.2024  
**Published:** 30.9.2024

**Keywords:**  
Smart materials,  
Contemporary building  
materials  
Building envelope.

Presently, with the advancement of technology, changes have occurred in many fields together with the architectural field. One important field that has benefited from these changes has been material science. With the expansion of the use of smart materials, one of these innovations, in architecture, it has become a preferred material type instead of traditional building materials. Smart materials are materials that react to external environmental alerts in the form of shape or energy transformation. The use of these innovative materials targeting environmental factors in the building envelope, which is directly subject to external factors, is of great importance. In this context, the study focuses on sample buildings using smart materials in the building envelope. The types of these buildings, the building elements and functions where smart materials are used are examined.

### Bu makaleye atıfta bulunmak için:

Okcu, A. Z., & Dereli, M. (2024). Akıllı malzemelerin yapı kabuğu üzerinde değerlendirilmesi. *Thinking of Urban Decoding Journal (TUDEJ)*, 1(1), 45-62. <https://doi.org/10.69992/0.2024.7>

\*Sorumlu Yazar: Ayşe Zülal OKCU, [zlokcu@gmail.com](mailto:zlokcu@gmail.com)



## GİRİŞ

İnsanoğlu, tarih boyunca inşa ettiği yapılarda taş, ahşap, tuğla gibi geleneksel malzemeler kullanmış olup günümüzde de kullanmayı sürdürmektedir. Geleneksel yapı malzemelerinden beklenen, yapı malzemesi olarak kullanıldığı süreç içerisinde özelliklerini sürdürebilmesidir. Fakat günümüzde geleneksel yapı malzemelerinin kullanılması durumunda, yapının maruz kaldığı dış etkenler sonucunda olumsuz durumlarda karşılaşılabilmektedir. Aynı zamanda yapılarda ekonomik çözümler üreterek kullanıcı konforunu sağlamak için yapı malzemelerinde değişiklikler yaşanmaktadır.

Dünya nüfusu ile kentlere olan göçün artması sonucu, kentlerdeki yapılaşmada artış gözlenmektedir. Bu artış; küresel ısınma, çevre kirliliği, enerji kaynaklarının tükenmesi gibi olumsuzlukları beraberinde getirmiştir. İnsanlar, bu olumsuzluklarla başa çıkabilmek için sürdürülebilirlik kavramına yönelmiş ve akıllı malzemeleri popüler hale getirmiştir. Bina kabuğunun, yapının termal performansına etkisi oldukça fazladır; bu sebeple kabukta geleneksel malzemelerin kullanımı, enerjiyi iyi bir şekilde yönetmenin ve iklim değişikliğini önlemenin etkili yollarından değildir (Nessim, 2024).

Akıllı malzemeler ise geleneksel malzemelerde bulunan özelliklerinin ilerisine geçerek kullanıcının taleplerini karşılayabilmektedir. Kalıplaşmış belirli özellikleri bulunan geleneksel malzemelere kıyasla, gün geçtikçe yeni özellikleri ortaya çıkmakta ve uygulanacakları alanlar çeşitlenmektedir.

Akhras (2000), yaptığı çalışmaya göre, aynı zamanda zeki malzemeler olarak adlandırdığı akıllı malzemeler, çevresel değişiklikleri net bir şekilde algılayıp, ayırıştırıp, tepki verme özelliğine sahiptir. Addington ve Schodek (2005) yaptıkları çalışmaya göre, akıllı malzemelerin, özellik değiştirebildikleri, enerji değişimi yapabildikleri, farklı boyutlarda ve konumlarda kullanılabilir oldukları ve tersinir özellikleri olduklarından dolayı geleneksel malzemelerden farklılaşmışlardır. Ergin (2019), yaptığı çalışmada akıllı malzemeleri, çevre değişkenlerine bağlı, geçici olarak yanıt verme özellikleri ile uyarlanabilir cephelere benzetmektedir. Binalarda tüketilen enerjinin oldukça fazla olması sebebiyle, geleneksel cephelere göre, iklimsel değişikliklere göre özellik değiştirebilen akıllı cephelerin kullanılması gerektiğini vurgulamaktadır. Akıncı (2020), yaptığı çalışmada akıllı malzemeleri, dış uyaranları algılayarak özelliğini değiştirmesi, uyarının kaldırılması ile malzemenin tersinir şekilde eski haline dönmesi şeklinde tanımlamaktadır. Çiçek (2021), yaptığı çalışmada, "Akıllı" teriminin, değişen çevre şartlarına uyum sağlayarak yanıt verebilme içeriğine sahip olmayı içerdiğinden bahsetmektedir. Bunun sonucunda da "akıllı malzemeleri", gelen uyarıları algılayarak tepki veren ve onlara uyum sağlayabilen malzemeler, şeklinde tanımlamaktadır. Çalışmasında akıllı malzeme kullanımının yaygınlaşmasının ardından, çevresel koşullarla mücadele etmek yerine, çevresel koşullara göre ortama uyum sağlayan bir anlayışın doğduğunu belirtmektedir.

Akıllı malzemeler, yapının birçok kısmında kullanılmaktadır. Mimari tasarımlara sağladığı olanaklar ve kullanıcı konforu hedefli olmaları sebebiyle mimari literatüre çok fazla katkıda bulunmaktadır, fakat direkt olarak dışarıdan gelen etkenler, yapı kabuğunu etkilemektedir; bu bağlamda yapı kabuğunu oluşturan elemanlardan özellikle çatı ve cephelerde akıllı malzeme kullanımı daha yoğun olmaktadır (Çiçek, 2021). Yapı kabuğundan kullanılan akıllı malzemeler, yeterli miktarda doğru malzeme seçimi sonucunda kullanıldığı ürün veya yapıların performansını arttırmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada akıllı malzemelerin yapı kabuğunda kullanımı değerlendirilmektedir. Çalışmada yapı cepheleri, dış kabuğu ve çatılarında kullanılan akıllı malzemeler incelenmektedir.

Çalışma kapsamında dijital literatür araştırması yapılmış, çalışmayı oluşturan kavramlar açıklanmış, sınıflandırılmış, örneklerle desteklenmiştir. Ardından, yapı kabuğundan akıllı malzeme kullanımına yönelik yapılar incelenerek çalışma desteklenmiştir. Bu yapılarda kullanılan akıllı

malzemelerin kullanıldığı yapı elemanı, işlevleri, avantajları tanımlanarak görseller ile desteklenmiştir. Sonucunda yapıda kullanılan akıllı malzeme sistemi ve kullanıldığı yapı elemanını gösteren bir tablo oluşturulmuştur.

### **Akıllı Malzemeler**

Akıllı malzemeler, özelliklerini sıcaklık, basınç, ışık, nem, manyetik alanlar ve elektrik gibi dış uyarıcılara karşı aktif veya pasif olarak değiştirerek istenilen durumlara yanıt veren malzemelerdir. Belirli uyaranlar karşısında da yeniden orijinal hallerine dönebilen bu malzemelere, duyarlı, gelişmiş ve aktif malzemeler de denmektedir (Bogue, 2014).

Akıllı malzemeleri diğer malzemelerden ayıran özellikler vardır. Akıllı malzemeler, dış uyaranlara karşı kısa süre içerisinde yanıt verebilmektedirler ayrıca şekil ya da özellik değiştirebilmektedirler. Bu malzemeler kendi kendini onarabilme ve algılayabilme özellikleri sonucunda kendi kendine yetebilen malzeme olarak da tanımlanırlar (Roy vd., 2023).

Teknolojinin gelişmesiyle yüksek binalar, benzersiz formda yapılar, göz alıcı cepheler tasarlanmaya başlanmıştır. Akıllı malzemeler, yenilikçi ve adaptif teknolojilerin geliştirilmesine yardımcı olmaktadır. Yapıya entegre hareketli parçaların tasarımında, hareketin gerçekleşebilmesi için hareketli bağlantı ya da aktivatörlerin bulunması yerine; mekanik bağlantı olmadan kendi özellikleri gereğince hareket sağlamaktadırlar. Çünkü akıllı malzemeler için herhangi bir kontrol sistemine gerek duyulmamaktadır (Elkhayat, 2023).

Teknolojinin gelişimiyle birlikte mimar ve mühendisler tarafından yapılan yapıların formlarında ve yüksekliklerinde yenilikler gözlenmektedir. Yüksek binaların ve sıra dışı yapıların hayatımıza girmesiyle yenilikçi teknolojiler ve yenilikçi malzemeler kullanılmaya başlanmıştır. Genel olarak polimerler, seramikler, metaller ve akıllı malzemeler olarak kategorilere ayrılan yenilikçi malzemeler arasında; akıllı malzemeler diğer standart malzemelere göre daha çok öne çıkmıştır (Bahl, vd., 2020). Akıllı malzemedan oluşan elemanlar, geleneksel malzemelerde oluşan elemana göre daha küçük boyutlarda ve daha az altyapı gerektirecektir (Addington ve Schodek, 2005).

### **Akıllı Malzemelerin Sınıflandırılması**

Addington ve Schodek (2005), akıllı malzemeleri enerjiyi çekip değişime uğrayan ve aynı şekilde kalıp enerjiyi değişime uğratan olarak iki grupta incelemektedir. Birinci tipteki malzemeler, dış uyaranlara maruz kalması sebebi ile iç enerjisi etkilenmekte ve özellik değiştirmektedir. İkinci tipteki malzemelerde ise, dış uyaranlara maruz kalması sebebi ile malzemenin enerji durumu değişiyor fakat malzeme değişmiyorsa, bir formdan diğerine enerji değişimi meydana gelmektedir.

Tip 1- gelen çevresel etkiler ile bir ya da birkaç özelliklerini tersinir şekilde değiştirebilen malzemelerdir (Tablo 1).

Tip 2- gelen çevresel etkiler sonucu enerjiyi bir formdan diğerine dönüştürebilen malzemelerdir (Tablo 2).

#### **Tablo 1**

*Tip-1 Özellik Değiştiren Malzemeler (Addington, Schodek (2005)'den uyarlanmıştır.)*

Akıllı Malzeme Türü	Giriş	Çıkış
Termokromik malzemeler	Sıcaklık farkı	Renk değişimi
Fotokromik malzemeler	Işık	Renk değişimi
Mekanikromik malzemeler	Deformasyon	Renk değişimi
Kemokromik malzemeler	Kimyasal konsantrasyon	Renk değişimi

Elektrokromik malzemeler	Elektrik potansiyel farkı	Renk değişimi
Sıvı kristaller	Elektrik potansiyel farkı	Renk değişimi
Asılı parçacık	Elektrik potansiyel farkı	Renk değişimi
Elektroreolojik	Elektrik potansiyel farkı	Sertlik/viskozite değişimi
Adezyon değiştiren malzeme	Sıcaklık farkı	Adezyon değişimi

**Tablo 2**

*Tip-2 Enerji Değiştiren Malzemeler (Addington, Schodek (2005) 'den uyarlanmıştır.)*

Akıllı Malzeme Türü	Giriş	Çıkış
Elektrolüminesans malzeme	Elektrik potansiyel farkı	Renk değişimi
Fotolüminesans malzeme	Radyasyon	Renk değişimi
Kemolüminesans malzeme	Kimyasal konsantrasyon	Renk değişimi
Termolüminesans malzeme	Sıcaklık farkı	Renk değişimi
Işık yayan diyotlar	Elektrik potansiyel farkı	Renk değişimi
Fotovoltaik malzeme	Işık	Renk değişimi
Piezoelektrik malzeme	Deformasyon	Renk değişimi
Piroelektrik malzeme	Sıcaklık farkı	Sertlik/viskozite değişimi
Termoelektrik malzeme	Sıcaklık farkı	Adezyon değişimi
Elektrorestriktif malzeme	Elektrik potansiyel farkı	
Manyetorestriktif malzeme	Manyetik alan	

Akıllı malzemelerin sınıflandırılmasına odaklanan bir diğer isim ise Ritter (2007)'dir. Şensan (2019)'a göre, Ritter 2007 yılında yayınladığı kitabında, akıllı malzemeleri üç farklı grupta incelemektedir. Addington ve Schodek (2005)'in yaptığı sınıflandırmaya ek, madde dönüştüren akıllı malzemeleri, literatüre kazandırmıştır. Bu çalışmada ise Addington ve Schodek (2005)'in yaptığı sınıflandırma ele alınmıştır.

### **Tip-1 Özellik Değiştiren Akıllı Malzemeler**

Özellik değiştiren malzemeler, dış uyaranların etkisine karşı bir ya da birkaç özellikleri (termal, kimyasal, elektrik, manyetik, mekanik) değişime uğramaktadır. Dış uyaranlar ortam koşullarından ya da doğrudan bir enerji şeklinde olabilmektedir (Addington ve Schodek, 2005). Çüçen ve Solak (2023) bu malzemeleri, şekil değiştiren, renk ve optik özelliklerini değiştiren ve adezyon değiştiren olmak üzere sınıflandırmaktadır.

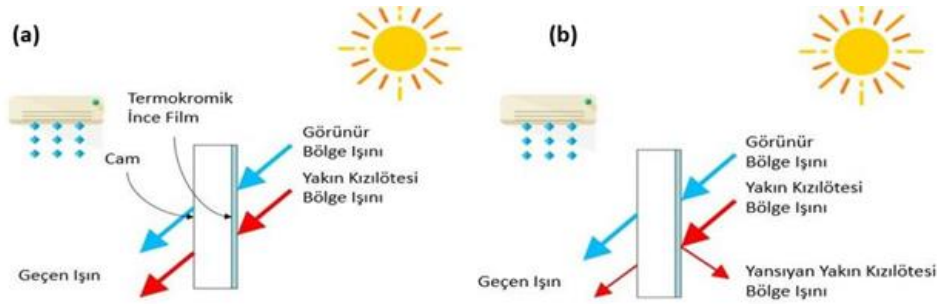
Çevresel uyaranlara bağlı olarak şekli ve boyutunda değişimler gözlenen malzemeye şekil değiştiren akıllı malzemeler denmektedir (Abeer, 2017). Bu malzemeler çevresel uyaranın etkisini normale döndüğü anda, eski şekli ve boyutuna geri dönmektedir. Şekil değiştiren malzemeler arasında en popüler olan malzeme şekil hafızalı alaşımlardır (Çakmak ve Kaya, 2017). Nikel-titanyum alaşımı, %45-50 titanyum içeriğine sahip olmakla birlikte en yaygın şekil hafızalı alaşım türüdür (Bahl vd., 2020).

Çevresel uyaranlara bağlı olarak renk ve optik özelliklerinde değişim görülen malzemeye renk ve optik özelliklerini değiştiren malzemeler denmektedir. Renk değiştiren malzemeler, çevresel uyaranlar sebebi ile optik özelliklerini değiştirdiklerinde, insanlar bu olayı renk değiştirme olarak algılamaktadır (Addington ve Schodek, 2005). Bu malzemelerden, ısı faktörü ile değişen malzemelere termokromik malzemeler, ışık faktörü ile değişen malzemelere fotokromik malzemeler, kimyasal bir ortama maruz kaldığında değişen malzemelere kemokromik, manyetik bir alana maruz kaldığında değişen malzemelere elektrokromik malzemeler denmektedir. Türkiye'de renk ve optik özellikleri değişen malzemelerin, camlara entegre edilmesi oldukça popülerdir (Orhon, 2013).

Örneğin, termokromik malzemeler, bulunduğu ortamda sıcaklık değişimine maruz kaldığında rengini veya optik özelliğini tersine çevirerek değiştirmektedir. Ortam sıcaklığı, sıcaklık kriterinin aşağısında olduğu zaman, malzeme yarı iletken bir özelliğe bürünüp ışığı az yansıtılmaktadır; sıcaklık kriterinin yukarısında olduğunda yarı metal bir özelliğe bürünüp yansımayı arttırmaktadır. Özellikle son zamanlarda sıcaklık değişimine bağlı olarak şeffaftan renkli cama geçen termokromik camlar oldukça popülerdir. Termokromik malzemelere örnek olarak VO<sub>2</sub>, ışığın iletimini değiştirme özelliği sayesinde içerisinde bulunduğu malzemeyi şeffaf durumdan opak bir duruma geçirebilmektedir (Şekil 1) (Topal, Arpacioğlu, 2020).

### Şekil 1

Termokromik VO<sub>2</sub> ince film kaplı camın davranışı (Güven, 2017)



Çevresel uyarılara bağlı olarak malzemenin katı, sıvı, gaz bileşenlerinde değişiklik olan malzemelere, adezyon değiştiren malzemeler denmektedir. Bu malzemeler arasında en popüler olan malzeme Titanyumdioksit (TiO<sub>2</sub>)'dir. Özellikle kendi kendini temizleyebilen cephelerde kullanımı oldukça yaygın olan TiO<sub>2</sub>, yüzeyine tutunan kirletici maddeleri, bir çevresel uyarı olan ışığın etkisiyle su ve karbondioksit parçalamaktadır (Kayılı, 2020). Bu malzeme, bulunduğu yere hem fotokatalitik özellik hem de hidrofilik özellik katmaktadır (Şam, vd., 2007). Örneğin Meksika'da bulunan Torre de Especialidades binasında hem bakterilerden uzak durmak hem de şehirdeki hava kirliliğine çözüm olması adına TiO<sub>2</sub> katkılı betondan tasarlanmış bir cephe tercih edilmektedir (Şekil 2) (URL 1).

### Şekil 2

Torre de Especialidades Binası (URL 1)



### Tip-2 Enerji Değiştiren Akıllı Malzemeler

Çıkış enerjisi üretmek için giriş enerjisini dönüştüren enerji dönüşümlü malzemeler, giriş ve çıkış enerji formlarını tersine çevirebilmektedir. Ritter'e göre (2007), bu malzemeler ışık yayan, elektrik

üreten ve enerji değişimi yapan malzemeler olarak ayrılmaktadır (Kayılı, 2020).

Çevresel uyaranlardan gelen enerjiye maruz kaldıktan sonra, ışık yaymaya başlayan malzemelere, ışık yayan malzemeler denmektedir. Malzemenin içerisindeki fosfor miktarına bağlı olarak, ışık yayma sürelerinde değişiklikler yaşanan bu malzemeler, parlama sürelerine göre luminesans, floresan ve fosforesans olmak üzere kendi aralarında sınıflandırılırlar. Çevresel uyaran kaldırılırsa bile, özelliklerini devam ettirebilmektedirler (Addington, Schodek, 2005). Bu malzemelere en yaygın verilebilecek örnek LED teknolojisidir (Topal, Arpacıoğlu, 2020). Örneğin, bisiklet kullanımının oldukça yaygın olduğu Polonya ülkesinde, bisiklet yolunda kullanılan malzeme, gündüzleri depoladığı güneş enerjisi sayesinde, gece ışık saçmaktadır (Şekil 3) (URL 2).

### Şekil 3

*Işık saçan bisiklet yolu (URL 2)*



Çevresel uyaranlar sonucunda elektrik üretebilen malzemelere elektrik üreten akıllı malzemeler denmektedir. Elektrik üreten akıllı malzemelere örnek olan fotoelektrik malzemeler, güneş enerjisini depolayıp, elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Günümüzde fotovoltaiik panellerin kullanımının yaygınlaşması ile fotoelektrik malzemeler, en yaygın kullanıma sahip olan malzemeler haline gelmiştir (Orhon, 2013). Bir diğer elektrik üreten akıllı malzeme olan, dış ve iç yüzeyde oluşan sıcaklık farkına bağlı olarak elektrik üretebilen malzemelere piroelektrik ve termoelektrik malzemeler denmektedir. Bu malzemeler, gün içi sıcaklık farkının yüksek olduğu bölgelerde kullanımı yaygındır (Topal, Arpacıoğlu, 2020). Basınç etkisiyle elektrik üretebilen malzemelere ise piezoelektrik malzemeler denmektedir. Çalışır ve arkadaşlarının (2020) yaptığı çalışmada piezoelektrik malzemenin, İstanbul'daki bir metro istasyonunda kullanılmasını incelemişlerdir. Döşemede kullanılması ile insan topluluklarının sirkülasyonu sayesinde enerji üretmesiyle, bu enerjinin turnikelerde kullanılması önerilmiştir (Şekil 4).

### Şekil 4

*Piezoelektrik Döşeme (Çalışır, vd., 2020)*



### **Akıllı Malzemelerin Yapı Kabuğunda Kullanılması**

Yapıyı tüm dış tesirlerden koruyan çatı ve yapının dış kabuğu ile; dış ve iç mekanı birbirinden ayıran cephenin işlevleri ve yapılarında kullanılan malzemeler giderek çeşitlenmektedir. Çatılar cepheler ve dış kabuklar, yapının enerji performansına direkt olarak etki etmektedir. Bu yüzden yenilikçi cephe sistemleri, yenilikçi kabuk sistemleri ve yenilikçi çatı sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Akıllı malzemeler ise cephe, kabuk ve çatı sistemlerinin üretim aşamasındayken içerisine entegre olması ya da dışarıdan bir sistem ile entegre edilmesi şeklinde kullanılmaktadır.

Çiçek (2021)'e göre, yenilikçi cepheler, dış ortam şartlarına ve kullanıcı gereksinimlerine uyum sağlayabilen, yapının enerji ve cephe performansını iyileştiren, dış etkenlere yanıt verme kapasitesi bulunan sistemlerdir. Yapı kabuğuna entegre edilen akıllı malzemeler, birden fazla çevresel uyarana yanıt verme özelliklerine sahiptirler. Bu malzemeler, kendi kendine yanıt verebilme özellikleri sayesinde, herhangi bir güç kaynağı gerektirmemektedir; bu bağlamda yapının enerji performansına katkı sağlamaktadırlar (Ergin, 2019).

Giriş kısmının olduğu sayfanın üst bilgisinde derginin adı ve kısaltması eklenmiş olmalıdır. Sayfanın altında ise sadece sayfa numarası olmalıdır.

### **YÖNTEM VE BULGULAR**

Akıllı malzemeler, ürün çeşitliliği ve uygulama kolaylığı sayesinde kullanımı yaygınlaşmaktadır. Cephe, çatı, duvar, kabuk, strüktür gibi çeşitli uygulama alanları bulunmakta, akıllı malzemelerin uygulandığı çeşitli örnekler rastlanmaktadır. Mimari örnekler için literatür taraması yapılarak akıllı malzemeler kapsamında örnekler oluşturulmuştur. Yapı örnekleri betimsel anlatım ile incelenerek görsellerle desteklenmiştir.

#### **Akıllı Malzemelerin Çatı ile Entegre Edildiği Örnekler**

Bu bölümde, akıllı malzemelerin, çatıya entegre edilmesi ya da farklı bir sistemle çatıya bağlanması konu almaktadır. Çatı elemanında kullanılan akıllı malzemeler genel olarak ışık ve sıcaklık çevresel faktörüne bağlı olarak özellik değiştirilmektedir. Bu bağlamda çatıya entegre akıllı malzemeler arasında fotovoltaik paneller ve doğal ışığı kontrol edebilen camlar sıklıkla tercih edilmektedir. Bu bölümde örnek olarak Cern Globe of Science and Innovation Müzesi, Brasilia Stadyumu, Kaohsiung Stadyumu incelenmiştir.

#### ***Cern Globe of Science and Innovation***

Bilim ve Yenilik Küresi Müzesi, Herve Dessimoz ve Thomas Büchi tarafından tasarlanmış, 2012 yılında İsviçre'de inşa edilmiştir. Dünya gezegeninden esinlenerek tasarlanan bu ahşap yapı, 27 metre yüksekliğinde ve 40 metre çapındadır (Yüksel, 2019) (Şekil 5).

#### **Şekil 5**

*Cern Globe of Science and Innovation Binası (URL 3)*



Yoğun bir şekilde sunumların yapıldığı bu binada doğal aydınlatmanın önemi artmaktadır. Bu bağlamda binaya girecek olan doğal aydınlatmayı kontrol edebilmek için akıllı malzemelere başvurulmaktadır. Yapının kavisli tavan pencerelerine elektrokromik cam entegre edilmesi ile istenildiği gibi aydınlık ya da karanlık ortamlar oluşturulmaktadır. Kullanıcı kontrolüyle ayarlanabilen bu camlar, kürenin tavanında ve dikey hatları boyunca kullanılmıştır.

### ***Brasilia Stadyumu***

Castro Mello ArQUITETOS tarafından tasarlanan yapı (Şekil 6), 2013 yılında Brezilya'da inşa edilmiş; LEED Platinum unvanını hedeflemektedir. Daha önce burada bulunan, yıkılan stadyumun malzemelerini geri dönüştürüp kullanmış olup, yapıda yağmur suyu toplama sistemi hakimdir. Tasarımcısı, 'büyük beyaz çatı iç hacmi, binayı ve binanın çevresini koruyor.' Açıklamışını yapmıştır (URL 4). Büyük beyaz çatı fotokatalitik özellik gösteren, PTFE kaplı cam elyaf kumaştan oluşan membran ve fotovoltaik panellerden oluşmaktadır.

### **Şekil 6**

*Brasilia Stadyumu (URL 4)(URL 5)*



### ***Kaohsiung Stadyumu***

Toyo Ito, tarafından tasarlanan yapı (Şekil 7), 2009 yılında Tayvan'da inşa edilmiştir. Yerel halk tarafından 'cam yılan' adı takılan stadyum, çatısında bulunan fotovoltaik paneller sayesinde, pullu bir yılan görüntüsüne sahiptir (URL 6). Güneş panelleriyle yapının yarısını kaplamakta; tamamen kendi enerjisini üreten ilk stadyum unvanını almıştır. Kendi ihtiyacı olan elektriği kullanmasının yanı sıra, fotovoltaik paneller sayesinde çevre yerleşkeye de elektrik imkanı sunmaktadır.

### **Şekil 7**

*Kaohsiung Stadyumu (URL 6)*





### **Akıllı Malzemelerin Kabuğa Entegre Edildiği Örnekler**

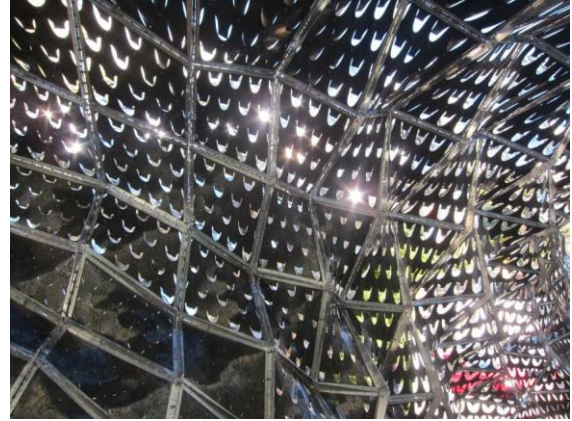
Bu bölümde, akıllı malzemelerin, tasarımın dış kabuğuna entegre edilmesi ya da farklı bir sistemle kabuğa bağlanması konu almaktadır. Kabukta kullanılan akıllı malzemeler genel olarak ışık, sıcaklık, nem gibi çevresel faktörlere bağlı olarak özellik değiştirmektedir. Kabuğa entegre akıllı malzemeler arasında kendi kendini ve havayı temizleyen malzemeler sıklıkla tercih edilmektedir. Bu bölümde örnek olarak Bloom Pavilyonu, Hygroskin Pavilyonu, Ara Pacis Müzesi incelenmiştir.

#### ***Bloom Pavilyonu***

Doris Kim Sung tarafından tasarlanan yapı (Şekil 8), 2011 yılında Los Angeles'da sergilenmiştir. Tasarım, ARCHITECT'in 2012 Ar-Ge Ödülleri'nde Mansiyon ödülüne layık görülmüştür (URL 7). Yapı, sıcaklık değişimine göre, şekil değiştirebilme özelliği olan, termobimetalde yapılmış parlak kompozit panelden oluşmaktadır. Bu metal levhalar iki farklı genleşme katsayısına sahip levhalardan oluşmaktadır. Bir metal diğer metale göre daha hızlı genleştikçe, yukarı doğru kıvrılmaktadır. Bu sayede herhangi bir kontrol mekanizmasına gerek duyulmadan, yapının içinin termal konforu sağlanmaktadır. Pavilyonda bulunan 14.000 akıllı termo bi-metal levha ısındıklarında, insandaki göz kırpma hareketini taklit etmektedir. Bina kabuğunda sıcaklık aktüatörü olarak görev yapan iki yönlü şekil hafızalı polimer levhalar, sıcaklığa kendi başına tepki verebilen ideal bir akıllı malzemedir. (Nessim, 2024).

#### **Şekil 8**

*Bloom Pavilyonu (URL 7)*

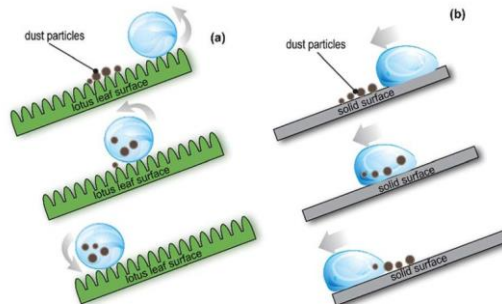


#### ***Hygroskin Pavilyonu***

Achim Menges Architect tarafından tasarlanan yapı (Şekil 9), 2013 yılında Fransa'da sergilenmeye başlanmıştır. İklimle duyarlı bir kabuğa sahip olan tasarım, hassas ve geometrik bir yapıya sahiptir. Yapının kabuğu, içbükey yüzeyinin içine neme duyarlı diyaframlar yerleştirilen, ahşap modüllerden oluşmaktadır. Bu ahşap kompozit, çevrenin bağıl nemindeki değişikliklere göre yanıt olarak malzemenin gözenegini ayarlamaktadır. Ortam nemine göre tetiklenen mikrofibrillerin, ahşap kompozitin yapısında kullanılmasıyla, kompozitler arasındaki mesafeyi değiştirmektedir. Bu bağlamda iç ve dış mekan arasındaki termal konfor korunmaktadır. Bu malzeme herhangi bir kontrol mekanizması ya da ekstra bir enerji gerektirmemektedir. Dinamik olmak için binanın büyük parçalarının hareket ettirilmesi gerekli değildir, ancak küçük parçaların birlikte hareket ettirilmesi dinamik mimari kavramına ulaşılmasını sağlayabilir (Elkhayat, 2023).

**Şekil 9***Bloom Pavilyonu (URL 8)***Ara Pacis Museum**

Meier Partners tarafından tasarlanan müze (Şekil10), 2006 yılında İtalya’da inşa edilmiştir. Mermer, metal ve cam malzemelerinden oluşan yapı, Roma mimarisinden esinlenerek tarihi ve modern doku bir arada getirilmiştir. Yapı içerisinde termal ve aydınlanma konforunun sağlanması için cihazlarla çözüm üretilmektedir. Starford (2005), yaptığı çalışmada lotus bitkisinin kendi kendini temizleme özelliğinden bahsetmekte ve bu olayın ‘Lotus Effect’ olarak adlandırıldığından bahsetmektedir. Bu bağlamda, lotus bitkisinin bu özelliği kullanılarak boyalarda, çatı malzemelerinde, kumaşlarda ve daha birçok alanda kullanılmaktadır (Suyabatmaz ve Sever, 2023). Görünmeyecek küçüklükte bilyelerden oluşan bu malzeme (Şekil 11), beyaz dış duvarlarda kullanılarak, yapı kabuğuna entegre edilmiştir. Bu bağlamda yapı hidrofobik özellik kazanmıştır.

**Şekil 10***Ara Pacis Museum (URL 9)***Şekil 11***Kendi kendini temizleyene malzemenin şematik gösterimi (URL 10)*

## **Akıllı Malzemelerin Cepheye Entegre Edildiği Örnekler**

Bu bölümde, akıllı malzemelerin, tasarımın dış kabuğuna entegre edilmesi ya da farklı bir sistemle kabuğa bağlanması konu almaktadır. Bu çalışmada, dış duvarda, dış cephede, dış strüktürde kullanılan akıllı malzemeler, kabuğa entegre edilen akıllı malzemeler olarak adlandırılmıştır. Kabukta kullanılan akıllı malzemeler genel olarak ışık ve sıcaklık çevresel faktörüne bağlı olarak özellik değiştirmektedir. Bu bölümde örnek olarak Xicui Eğlence Merkezi, Arap Enstitüsü, House R 128 yapıları incelenmiştir.

### ***Xicui Eğlence Merkezi (Xicui Entertainment Center)***

Simone Giostra & Partners tarafından tasarlanan yapı (Şekil12), 2008 yılında Pekin’de inşa edilmiştir. Pekin 2008 olimpiyat alanının yakınında bulunan Xicui Eğlence Merkezi’nin karşılama cephesine entegre olan perde duvar, dünyadaki en büyük Led ekranına sahiptir (URL 11). Tasarlandığı andan itibaren reklam için oldukça popüler olan bu ekran, 60m X 30m ölçülerindedir. Perde duvar, Fotovoltaik panellerden oluşmakta, kendi enerjisini kendi üretebilmektedir. Yapının dış katmanı olan giydirme cephe ile bir iç katmanda bulunan lamine camlar arasında yerleştirilen Polikristal hücreler sayesinde hem aydınlanma konforu hem termal konfor sağlanmakta, üretilen fazla enerji ise depolanmaktadır. Bu sistemin çalışma prensibi, gün içerisinde enerji üretip gece bu enerji ile ışık üretme şeklinde olmaktadır.

### **Şekil 12**

*Xicui Eğlence Merkezi (URL 11)*

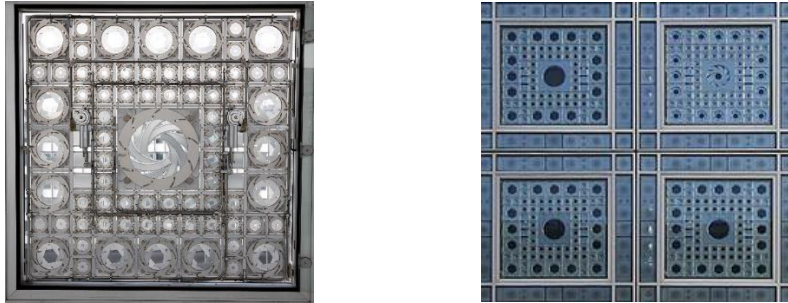


### ***Arap Enstitüsü (Insitut Du Monde Arab)***

1987 yılında Paris’te tasarlanan bu yapı (Şekil 13) sayesinde, mimarı Jean Nouvel, Ağa Han Mimarlık Ödülü’nü kazanmıştır (URL 12). Tamamen çelik ve camdan oluşan cephesiyle, günün her saatinde gökyüzü rengini insanlara sunmaktadır. Jean Nouvel’in, tasarım amaçları arasında özellikle, ışık faktörünün Arap mimarisindeki önemi sayesinde, bu projedeki en önemli elemanın da ışık olduğunu belirtmektedir.

**Şekil 13***Arap Enstitüsü (URL 13)*

Seine Nehri kıyısında inşa edilen bu yapının kuzey cephesi, Paris'in tarihi dokusuna bakmaktadır ve bu cephede tasarım açısından, antik kentle ilişki sürdürülmektedir. Güney cephesinde ise 27.000 adet açılıp kapanabilen sistem (Şekil 14) bulunmaktadır. Kullanılan bu hareketli cepheler sayesinde, içeriye optimum düzeyde güneş ışığı girmektedir. Arap ülkelerinde sık olarak kullanılan doğal havalandırma sağlayan açık bölmelere 'moucharabieh' (maşrabiye) denmektedir. 240 adet Maşrabiye'den (Şekil 14) oluşan bu tasarım, Arap kültürü ile yapıyı buluşturmaktadır. Açılıp kapanan sistemler, ilk başlarda güneş ışığına bağlı olarak hareket etseler de, sayı çokluğundan kaynaklı aksaklıklar yaşanmıştır; bunun sonucunda günümüzde, bilgisayar tarafından kontrol edilmektedirler (Akıncı, 2020).

**Şekil 14***Açılıp kapanan sistem (URL 14), Maşrabiye (URL 12)*

Şekil hafızalı alaşımların uygulanmasıyla elektrik tüketiminde azalma sağlanır, çünkü doğal havalandırma artar ve böylece binalarda, kullanıcı konforunu en üst düzeye çıkarmak için klimaya olan bağımlılık en aza indirilir. (Nessim, 2024).

**House R 128**

Werner Sobek tarafından tasarlanan yapı (Şekil 15), 2000 yılında Almanya'ya inşa edilmiştir. Dört katlı çelik iskeletten oluşmakta olan konut yapısı, geri dönüştürülebilir malzemelerden üretilmektedir (URL 15). Çatısındaki fotovoltaik paneller sayesinde kendi elektrik enerjisini üretebilmektedir. Mekanik havalandırma, akustik, havalandırma sistemlerini de doğal bir şekilde çözülmesi, yapıya sürdürülebilir bir yaklaşım sunmaktadır.

Werner Sobek, tasarladığı yapı için 'Kullanıcı kendini evde değil, şeffaf bir örtü içerisinde yaşıyormuş gibi hissetmektedir.' (URL 15) şeklinde bahsetmektedir. Tamamen cam kaplı bir cephe, üç katlı cam panellerden oluşmaktadır. Dış taraftaki cam ve ortadaki cam arasındaki hava boşluğuna, fazla güneş ışınını yansıtması fakat iç mekanda optimum ışığın sağlanması için metal kaplı folyo

yerleştirilmiştir. Bu kaplama ile entegre, cam arasındaki hava boşluğunun inert gazla doldurulması ile ısı kaybının düşük derecede olması sağlanmıştır. Bu teknoloji, kış aylarında, camın dış yüzeyinde buz kristalleri oluşurken, iç yüzeyi sıcaklığını korumaktadır. Bu şekilde yaz ve kış aylarında da termal konfor sürdürülmektedir.

**Şekil 15**

*House R 128 (URL 15)*



Çalışmada yapı kabuğu elemanları olan cephe, çatı ve kabuklarda kullanılan akıllı malzemeler incelenmektedir. Dış etkenlere direkt olarak etkilemedikleri döşeme ve duvar elemanlarında kullanılan akıllı malzemeler incelenmemiştir. İncelenen yapılar ile birlikte, kullanılan akıllı malzemeler ve yapı kabuğunun hangi elemanında kullanıldığı tablo haline getirilmiştir (Tablo3).

**Tablo 3**

*İncelenen yapılar (Yazar tarafından uyarlanmıştır.)*

Yapının adı	Kullanıldığı Yapı Elemanı	Kullanılan akıllı sistem
Cern Globe of Science and Innovation Binası	Çatı	Elektrokromik cam
Brasilia Stadyumu	Çatı	Fotokatalitik membran Fotovoltaik panel
Kaohsiung Stadyumu	Çatı	Fotovoltaik Panel
Bloom Pavilyonu	Kabuk	Şekil hafızalı levha
Hygroskin Pavilyonu	Kabuk	Neme duyarlı kompozit
Ara Pacis Museum	Kabuk	Kendi kendini temizleyen malzeme
Xicui Eğlence Merkezi	Cephe	LED
Arap Enstitüsü	Cephe	Şekil hafızalı alaşım
House R 128	Cephe	Faz değiştiren malzeme

## SONUÇ

Günümüzdeki kentleşme problemlerinin getirmiş olduğu küresel ısınma, iklim değişiklikleri ve ısı adaları gibi sorunlara çözüm olarak sürdürülebilirlik ilkesi yaygınlaşmaya başlamıştır. Şehirlere ikon olmuş çağdaş yapılarda akıllı malzemelerin kullanımı artmış geleneksel malzemelerin kullanımı devam etse de akıllı malzemelerin kullanımına eğilim gösterilmektedir. Çalışmanın ana konusu, yapının enerji performansına direkt olarak etki eden yapı elemanlarının (çatı, cephe, kabuk) tasarımında, çevresel uyaranlara cevap veremeyen geleneksel malzeme ve sistemler yerine, daha az enerji tüketen, yenilenebilir, çevresel uyaranlara cevap verebilme yeteneğine sahip akıllı malzemelerin tercih edilmesi gerekliliğidir.

Çalışmada yapı kabuğunda akıllı malzemelerin uygulandığı örnekler ele alınmıştır. Seçilen örnekler, dünyanın farklı yerlerinde bulunan yapılardan oluşmaktadır. Farklı akıllı malzeme ve sistemlerin bulunduğu bu yapılar, akıllı malzemelerin ve sistemlerin kullanıldığı yapı elemanına göre sınıflandırılmış ve tablo haline getirilmiştir.

İnceleme sonucunda, akıllı malzeme kullanımının olduğu yapıların, aynı zamanda sürdürülebilir hedefli yapılar olması dikkat çekmektedir. Yapı kabuklarına direkt olarak entegre ya da yapı kabuğuna bir sistemle entegre olabilen akıllı malzemelerin çok çeşitli olmaları ve kullanıcı konforuna yönelik sorunları çözebilmeleri gibi avantajlarından kaynaklı, yapılarda kolaylıkla ilişkilendirilebilmektedirler. Akıllı malzemeler sayesinde, yapılarda enerji tüketiminin azaldığı bu bağlamda da günümüz sorunlarını çözebildikleri öngörülmektedir.

Yapılarda sürdürülebilirlik oldukça önem kazanan bir kavram olmaktadır. Bu bağlamda enerji etkin, yeşil ve sürdürülebilir bina tasarımları için akıllı malzemelerin ve akıllı sistemlerin görevi büyüktür. Yapı uygulamalarında, akıllı malzemelerin ve akıllı sistemlerin kullanımının artması ile sürdürülebilirlik ilkeleri çözüm bulmakta yapılar ihtiyaç duydukları enerjiyi kendileri üretmektedir.

### **Yazar Katkıları**

Araştırma Tasarımı (Ayşe Zülal Okcu, Mustafa Dereli)

Veri Toplama (Ayşe Zülal Okcu, Mustafa Dereli)

Araştırma - Veri Analizi - Doğrulama (Ayşe Zülal Okcu, Mustafa Dereli)

Makalenin Yazımı (Ayşe Zülal Okcu, Mustafa Dereli)

Metnin Tashihi ve Geliřtirilmesi (Ayşe Zülal Okcu, Mustafa Dereli)

### **Finansman**

Yazarlar bu çalışma için finansal destek beyan etmemiřtir.

### **ıkar atışması**

Yazarlar arasında çıkar atışması bulunmamaktadır.

## REFERANSLAR

- Abeer, S.Y.M. (2017). Smart materials innovative technologies in architecture: towards innovative design paradigm. *Energy procedia*, 115, 139-154. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.014>
- Addington, J., Saeedi, H., Addington, D. (2005). The course of cognitive functioning in first episode psychosis: Changes over time and impact on outcome. *Schizophrenia Research*, 78(1), 35-43. <https://doi.org/10.1016/j.schres.2005.05.008>
- Akhras G. (2000). Smart Materials and Smart Systems For The Future. *Canadian Military Journal*, Autumn 2000, 25-32. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:14125349>
- Akıncı A. (2020). Malzeme Kullanımıyla Akıllanan Binalar (Tez no. 52525) [Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi]
- Bahl S., Nagar H., Singh I., Sehgal S. (2020). Smart materials types, properties and applications: A review. *International Conference on Aspects of Materials Science and Engineering*, 28, 1302-1306. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.505>
- Bogue R. (2014). Smart materials: are view of capabilities and applications. *Assembly Automation*, 34, 16–22. <https://doi.org/10.1108/AA-10-2013-094>.
- Büyükkahraman E. (2022). Akıllı Malzeme Teknolojisinin Ortamlara Etkisi: Akıllı Evler. (Tez no. 732804) [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi]
- Çakmak, Ö. & Kaya, M. (2017). Akıllı Malzeme Şekil Hafızalı Alaşımların Termodinamiği. *Nevşehir Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 6(2), 541-555. <https://doi.org/10.17100/nevbiltek.311306>
- Çiçek N. (2021). Cephelelerde Kullanılan Akıllı Malzemeler İçin Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemi İle Bir Seçim Modeli Önerisi (Tez no. 705072) [Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi]
- Çüçen, A. & Solak, A. (2023). Çağdaş Mimarlık Bağlamında Akıllı Yapı Malzemelerinin Kullanımının Araştırılması. *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, 6(1), 13-22. <https://doi.org/10.51764/smutgd.1203403>
- Elkhatay Y. (2023). Kinetic applications of smart materials in architecture: A descriptive analysis. *Journal of Engineering Research*, 7(6), <https://digitalcommons.aaru.edu.jo/erjeng/vol7/iss6/18>
- Ergin Ö. (2019). Uyarlanabilir Cephe Sistemlerinde Güncel Yaklaşımlar ve Akıllı Malzemelerin Kullanımı (Tez no.606170) [Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi]
- Nessim, M.A. (2015). Biomimetic architecture as a new approach for energy efficient buildings through smart building materials. *Journal of Green Building*, 10(4), 73–86, Doi: 10.3992/jgb.10.4.73
- Orhon A. (2013). Sürdürülebilir Mimaride Akıllı Malzeme Kullanımı. *VIII. Uluslararası Sinan Sempozyumu*, Edirne, Türkiye, 297-304. <https://www.researchgate.net/publication/309637929>
- Roy R., Bhakta D., Roy S. (2023). Applications and Types of Smart Materials. A. Kumar, P. Kumar, A. K. Svastava, V. Goyat, *Modeling, Characterization, and Processing of Smart Materials*, 266-296. DOI: 10.4018/978-1-6684-9224-6.ch013
- Suyabatmaz, E. & Aytar Sever, İ. (2023). İç Mekanlarda Biyomorfik Yaklaşımlarla Parametrik Tasarım. *Yapı Bilgi Modelleme*, 5(1), 26-38. <https://doi.org/10.53033/ybm.1132835>
- Şensan, S. Ö. (2019). Use of smart materials in the design of dynamic intelligent surfaces. (Tez no.239188) [Yüksek Lisans Tezi, İzmir Ekonomi Üniversitesi]
- Topal, A. S. & Arpacıoğlu, Ü. (2020). Mimarlıkta Akıllı Malzeme. *Journal of Architectural Sciences*



*and Applications*, 5(2), 241-254. <https://doi.org/10.30785/mbud.784518>

Tuna Kayılı, M. (2020). Akıllı Malzemelerin Kamu Yapılarında Uygulama Önerileri: Karabük Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* (18), 805-817.

<https://doi.org/10.31590/ejosat.690675>

URL1 <https://archello.com/project/torre-de-especialidades>

URL2 <https://www.denizhummasi.com/geceleri-parlayan-bisiklet-ve-yuruyus-yollari/>

URL3 <https://www.smartglassinternational.com/projects/the-globe-of-science-innovation/>

URL4 <https://gbplusamag.com/net-zero-stadium/>

URL5 <https://www.archdaily.com/527293/brasilia-national-stadium-gmp-architekten>

URL 6 <https://architectuul.com/architecture/kaohsiung-stadium>

URL7 [https://www.architectmagazine.com/technology/welcoming-nature-as-a-design-partner\\_o](https://www.architectmagazine.com/technology/welcoming-nature-as-a-design-partner_o)

URL8 <https://www.archdaily.com/424911/hygroskin-meteorosensitive-pavilion-achim-menges-architect-in-collaboration-with-oliver-david-krieg-and-steffen-reichert>

URL9 <https://en.wikiarquitectura.com/building/ara-pacis-museum/>

URL 10 <https://shop.nanografi.com.tr/blografi/doann-kendi-kendini-temizleyen-mekanizmas-lotus-etkisi-nanografi/>

URL 11 <https://www.archdaily.com/245/greenpix-zero-energy-media-wall>

URL 12 [https://fr.wikipedia.org/wiki/Institut\\_du\\_monde\\_arabe](https://fr.wikipedia.org/wiki/Institut_du_monde_arabe)

URL 13 <https://www.hoteldesgrandshommes.com/monuments/institut-du-monde-arabe/>

URL 14 <https://www.imarabe.org/fr/informations-pratiques/horaires>

URL 15 <https://www.wernersobek.com/focus/r128/>

## **EXTENDED ABSTRACT**

The principle of sustainability has become widespread as a solution to problems such as air, water and environmental pollution, global warming, climate change and heat islands caused by today's urbanization problems. The transition from traditional materials to smart materials is supported by the change in building materials with the development of technology. Smart materials are gaining a place in the literature both because they support the sustainable approach and because they are more user-oriented than traditional materials. The main subject of this study is smart materials, which have the ability to self-repair, detect and respond to environmental stimuli. Smart materials are reversible materials that react to outside environmental stimuli in the form of shape or energy transformation and then return to their original state. The use of these innovative materials, which are aimed at environmental factors, in the building envelope, which are directly exposed to external factors, is of great importance. In this context, the study examines smart materials used in the building envelope elements of facade, roof and shell. Smart materials used in floor and wall elements that are not directly exposed to external factors are not analyzed. Cern Globe of Science and Innovation Building, Brasilia Stadium, Kaohsiung Stadium, Bloom Pavilion, HygroSkin Pavilion, Ara Pacis Museum, Xicui Entertainment Center, Arab Institute and House R 128 were selected as the buildings analyzed. The smart materials used in the building shells of these selected buildings were examined and their properties were explained. As a result of the analysis, it is noteworthy that the buildings where smart materials are used are also sustainable targeted buildings. Smart materials, which can be directly integrated into the building shells or integrated into the building shell with a system, can be easily associated with buildings due to their advantages such as their wide variety and their ability to solve problems related to user comfort. With smart materials that do not require any control system, it is predicted that energy usage in buildings will be reduced and in this context, they can solve today's problems.