

# MİMARLIK PROJELERİNDE AKILLI MALZEME VE KULLANIM DETAYLARI

SMART MATERIALS AND USE DETAILS IN ARCHITECTURAL PROJECTS

Mehmet Serkan YATAĞAN\*

## ÖZET

Akıllı malzemeler bir nesnenin özelliklerini değiştirme yeteneğine sahip olan yeni nesil malzemelerdir. Yenilikçi olan bu malzemeler genellikle bir uyarana bağlı olarak çeşitli tepkiler gösterme prensibine dayalı çalışmaktadırlar. Yenilikçi bir çözüm önerisi sunmaları ve üzerlerine yapılan bilimsel çalışmalara bağlı gelişime açık malzemeler oldukları ve gelecekte birçok alanda kullanımının öne çıkacağı söylenebilir. Akıllı malzemeler, dış uyarılara - fiziksel, kimyasal veya biyolojik- karşı niteliğini değiştirerek ve/veya enerji dönüşümü yaparak yanıt veren malzemelerdir. Akıllı malzeme yaklaşımı mimarlığa uygulandığında çevresel uyarılara yanıt vererek ortam şartlarına uyum gösteren yapı anlayışı ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, sürdürülebilirlik açısından da akıllı malzemelerin kullanılması son zamanlarda önem kazanmıştır ve mimari projelerde kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışma kapsamında; akıllı malzemelerin tanımı, sınıflandırılmasının yanı sıra mimarlıkta akıllı malzemenin tanımı ve sınıflandırılması konuları açıklanacak, akabinde mimarlık uygulamalarında yapılan yenilikçi malzeme çözüm önerilerine değinilecektir. Tüm bunlar anlatıldıktan sonra; bu çalışmada asıl önem teşkil eden kısım olan, seçilmiş beş farklı akıllı malzeme uygulamasının uygulama, kullanım, montaj ve detayları incelenecek ve açıklanacaktır. Sonuç olarak akıllı malzemeler mimari tasarıma çok fazla seçenek sunacak ve enerji verimliliğinin doğru bir şekilde kullanılmasını sağlayacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Akıllı Malzemeler, Faz Değiştiren, Fotokromik, Şekil Hafızalı

## ABSTRACT

Smart materials are new generation materials that have the ability to change the properties of an object. These innovative materials generally work on the principle of showing various reactions depending on a stimulus. It can be said that they offer an innovative solution and are open to development based on scientific studies, and their use in many areas will come to the fore in the future. Smart materials that respond to external stimuli - physical, chemical or biological - by changing their properties and/or converting energy. When the smart material approach is applied to architecture, a concept of building that adapts to environmental conditions by responding to environmental stimuli emerges. In addition, the use of smart materials has recently gained importance in terms of sustainability and has begun to be used in architectural projects. This scope of work, the definition and classification of smart materials in architecture will be explained, and then innovative material solution suggestions in architectural applications will be discussed. After all this is explained; The application, usage, assembly and details of five different selected smart material applications, which are the most important part of this study, will be examined and explained. As a result, they ensure that smart materials will offer many options for architectural design and that energy efficiency will be used correctly.

**Keywords:** Smart Materials, Phase Changers, Photochromic, Shape Memory

Geliş Tarihi/Received: 17 Şubat 2024  
Kabul Tarihi/Accepted: 27 Haziran 2024

Derleme Makalesi/Review Article

\*  
Mimarlık Bölümü,  
İstanbul Teknik Üniversitesi,  
İstanbul / Türkiye

Department of Architecture,  
Istanbul Technical University,  
Istanbul / Turkey

ORCID: 0000-0002-6642-6579

yataganm@itu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

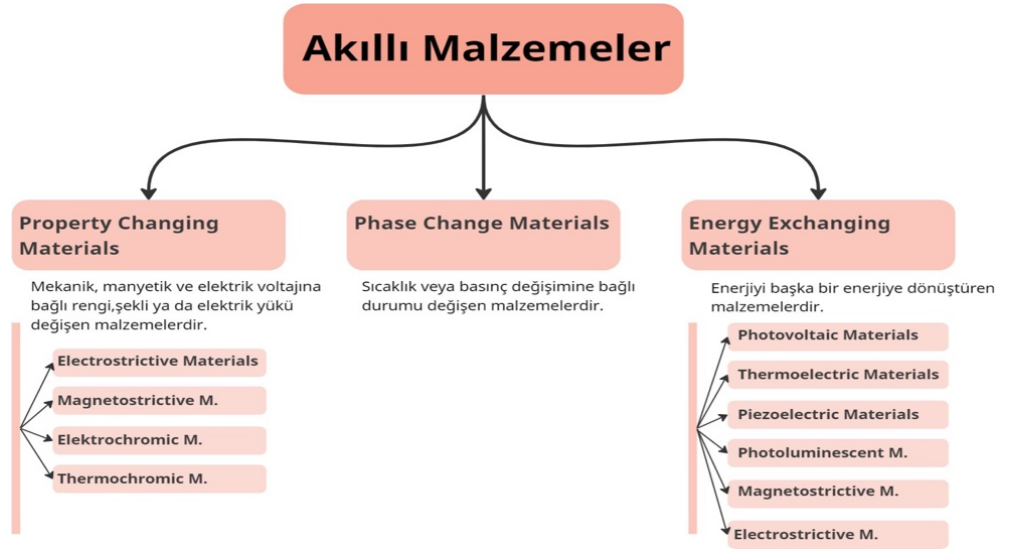
Fiziksel veya kimyasal etkilere tepki olarak, şekillerini veya renklerini geri dönüşümlü olarak değiştirebilen malzemelere akıllı malzemeler denir.

Dış ve iç çevresel etkilere cevap verme ve uyum sağlama yeteneğine sahiptirler. Bu etkiler, kimyasal, elektriksel ve manyetik olabilmektedir.

Schodeck akıllı malzemeleri 3 kategoride incelemiştir; Bunlar,

- Özellik Değiştiren Malzemeler
- Faz Değiştiren Malzemeler
- Enerji Dönüştüren Malzemeler'dir (Allobeidi & Alsarraf 2018).

Sınıflandırma Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Akıllı Malzemelerin Sınıflandırılması (Allobeidi & Alsarraf 2018)

Akıllı malzemeler; sıcaklık değişimi, basınç farkları, UV ışınları, manyetik ve elektriksel alan, neme göre tepki vererek renk değişimi, şeffaflık, sertlik ve görünüm değişimlerine uğrarlar.

Karalı (2019) tarafından yapılmış olan çalışmada; akıllı yapı malzemelerinin kamu yapılarında kullanımının etkileri araştırılmıştır. Çalışma kapsamında bazı kamu yapıları akıllı yapı malzemeleri ile yeniden kurgulanmıştır. Çalışma sonucunda ele alınan kamu yapıları üzerindeki yeni malzeme kurgulamaları sonucunda çıkan analizler ve görseller incelenmiş ve akıllı malzeme kullanımı ile yapıların işlevselliği, görsel algısı, ısı ve görsel konforu ile çevre koşullarına uyum ve enerji etkinliğinin artırılmasında etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Özgönül Şensan (2019) tarafından yapılmış olan yüksek lisans tez çalışmasında; akıllı yapı malzemelerin sürdürülebilir mimarlıkta kullanımının incelenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, çalışma kapsamında sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir mimarlık kavramlarını incelenerek mimarlıkta kullanılacak olan akıllı yapı malzemeleri belirlenmiş ve bu malzemelerin sürdürülebilirlik açısından yapılarda kullanımını araştırılmıştır.

Yüksel Ayvaz (2019) tarafından yapılmış olan yüksek lisans tez çalışmasında; akıllı malzemelerin türleri,

özellikleri, tarihçesi, kullanım alanları, avantajları ve dezavantajları incelenerek bu malzemelerin uygulama örnekleri analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda akıllı malzemelerin farklı özelliklere sahip olduğu ve daha çok dış mekânda tercih edildiği, çeşitli malzemelerle birlikte uygulanabildiği, en yaygın kullanılan malzeme türünün adezyon değiştiren akıllı malzeme olduğu tespit edilmiştir.

Dobrescu (2021) yapmış olduğu çalışmasında, inşaat ve mimaride kullanılacak malzeme türlerinin genel perspektiften bakarak, yenilikçi teknikler ile üretilmekte olan akıllı yapı malzemelerinin mimaride kullanılabilirliğini geliştirecek önerilerde bulunmuştur.

Gelişen teknoloji ile birlikte hayatımıza giren akıllı malzemeler, mimari tasarımda da kullanılmaya başlandı. Özellikle sürdürülebilir tasarımların öneminin artması ile akıllı malzemelerin bu tasarıma yararlı olduğu ortaya çıkmaktadır. Doğal kaynakları korumak, hava kirliliğinin malzemeler üzerinde etkisini azaltmak ve farklı tasarımlar oluşturmak için tasarımda akıllı malzemeleri kullanmaya başlanılmıştır. Bu çalışmada, son zamanlarda gelişen teknoloji ile mimarlıkta kullanılan birkaç akıllı malzeme tanıtılmıştır. Daha sonra bu malzemelerin kullanıldığı yapı örnekleri incelenerek akıllı malzemelerin mimari tasarıma etkileri ve faydaları uygulama yöntemleri ile incelenmiştir.

## 2. AKILLI MALZEME ÇEŞİTLERİ NELERDİR?

### 2.1. Özellik Değiştiren Malzemeler

Mekanik, manyetik ve elektrik voltajına bağlı rengi, şekli ya da elektrik yükü değişen malzemelerdir.

- Faz Değiştiren Malzemeler

Sıcaklık veya basınç değişimine bağlı durumu değişen malzemelerdir.

- Enerji Dönüştüren Malzemeler

Enerjiyi başka bir enerjiye dönüştüren malzemelerdir.

### 2.2. Mimarlıkta Akıllı Malzemeler

Gün ışığı, parlaklığın korunumu, ses ve gürültü yalıtımı, iç ve dış görünüm değişikliği, ventilasyon ve sıcak soğuk toplama (depolama), kirliliğin önlenmesi gibi birtakım özellikleri sağlayan malzemelerdir.

Schodek mimarlıkta kullanılan akıllı malzemeleri 3 kategoride incelenmiştir. Bunlar;

- Çift Cephe
- İnteraktif Cephe
- Kinetik Cephe

olarak sınıflandırılmaktadır (Addington & Schodek, 2005).

Addington ve Schodek (2005), akıllı malzemeleri iki gruba ayırmaktadır. Birinci gruptaki malzemeler, ortamdaki dış uyaranlardaki bir değişime doğrudan tepki olarak (kimyasal, elektrik, manyetik, mekanik veya termal) özelliklerinden bir veya daha fazlasında değişikliklere uğramaktadır. Örneğin, bir fotokromik malzeme, yüzeyindeki ultraviyole radyasyon miktarındaki bir değişime tepki olarak rengini değiştirmektedir. Öte yandan, ikinci tip akıllı malzeme enerjiyi bir formdan diğerine dönüştürmektedir. Bu sınıf; fotoelektrik, termoelektrik, piezoelektrik, fotoluminisans ve elektrostriktif davranış türlerine sahip materyalleri içermektedir (Addington & Schodek 2005).

#### 2.2.1. Nitelik Değişimi Yapan Akıllı Malzemeler

Bu gruptaki akıllı malzemeleri incelediğimizde, akıllı malzemelerin bir veya birkaç niteliğini (renk, şekil, sertlik, iletkenlik, akışkanlık, hal, faz vb.) tersinir -eski haline geri dönebilecek biçimde dış uyaranların (ışık, sıcaklık, basınç, elektrik alan, manyetik alan, kimyasal ortam vb.) etkisiyle değiştirme özelliği olduğunu görmekteyiz. Değişiklikler doğrudan ve tersinirdir (geri dönüşümlüdür). Bu değişikliklerin meydana gelmesi için harici bir kontrol sistemine gerek yoktur. Sürdürülebilirlik açısından faydalı nitelik değişimleri yaparak bu malzemelerin dış çevreye göre sürekli tepki vermesiyle beraber kullanılması çevreye ve canlılara birçok yarar sağlamaktadır. Bu yarar yapının enerji tüketimini azaltmak, yapı fiziği niteliklerini iyileştirmek, kolay kontrol imkânına ulaşmak, yaşam ömrünü uzatmak, bakım giderlerini düşürmek, canlıların konfor şartlarını iyileştirmek gibi vb. birçok yolla sağlanabilmektedir.

##### 2.2.1.1. Fotokromik Malzeme

Fotokromik malzemeler, fotokromikler ve UV'ye duyarlı malzemeler, ışığa tepki olarak renklerini geri dönüşümlü olarak değiştirebilen malzemeler veya bileşenlerdir (Lyons et al. 2010). Fotokromik camlar, ultraviyole veya kısa dalga görünür ışığa duyarlı gümüş halojenür kristalleri içermektedir. Rengin koyuluğu doğrudan gelen ışığın yoğunluğu ile ilgilidir ve tamamen geri dönüşümlüdür. Binalarda kullanım için bu malzemeler, iç ışıktan ziyade güneş ışınımındaki değişikliklere otomatik olarak tepki vermeleri dezavantajına sahiptir (Ritter, 2007).

### 2.2.1.2. Termokromik Malzeme

Termokromik malzemeler, sıcaklığa tepki olarak optik özelliklerini (ör. Şeffaflık) geri dönüşümlü olarak değiştirebilen malzemeler veya bileşenlerdir (Lyons et al. 2010). Termokromik malzemeye bir termal enerji (ısı) girişi malzemenin moleküler yapısını değiştirmektedir. Yeni moleküler yapı, orijinal yapıdan farklı bir spektral yansıtma özelliğine sahip olmakta; sonuç olarak, malzemenin "rengi" -elektromanyetik spektrumun görünür aralığındaki yansıyan ışınımı- değişmektedir (Addington & Schodek 2005).

Birçok akıllı malzemenin doğal olarak sensör işlevi görebileceğini görebilmekteyiz. Sensörler olarak görevlerinde akıllı bir malzeme, algılanabilir bir tepki oluşturarak ortamındaki bir değişime yanıt vermektedir. Böylece, bir termokromik malzeme, renk tepkisi yeteneği vasıtasıyla bir ortamın sıcaklığındaki bir değişikliği algılamak için doğrudan bir cihaz olarak kullanılabilir.

Kromofor olarak da bilinen elektrokromik malzemeler, bir voltaj uygulandığında uygulanan yüzeyin optik rengi veya opaklığı etkilenen malzemelerdir (Monk, et.al. 2007). Metal oksitler arasında, tungsten oksit (WO<sub>3</sub>) en çok incelenen ve iyi bilinen elektrokromik malzemedir. Diğerleri molibden, titanyum ve niyobyum oksitleri içerir; ancak bunlar optik olarak daha az etkilidir.

Elektrokromizm, elektrokromik pencerelerin veya "akıllı cam" ın üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır ve daha yakın zamanlarda sahteciliğe karşı sistemler olarak kağıt substrat üzerinde ambalaja entegre elektrokromik görüntüler kullanılmaktadır. NiO malzemeleri, tamamlayıcı elektrokromik cihazlar için, özellikle akıllı pencereler için karşıt elektrotlar olarak geniş çapta incelenmiştir.

Elektrokromik malzemelerin çalışma prensibi, üzerinde belirli bir voltaj uygulayarak malzemeye elektrik yüklenmesiyle ya da bu elektrik yükünü kaybetmesiyle beraber gerçekleşmektedir. Malzemeye uygulanan voltajın pozitif olması durumunda malzeme rengini kaybederek saydamlaşmaya başlamakta, malzemeye uygulanan voltajın negatif olmasıyla da malzeme rengini geri kazanmaktadır. Elektrokromik oksit sınıfında yer alan tungsten oksit malzemesi çok katmanlı bir biçimde 1 mikron kalınlığında cam üzerine kaplanarak, üzerine 1V ile 5V arasında gerilim uygulandığı zaman cam yüzeyi ışık geçirgenliğini kaybederek renkli olmaya başlamaktadır. Cama uygulanan gerilim azaltılmaya başlandığı zaman ise malzeme tekrar eski berrak haline gelerek ışık geçirgenliği artmaktadır. Bu minvalde 'ayarlanabilir-kullanıcı ayarlı camlar' çeşitli amaçlar, uygulamalar için üretilebilmektedir.

### 2.2.1.3. Fotokatalitik Malzeme

Kentsel merkezler; yüksek yoğunluklu sanayileşme, içten yanmalı araç trafiği ve civarlardaki elektrik üretimi nedeniyle genellikle düşük hava kalitesine sahiptir. Bu kötü hava kalitesi, fotokimyasal duman, zayıf görünürlük ve bir sürü zararlı sağlık etkisi gibi olumsuz sonuçlar doğurabilmektedir. Fotokimyasal duman; güneş ışığından gelen fotonlar ile azot dioksit, uçucu organik bileşikler (VOC), oksijen ve ozon gerektiren bir dizi kimyasal reaksiyon sonucu oluşmaktadır. Dumanın etkileri, ormanlara ve tarımsal ürünlere verilen zararın yanı sıra göz ve solunum yollarında tahriş, görüşün azalması, ozon birikimi ve maruziyeti olarak sayılabilmektedir. Fotokimyasal dumanın başlatıcılarına engel olmak, binaların çevreyi iyileştirmede aktif bir rol oynayabilmelerinin bir yolunu sunmaktadır.

Bu hedefe ulaşmaya yardımcı olabilecek yenilikçi bir teknoloji fotokatalitik çimentodur. Azot ve kükürt oksitler, karbon monoksit ve uçucu organik bileşikler (VOC) gibi yaygın hava kirleticileri ile reaksiyona girmek ve nötrale etmek için gün ışığını kullanmaktadır; reaksiyon betonun yüzeyinde gerçekleşmektedir ve ortaya çıkan inert nitratlar elle veya yağmurla yıkanabilmektedir. Parlak ve berrak bir günde, fotokatalitik işlem azot oksitleri, aldehytleri, benzenleri ve klorlu aromatik bileşikleri %90'a kadar ortadan kaldırmaktadır. Binada fotokatalitik çimentoların kullanımı ile ilgili araştırmalar on yılı aşkın bir süredir ilerlemektedir ve bu gelişen teknoloji en çok kaldırım ürünlerinde bulunmaktadır (Nikolov & Fox 2014).

Fotokatalitik malzemelerin yararlı etkisi betondan ayrı olarak seramik yüzey kaplamalarında, cam ürünlerinde, duvar kâğıtlarında, dış cephe boyalarında, yapı membran ürünlerinde de ince filmlere kaplama veya pigment olarak katma yoluyla kazandırılabilir.

### 2.2.2. Faz Değiştiren Malzeme

Yapı malzemelerinde kullanılan faz değiştiren malzemeler (PCM) oda enerji tasarrufunu, ısı yalıtım performansını ve insan konforunu artıran malzemeler olarak sayılmaktadır. Tavanlarda, duvar panellerinde, ısı yalıtım levhalarında, ısıtma zeminlerinde ve diğer endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Ayrıca stadyumlarda yıl boyunca stadyumların her daim yeşil kalmasını sağlamak için kullanılabilirler.

PCM malzemeli cephe sistemleri gibi uygulamalar veya harç ve dolgu malzemesine katılan polimer olarak mikro kapsüllenmiş parafin mumu esaslı PCM katkısı, faz değiştiren malzemelerin ısı depolama özelliklerini kullanarak yapının daha az enerji tüketmesini sağlamaktadır (Cloudhem, 2020).

### 2.2.3. Enerji Dönüşümü Yapan Akıllı Malzemeler

İkinci bir genel akıllı malzeme sınıfı, enerjiyi bir formdan başka bir formdaki enerjiye dönüştürenlerden oluşmaktadır. Bu sınıftaki akıllı malzemeler ışık, kuvvet, ısı gibi dış bir uyarandan aldıkları enerjiyi diğer bir enerji türüne tekrar tekrar, doğrudan ve tersinir bir biçimde çevirmektedirler. Örneğin fotoelektrik malzemeler üzerine gelen ışık enerjisini elektrik enerjisine çevirmektedir. Normalde faydalanılmayacak bir enerji formunu binanın en ihtiyaç duyduğu enerjiye çevrilmesini sağlaması bu malzemelerin binalarda kullanımını önemli hale getirmektedir.

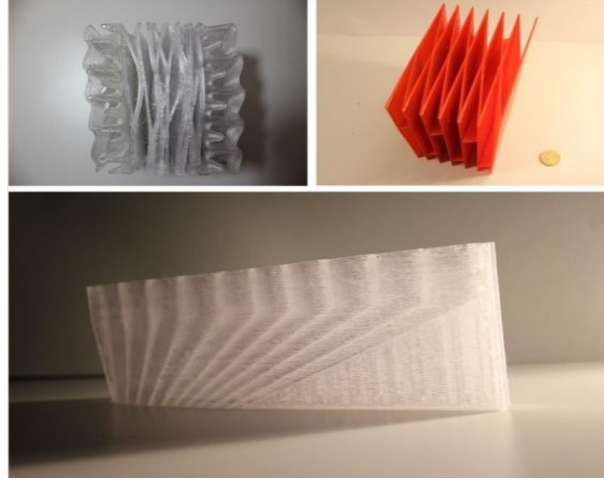
## 3. AKILLI MALZEMELER İÇİN YENİ ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Bu bölümde mimarlıkta akıllı malzeme kullanımına getirilmiş çözüm önerileri incelenecektir.

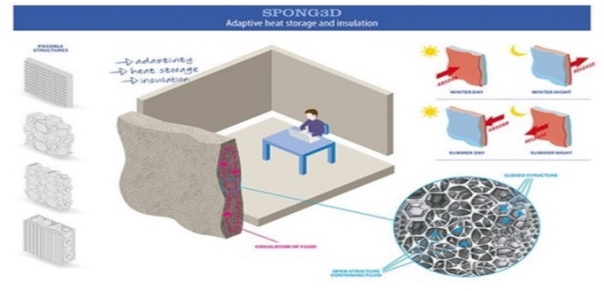
### 3.1. Spong3D

Spong3D, yıl boyunca farklı çevre koşullarına göre termal performansları optimize etmek için birden fazla işlevi entegre eden bir cephe sistemidir (Şekil 2-3). Delft Üniversitesi'nde araştırma projesi kapsamında geliştirilmiş bir modeldir. Aşağıdaki özellikleri içermektedir:

- Binanın iç ve dış bölümlerinde ısı transferini kontrol eder.
- Hava boşlukları ve ihtiyaç duyulan yerde ve zamanda ısı depolama sağlamak için hareketli bir sıvı (su artı katkı maddeleri) içerir.
- Hareketli sıvı, cephenin iç ve dış cephelerinde bulunan kanallardan akarak ısı depolaması sağlar.
- İhtiyaç halinde sıvı, ısıyı emmek ve serbest bırakmak için cephenin bir tarafından diğer tarafına aktarılabilir.



Şekil 2. Spong3D  
(<https://www.archdaily.com/920979/10-solutions-for-adaptive-walls-for-more-resilient-architecture>)



Şekil 3. Spong3D'nin mevsimlere ve hava koşullara bağlı tepkisi ve gözenekli yapısı  
(<https://www.archdaily.com/920979/10-solutions-for-adaptive-walls-for-more-resilient-architecture>)

### 3.2. Higromorfik Malzeme

Higromorfik malzemeler, neme duyarlı malzemelerdir ve ahşabın büzülmesi ve şişmesi prensibine dayanan sistemle neme, Şekil 4'te görüldüğü gibi tepki vermektedirler.

Bu durum kozalakların nem kaynaklı açılıp kapanmasıyla benzer bir durum olarak değerlendirilebilmektedir. Genellikle doğal kaynaklı malzemelerde görülmektedir.



Şekil 4. Higromorfik Malzeme Örneği  
(<https://www.archdaily.com/920979/10-solutions-for-adaptive-walls-for-more-resilient-architecture>)

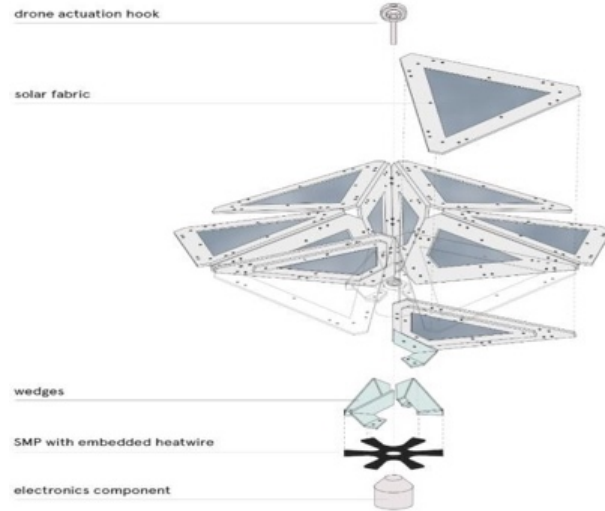
### 3.3. Şekil Hafızalı Polimerler

IAAC'tan (Katalonya İleri Mimari Enstitüsü) mimarlar, şekil hafızalı polimerler (SMP) kullanan üçgenleştirilmiş bir mozaikleme tasarımından oluşan duyarlı bir model olan "Translated Geometries" adında bir model oluşturulmuştur (Şekil 5).



Şekil 5. İlk hali ile hareket sonrası hali  
(<https://iaac.net/project/translated-geometries/>)

Malzeme uyarılara bağlı hareket etmektedir. Bu malzeme için iki ayrı araştırma çalışması yapılmıştır. İlk çalışma uyarana bağlı cevap vermektedir. Belirli miktarda bir şekil değişikliği görülmektedir. Genellikle sıcaklık uyarısına bağlı güneş kontrolü sağlamak için kullanılan bir modeldir. İkinci çalışma yine sıcaklığa bağlı güneş kontrolünde kullanılan malzeme bir drone ile bağlanmıştır. Bir insan tarafından kontrol edilebilir şekilde şekil değişikliğine olanak sağlayan bu çalışmanın daha yararlı olabileceği kanaatine varılmıştır (Şekil 6).

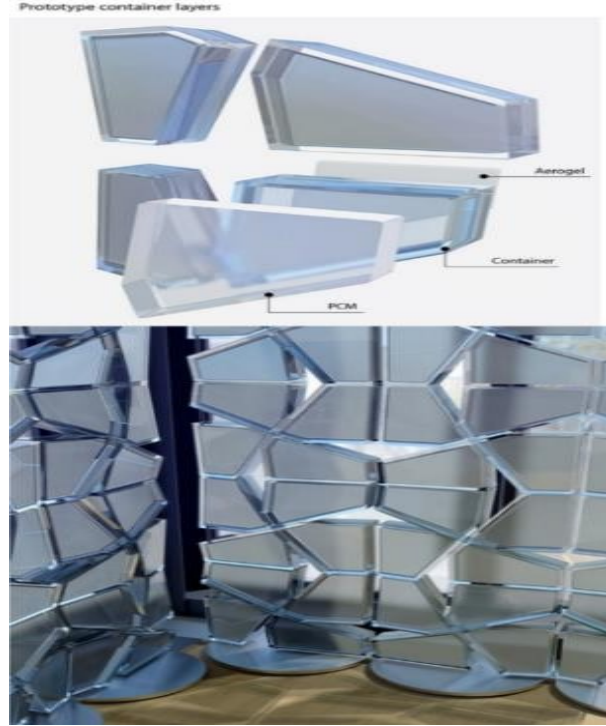


Şekil 6. Responsive Geometri Kesiti  
(<https://iaac.net/project/translated-geometries/>)

### 3.4. Double Face

Double Face, faz değiştiren malzemelerin (PCM) dinamik davranışından ve görünümünden yararlanan bir malzemedir. Öğeleri yarı saydamdır; dışarıdan en büyük ısı etkisinin olduğu dolu bir cam cephenin önüne yerleştirilmeleri amaçlanmıştır (Şekil 7).

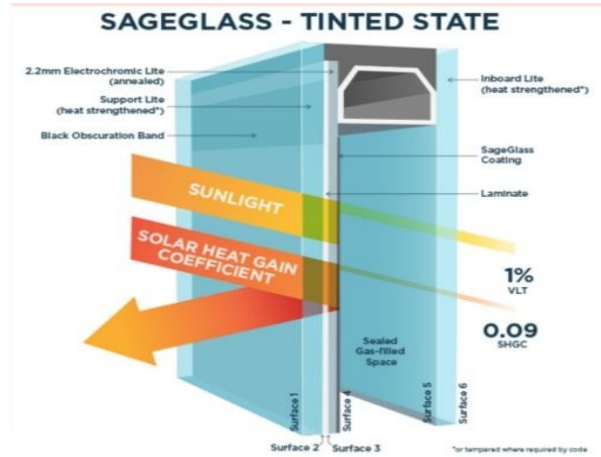
Sistem termal faydaları artırmak için uyarlanabilir. Termal kütleyi kışın güneş radyasyonuna maruz bırakmak (pasif ısı kazancı) ve onu yazdan korumak (pasif soğutma) ve dolayısıyla bir termal tampon görevi görmek için tasarlanmıştır. Kışın, PCM tarafı dışarıya bakar ve gün boyunca düşük kış güneşi tarafından termal olarak yüklenir. Gece saatlerinde içeriye doğru yönlendirilerek biriken ısıyı dışarı atar. Yaz aylarında, gündüzleri dış güneş gölgeleme ile birlikte, iç ısı yüklerinden gelen ısıyı depolar ve gece boyunca bu ısıyı gece havalandırması vasıtasıyla dış ortama vererek bir soğutma levhası görevi yapar.



Şekil 7. Double Face  
(<https://www.archdaily.com/920979/10-solutions-for-adaptive-walls-for-more-resilient-architecture>)

### 3.5. SageGlass

Elektrokromik özelliği olan bir camdır. Cam levha üzerine uygulanan gerilimi değiştirerek, rengini kontrol eden ve sonuç olarak ışık yoğunluklarını ve bu malzemeler aracılığıyla iletilen ultraviyole ve kızılötesi radyasyonu değiştirmeyi mümkün kılan sistemli bir cam türüdür. Kullanım amacı; bina kullanıcılarının doğal ışığı ve güneş ısı kazanımını aktif olarak kontrol etmesine, konforu artırmasına ve enerji tüketimini önemli ölçüde azaltmasına olanak tanımaktır. Renklendirme işlemi, ışık koşullarına tepki olarak otomatik olarak renklendirmek için sensörler kullanan akıllı bir kontrol sistemi tarafından yürütülür (Şekil 8).

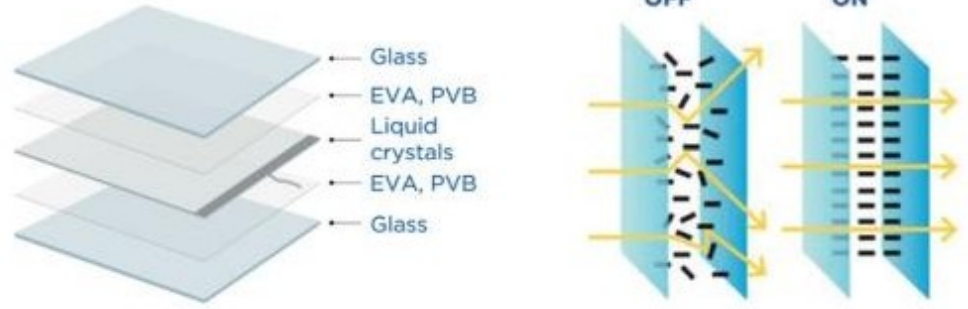


Şekil 8. SageGlass  
(<https://www.sageglass.com/smart-windows/product-overview>)

### 3.6. Priva-Litte

Opalesansın (şeffaflık ve yarı saydamlık) kontrolünü anında sağlayan cam çeşididir. Elektrikle çalışan, ışık geçirgenliğini değiştirmeden yarı saydamdan şeffafa dönüşen aktif bir camdır. Ana faydası, doğal ışığa erişimi korurken tam olarak mahremiyet elde etmektir (Şekil 9).

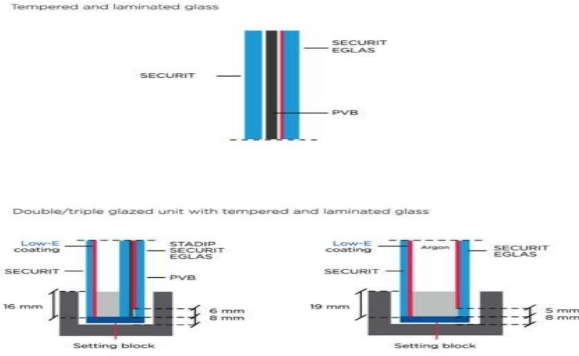




Şekil 9. Priva-Litte (<https://www.saint-gobain-glass.com/products/priva-lite>)

### 3.7. Eglas

Hem görsel hem de termal olarak daha fazla iç konfor sağlayan entegre bir görünmez ısıtma çözümü sunan cam türüdür. 1986 yılında Finlandiya’da geliştirilmesinin yanı sıra daha soğuk ülkeler için tasarlanmıştır. Camdan ısı sağlamak amacı olup, iki faktöre dayalı çalışmaktadır: İlki elektrik akımı ve camın bir yüzeyine uygulanan bir metal oksit tabakasına bağlı uygulama şekline ve cam yapısına bağlı olarak, odanın ısınmasına yardımcı olmaktadır. Diğeri ise; yağışmayı ve kar erimesini önleme işlevlerini değerine getirmektir (Şekil 10).



Şekil 10. Eglas Adaptif Cephe (<https://vibuma.com/en/blog/low-e-glass-easy-to-save-energy.thread1030.html>)

Panjur veya güneş perdelerine ihtiyaç duymadan, uyarlanabilir cam çözümüyle, güneş enerjisi kazanımını kontrol etmeyi sağlayan cam türüdür (Şekil 11).



Şekil 11. Adaptif Cephe (<https://www.archdaily.com/920979/10-solutions-for-adaptive-walls-for-more-resilient-architecture>)

## 4. MİMARLIKTA AKILLI CEPHE MALZEMESİ KULLANIM ÖRNEKLERİ

### 4.1. Futurium

Bina neredeyse sıfır enerjili bir bina olarak; çeşitli sergiler ve etkinlikler, ulusal ve uluslararası önem taşıyan çeşitli toplantılar için 8000 m2 toplam inşaat alanında tasarlanmıştır (Şekil 12).

Şekil 12. Futurium Cephe Fotoğraf  
(<https://www.arup.com/news-and-events/modularization-meets-variability-futurium-showcases-curtain-walling-of-tomorrow>)



Ön tarafta yarı saydam dokulu camı, arkada katlanmış bir metal reflektörle birleştiren prefabrike kasetlerden oluşan yenilikçi, modüler bir cephe sistemi geliştirilmiştir.

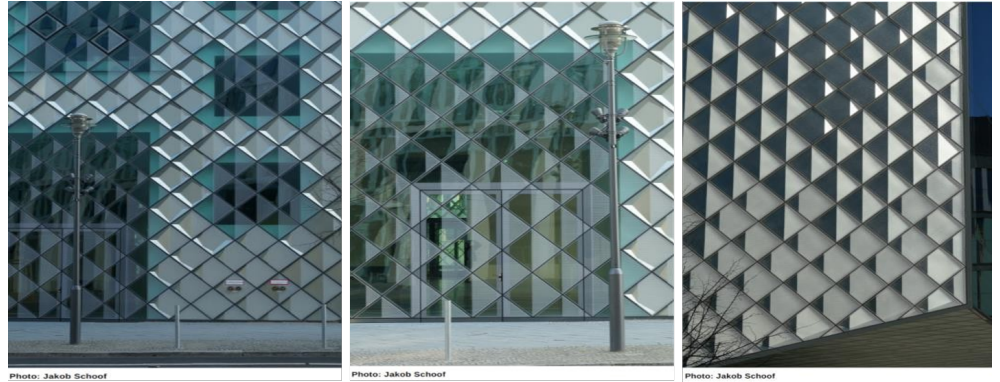
Yansıtıcı, yarı saydam ve şeffaf yüzeylerin optik etkileşimi, aydınlatma koşullarına ve görüş açısına bağlı olarak gün boyunca sürekli dönüşen pürüzsüz ve ışıltılı bir cephe elde edilmesi amaçlanmıştır. Sistemlerin değişkenliği, dikey, eğimli ve yatay cephe alanlarında görüşe, camları ve havalandırılmalı cephesi sorunsuz geçişlere, pencere ve kapıların kusursuz entegrasyonuna olanak tanıyacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 13).

Şekil 13. Futurium Yakın Cephe Fotoğrafı  
(<https://www.arup.com/news-and-events/modularization-meets-variability-futurium-showcases-curtain-walling-of-tomorrow>)



8000 adetten fazla olan kasa elemanları standart bir ürün olmayıp bu proje için özel olarak geliştirilmiştir. Her biri 70 x 70 cm ölçülerinde kasetlerden oluşmaktadır. Farklı katlanmış metal reflektörler ve seramik baskılı dökme camdan üretilmiştir. Bu camlar ışığın gelişyle değişen bir görünüm sağlamaktadır. Bazı yerlerde bu öne asılı elemanların arkasında sağlam duvarlar bulunurken bazı yerlerde de arkadaki ofislere ışığın girdiği açıklıklar vardır (Şekil 14).

Şekil 14. Futurium Yakın Cephe Fotoğrafı  
(<https://www.arup.com/news-and-events/modularization-meets-variability-futurium-showcases-curtain-walling-of-tomorrow>)



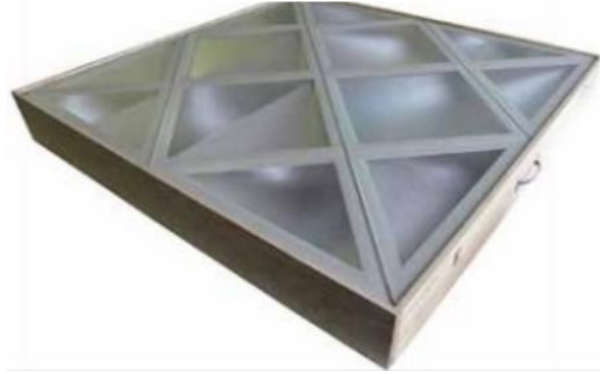
Açıklıklardaki baklava şeklindeki kasalar havalandırma amaçlı açılabilir. Cephede biri güneyde 8 x 28 m ölçülerinde, kuzeyde 11 x 28 m ölçülerinde olan iki büyük cam alanı tamamen farklı şekilde tasarlanmıştır.

1,0,7 m x 0,7 m'lik küçük karo ve baklava deseni için karolar kesildikten sonra, gün boyunca değişen ışık koşullarını sergileyen paneller elde edilmektedir. Hiçbir görünür mekanik sabitleme, geometrik niteliklere karşı gelmeyecek şekilde tasarlanıp montaj yapılmıştır. Derz genişliğinin maksimum 15 mm olması sağlanmıştır. Camın yapılandırılmış kenarları mümkün olduğunca görünmez olması, şeklinde sıralanarak yapılmıştır (Şekil 15).

Şekil 15. Cephedeki cam kasetlerin üretilme ve montaj aşamaları (<https://www.arup.com/news-and-events/modularization-meets-variability-futurium-showcases-curtain-walling-of-tomorrow>)

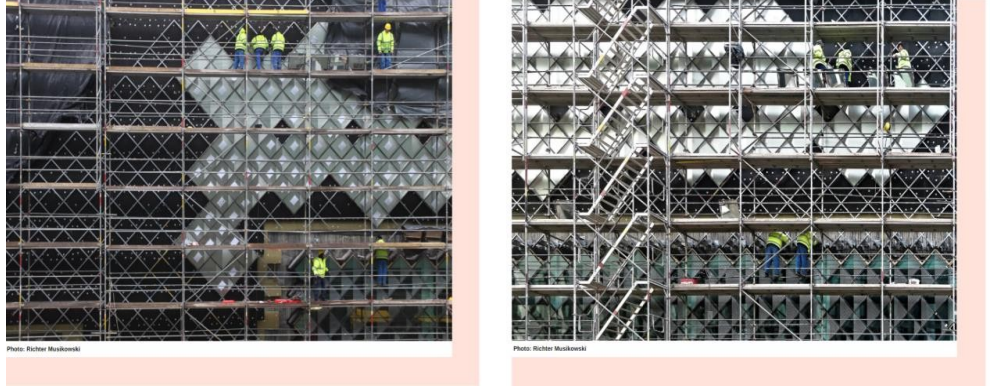


Camın tipi ve konfigürasyonu 6 mm şeffaf kanallı olarak belirlenmiştir. Kanallı camın bir tarafında seramik deseni nokta şeklinde serigrafi ile basılmış ve diğer tarafı dış mekân kurulumuna uygun özel bir seramik emaye uygulanmış ve ısı işlem görmüştür. 6 mm camın kenarlarına yapısal yapıştırmayı ve bazı cephe yapı bileşenlerini gizlemek için seramik emaye uygulanmıştır (Şekil 16).



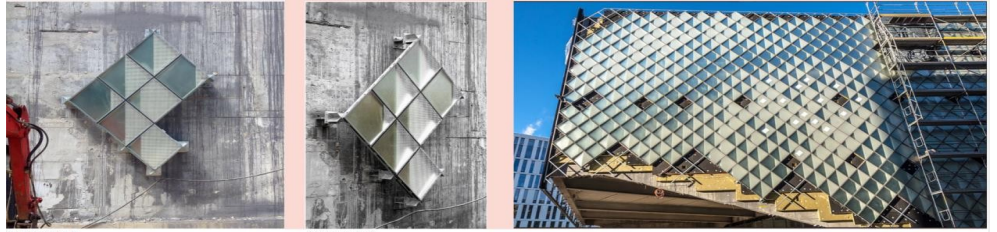
Şekil 16. Kaset sistemi oluşumu (<https://www.arup.com/news-and-events/modularization-meets-variability-futurium-showcases-curtain-walling-of-tomorrow>)

İlk olarak; cephenin duvar yüzeyine yapılan buhar dengeleyici işlemi, ısı yalıtımının dübellerle çakılması ve su yalıtımının yapıştırılması işlemleri yapılmıştır. İkinci aşamada, betona ankrılan braketlere havalandırma boşluğu bırakarak alüminyum diagrid şeklinde profiller ankrılanmıştır (Şekil 17).



Şekil 17. İkinci aşamanın uygulanması ve diagridler üzerine kasetlerin yerleşimi (<https://www.arup.com/news-and-events/modularization-meets-variability-futurium-showcases-curtain-walling-of-tomorrow>)

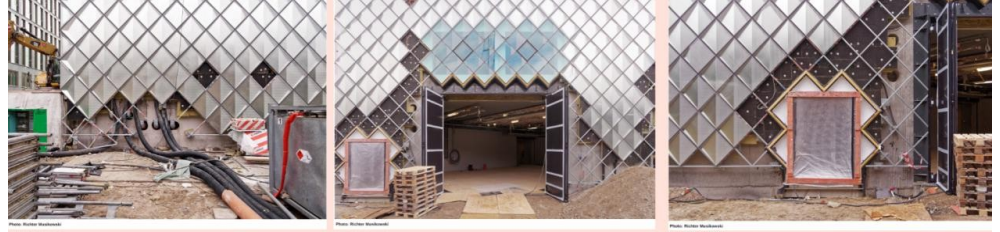
700 mm x 700 mm kısmen serigrafi baskılı dokulu camdan kasetler arka tarafı fırçalanmış paslanmaz çelikten katlanmış bir metal tepsiye yapısal olarak yapıştırılırlar (Şekil 18).



Şekil 18. Braketlerle betona üzerine ankrılan cam paneller ile alüminyum profillere camların yerleştirilmesi (<https://www.arup.com/news-and-events/modularization-meets-variability-futurium-showcases-curtain-walling-of-tomorrow>)

Camdan kasetler belirtildiği gibi yerleştirildikten sonra; kapı ve pencere birleşimlerinde yukarıdaki resimde görüldüğü gibi uygulamalar yapılmıştır. Yukarıdaki resimde de görüldüğü gibi; diyagonal kıvrımlar, doğrudan güneş ışığını yakalayıp geri yansıtarak camı arkadan aydınlatan dokulu yarı saydam camın perdesinin arkasında dalgalı bir yansıtıcı yüzey oluşturur (Şekil 19).

Şekil 19. Tesisat borularının yerleşimi ile pencere ve kapı birleşimi uygulamalar (<https://www.arup.com/news-and-events/modularization-meets-variability-futurium-showcases-curtain-walling-of-tomorrow>)



#### 4.2. Quilted Cube

Denizanasından ilham alan kapitone bir küp, Media-TIC binası, güneşin gücüne göre şişen veya sönen iki cepheye sahiptir. Halka açık galerileri ve tesisleri olan teknoloji şirketleri için karma kullanımlı bir ofis binası olarak tasarlanan yapı, İspanya'da şimdiki kadar yapılmış en verimli enerji binalarından biridir (Şekil 20).



Şekil 20. Quilted Cube Cephe (<https://www.archdaily.com/49150/media-tic-enric-ruiz-geli>)

Güneşin binayı ısıtması sorununu önemli ölçüde çözebilecek bir ETFE membranı ile kaplanmasıdır. Güneydoğu cephesinde üç kat ETFE ile 104 yastık vardır. Her minderdeki membranlar, binaya yalnızca istenen miktarda ışık ve ısı girmesine izin verecek şekilde bilgisayar kontrollüdür (Şekil 21).



Şekil 21. Yastıklar aktive olmadan önce ve aktif olduktan sonra (<https://www.archdaily.com/49150/media-tic-enric-ruiz-geli>)

Şekil 22'de Güneybatı cephesinde, iki kat ETFE ile 35 m yüksekliğinde dev bir yastık vardır. Bağlantılı bir hava odası ve yastığın tepesine nitrojen bazlı bir sis sistemi enjekte edilmiştir. Bu, binayı güneş ışınlarına karşı korumak için dikey bir bulut oluşturmaktadır.

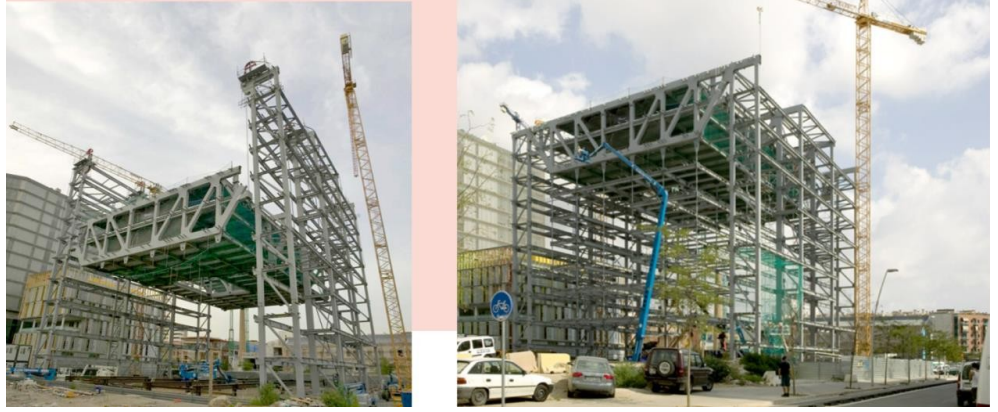
Şekil 22. Quilted Cube Güney Doğu Cehesi  
(<https://www.archdaily.com/49150/media-tic-enric-ruiz-geli>)



Öne çıkan duvar, günde altı saat güneş ışığını emecek olan güneydoğu cephesidir. ETFE kaplama yüzeyi, içbükey ve dışbükey üçgenlerden oluşan bir mozaik olarak görünmektedir. Tasarım, atomların veya elementlerin birleşmesini tasvir etmektedir. Projede 2.500 m<sup>2</sup> ETFE kaplama kullanılmış ve %20 oranında enerji tasarrufu sağlanmıştır. Dış ısıdan koruma, ETFE kaplamanın 'diyafram' konfigürasyonu, üç plastik katmanın üçgen çerçeve içine sabitlendiği ve bir yastık gibi şişirildiği kısımla sağlanmaktadır. Böylece gölge etkisi ve ısı yalıtımı sağlanmaktadır.

Bu fotoğraflarda da görüldüğü gibi; İspanyol mimar Enric Ruiz Geli, bu yenilikçi binayı ağ benzeri bir çelik yapıyla tasarlayıp, zemin katta sütunlardan kaçınarak, kamusal mekân yaratmak istemiştir (Şekil 23).

Şekil 23. En üst kat döşemesinin yerleştirilmesi ile strüktürün tamamlanmış hali  
(<https://www.archdaily.com/49150/media-tic-enric-ruiz-geli>)

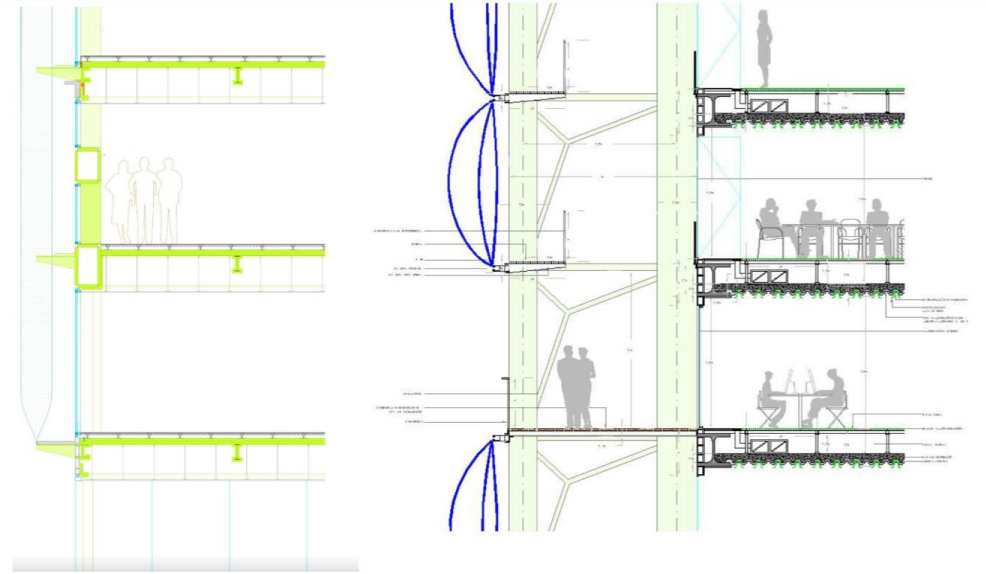


Çelik yapıya döşeme boyunca braket görevi gören özel şekilli ankrajlar bağlanmıştır. Üzerine birleşim noktası bu ankrajlar olacak ve üçgen şekil oluşturacak şekilde profiller bağlanmıştır (Şekil 24).

Şekil 24. ETFElerin asılacağı profil oluşturulması ile ETFElerin bağlantılarının yapılması için ve sis sağlayan boruların eklenmesi  
(<https://www.archdaily.com/49150/media-tic-enric-ruiz-geli>)



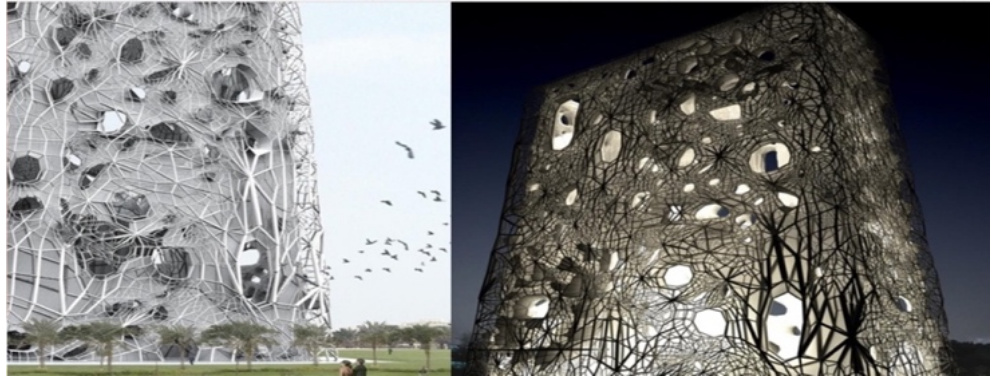
Şekil 25'te görüldüğü gibi sistem, güneşe maruz kaldığında yastıkların şişmesine dayanmaktadır. Bu durum yapının hem termal konforunu hem de güneş kontrolünü sağlamaktadır. Güneydoğu ve Güneybatı cephesinin tek farkı; Güneydoğu cephesindeki üçgen şeklindeki yastıkların bilgisayar kontrollü sensöre bağlı doğal havayı alarak şişmesi, Güneybatı cephesinde ise bütün bir yastığa bağlı ETFE kaplamanın sensöre bağlı nitrojen sis basımını aktive etmesi ve nitrojenle yastığın şişmesidir.



Şekil 25. Gün ışığına maruz kalmadan önce ile gün ışığına maruz kaldıktan sonra (https://www.glassonweb.com/article/futurium-berlin-ventilated-facade-system-with-structurally-bonded-textured-glass)

### 4.3. GeoTUBE

Kaliforniya merkezli mimarlık firması Faulders Studio tarafından Dubai'nin eşsiz ortamı için tasarlanmış bir yapı önerisidir. Bina, zamanla kendi başına bir dış cephe oluşturacak olan büyük bir üst yapıya sahiptir. Basra Körfezi'nden gelen suyu kullanan dikey bir tuz birikintisi büyütme sistemi olarak kullanılması önerilen cephedir (Şekil 26).



Şekil 26. GeoTUBE (https://www.faulders-studio.com/GEOTUBE-TOWER)

Basra Körfezi, okyanus suyu açısından dünyanın en yüksek tuz oranına sahip olduğundan, Körfez'den gelen suyun, 4,62 km'lik gömülü bir boru hattıyla GEOTube'a taşınması ve kulenin ağ altyapısına buğulanması ve aktif olarak püskürtülmesi önerilmiştir. Su buharlaştığında, geride kulenin dış iskeletini oluşturan tuz birikintileri kalacaktır.

Cepheye su püskürtülüp, buharlaşma oldukça, kristal birikintileri cepheyi dokulu opak bir yüzeye dönüştürür (Şekil 27).



Şekil 27. Yapıya ait iki görsel (https://www.faulders-studio.com/GEOTUBE-TOWER)

#### 4.4. SolarLEAF

Yenilenebilir enerji kaynakları olarak ısı ve biokütle üretmek için mikro alg yetiştiren dünya çapında ilk cephe sistemidir (Şekil 28).

İlk biyo reaktif cephesi, alg biokütlesi ve güneş termal ısısından yenilenebilir enerji üretmesini sağlamaktadır. Ayrıca, biyo yakıta dönüştürülmek üzere yosun büyümesi için bir hasat yüzeyi sağlanmış olmaktadır. Atmosferden karbondioksiti emerek basit bir karbon ayak izi dengelemesi gerçekleştiren bir cephe sistemidir.

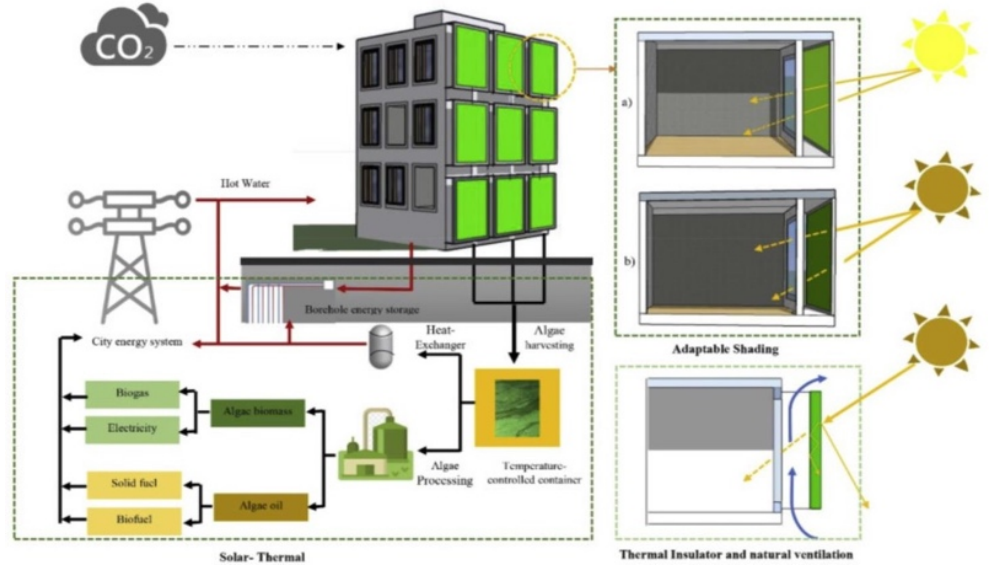


Şekil 28. SolarLEAF  
(<https://www.arup.com/projects/solar-leaf>)

Cephe tarafından üretilen biokütle ve ısı, kapalı bir döngü sistemiyle, biokütlenin yüzdürme yoluyla toplandığı ve ısının bir ısı değiştirici tarafından toplandığı binanın enerji yönetim merkezine taşınır. Bina hizmetleriyle tamamen entegre olduğu için, fotobio reaktörlerden (PBR'ler) gelen fazla ısı, sıcak su sağlamaya veya binayı ısıtmaya yardımcı olmak için kullanılabilir veya daha sonra kullanılmak üzere depolanabilir.

Biokütlenin avantajı, güç ve ısı üretimi için esnek bir şekilde kullanılabilmesi ve neredeyse hiç enerji kaybı olmadan depolanabilmesidir. Ayrıca, düz panel PBR'lerde mikro alg yetiştirmek ek arazi kullanımı gerektirmez ve hava koşullarından etkilenmez. Algleri beslemek için gereken karbon, yakındaki herhangi bir yakma işleminden (yakındaki bir binadaki kazan gibi) alınabilir. Bu, kısa bir karbon döngüsü uygular ve atmosfere giren ve iklim değişikliğine katkıda bulunan karbon emisyonlarını önler. Mikroalgler gün ışığını emdiği için biyoreaktörler dinamik gölgeleme cihazları olarak da kullanılabilir. Daha fazla gün ışığı olduğunda, daha fazla alg büyür ve bina için daha fazla gölge sağlar (Şekil 29).

SolarLeaf'in biyoreaktörleri dört cam katmana sahiptir. İki iç bölme, yetiştirme ortamını dolaştırmak için 24 litre kapasiteli bir boşluğa sahiptir. Bu bölmelerin her iki yanında, yalıtkan argon dolgululu boşluklar, ısı kaybını en aza indirmeye yardımcı olur.



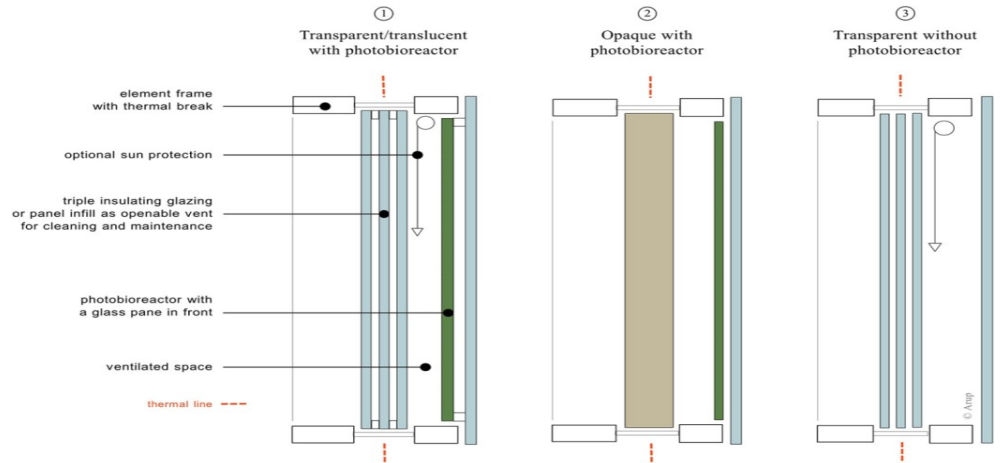
Şekil 29. Yapının Çalışma Sistemi

Mevcut cephe üzerine braketlerle döşeme boyunca uzanan yatay profil bağlantısı yapılmıştır. Şekil 30'da bu yatay profillerin içerisinde alg panellere bağlı sensörler geçecek şekilde profiller seçilmiştir. Bu işlemler yapıldıktan sonra; alg paneller yatay profiller arası boşluğa gelecek şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 30. Alg sistemli panellerin cephe sistemine montajı  
(<https://www.arup.com/projects/solar-leaf>)

Görselleştirme, biyoenerji cephesinin üç farklı cephe elemanını göstermektedir. Bunlardan birincisi transparandır ve fotobiyoreaktöre bağlı yarı saydam olabilmektedir. İkincisi fotobiyoreaktöre sahiptir ve opak bir özellik taşır. Üçüncüsü ise fotobiyoreaktörsüz ve transparan özelliktedir (Şekil 31).



Şekil 31. Cephedeki cam panellerin çeşidine bağlı kesitler  
(<https://www.arup.com/projects/solar-leaf>)

Biyoreaktörlerden çıkarılabilecek maksimum sıcaklık, daha yüksek seviyeler mikroalgleri etkileyeceğinden, yaklaşık 40 santigrat derecedir. Sistem tüm yıl boyunca çalıştırılabilir. Işığın biyokütleye dönüşümünün verimliliği %10 ve ışığın ısıya dönüşümü %38'dir. Karşılaştırma için, fotovoltaik sistemler %12-15 ve solar termal sistemler %60-65 verimliliğe sahiptir. 5.5 kg yılda m<sup>2</sup> biyoenerji cephesi başına biyokütle verimi sağlanmaktadır. 38% güneş enerjisinin ısıya dönüşümü ve 10 kg yılda m<sup>2</sup> biyoenerji cephesi başına CO2 emilimi gerçekleşmektedir.



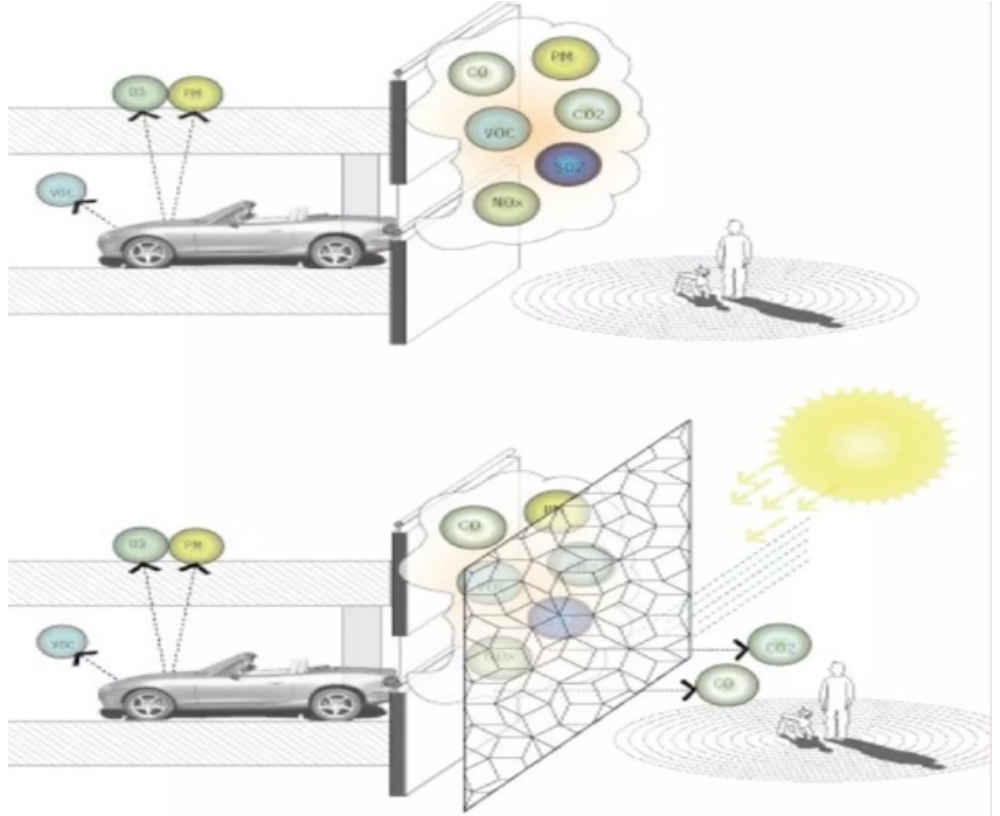
#### 4.5. Manuel Gea Gonzalez Hastanesi

Manuel Gea Gonzalez Hastanesi'ndeki Torre de Especialidades'e havayı temizleyen bir cephe yerleştirilmiştir. Bu cephe; 2500 m<sup>2</sup>'lik prosolve370e modüllerinden oluşuyor (Şekil 32).



Şekil 32. Prosolve370  
(<http://www.prosolve370e.com/home>)

Oluşturduğu seramik parçaların yüzeyi, titanyum dioksit (TiO<sub>2</sub>) kompozit ile kaplanarak elde edilen bir cephe malzemesidir. Güneş ışığının etkisiyle harekete geçen kirlilikle mücadele eden bir sistem, kendi kendini temizleme ve mikrop öldürücü nitelikleri nedeniyle yaygın olarak geleneksel bir pigment olarak kullanılan TiO'nun fotokatalitik nano versiyonudur (Şekil 33).



Şekil 33. Titanyum dioksitin güneş ışığı ile çalışma prensibi  
([https://www.detail.de/en/de\\_en/article/iri-descent-lozenges-made-of-cast-glass-the-futurium-in-berlin-32050/](https://www.detail.de/en/de_en/article/iri-descent-lozenges-made-of-cast-glass-the-futurium-in-berlin-32050/))

Parçalar, yangına dayanıklı VO tipi plastik levhalar kullanılarak üretilmektedir. Isıyla şekillendirme işlemi, bir plastik levhayı pürüzsüz olana kadar ısıtmayı ve ardından bir kalıba dökme işlemini içerir. Akabinde, mevcut havayı çıkarmak ve parçayı şekillendirmek için vakum yapılır (Şekil 34).



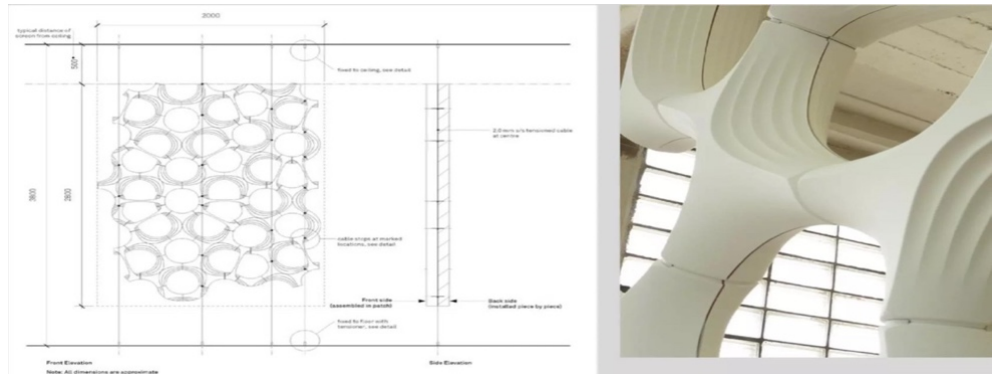
Şekil 34. Malzemenin kalıplanması işlemleri  
(<http://www.prosolve370e.com/home>)

Şekil 35'te görüldüğü gibi cephelerin geometrisi simetrik bir modelden türetilmiştir, düzensiz görünen matematiksel bir ızgaradır. Yeni ortogonal olmayan ızgara; görünüşte tekrar etmeyen, organik olarak büyüyen bir mozaik desen oluşturulmasını sağlar.

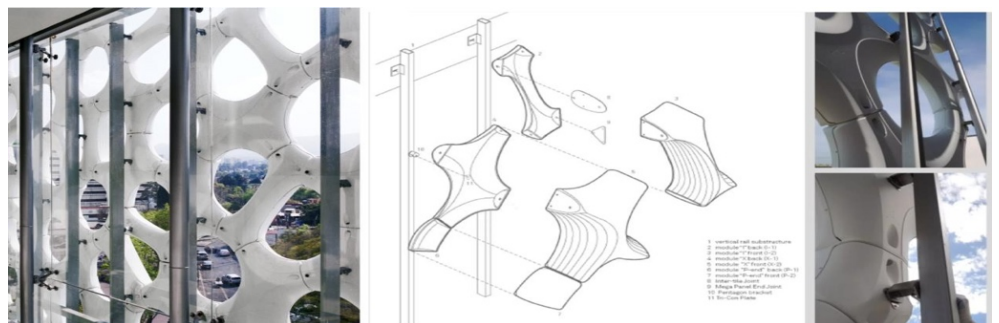


Şekil 35. Cephenin kesiti  
(<http://www.prosolve370e.com/home>)

Şekil 36'ta malzemenin küçük parçalardan modüller haline getirildiği sonrasında döşeme boyunca devam eden braketlerin üzerine düşeyde çelik taşıyıcı profillerin ankre edildiği görülmektedir. Şekil 37-38'te malzemenin modüllerinin ise modüllerin içerisindeki bağlantı boşluklarından düşey profillere bulonlarla bağlanıp, bir nevi profillere asarak cephenin oluşturulduğu görülmektedir.

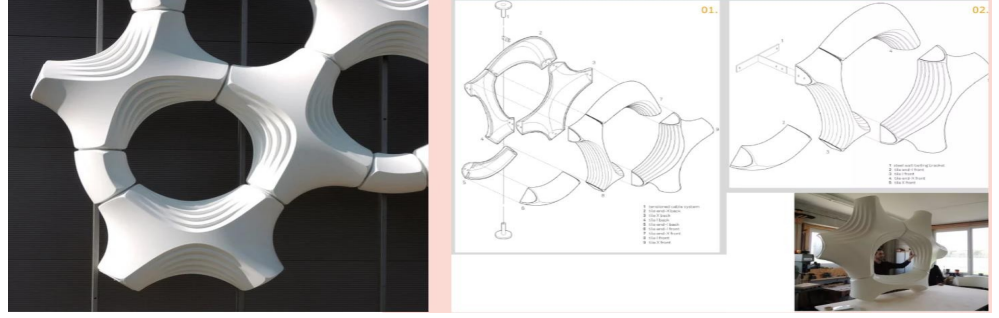


Şekil 36. Cepheye ait görünüş, kesit ve fotoğraf  
(<http://www.prosolve370e.com/home>)



Şekil 37. Malzemenin cephedeki yerleşimi ve bağlantıları  
(<http://www.prosolve370e.com/home>)

Şekil 38. Malzemenin çepedeki yerleşimi ve bağlantıları, modüllerin birleşimleri  
(<http://www.prosolve370e.com/home>)



Sırasıyla; Şekil 39’da modüllerin parçaları, profil ve braketler gibi ankraj elemanları santiye ortamına getirilmiştir. Şekil 40-41’de cephe döşeme hizası boyunca bağlanan braketlerin üzerine düşey profiller yerleştirilmiştir. Bu profillerle birleştirilmek üzere cephe modüllerin profillere bağlantısı yapılmaktadır. Şekil 42’te yapının tamamlanmış hali görülmektedir.

Şekil 39. Malzemenin şantiyeye getirilme ve montajı aşamaları  
(<http://www.prosolve370e.com/home>)



Şekil 40. Cepheye taşınan ve bağlantı noktalarından ankrajlanan modüller  
(<http://www.prosolve370e.com/home>)



Şekil 41. Cephenin tamamlanmış haline ait fotoğraflar  
(<http://www.prosolve370e.com/home>)





Şekil 42. Cephenin tamamlanmış görünümü  
(<http://www.prosolve370e.com/home>)

## 5. SONUÇ

Yapılan çalışma kapsamında; akıllı malzemelerin tanımı, sınıflandırılmasının yanı sıra mimarlıkta akıllı malzemenin tanımı ve sınıflandırılması konuları, akabinde mimarlık uygulamalarında yapılan yenilikçi malzeme çözüm önerilerine değinilmiştir. İlaveten, seçilmiş farklı akıllı malzeme uygulamasının, kullanım, montaj ve detayları incelenmiş ve açıklanmıştır. İncelenen bu uygulamalarda akıllı malzemelerin mimarı uygulamalarda cephenin ömrü ve performansı açısından birçok avantaj sağladığı görülmektedir. Bilim ve teknoloji geliştikçe bu uygulamaların gelişeceği ve gelecekte daha yeni önerilerle bina performansının gelişeceği ve malzemenin kullanım süresinin artabileceği ön görülebilmektedir. Çalışmada akıllı malzemelerin uygulama, kullanım ve montaj yöntemlerinin açıklanması ile; akıllı malzemeler ile ilgili bilinmeyen detaylara ışık tutmak, bu malzemelerin gelecekte mimarlık alanında kullanımına değinmek ve bu konuda farkındalık oluşturmak amaçlanmaktadır.

İncelenen akıllı malzemelerin mimarlık alanında kullanımları hem sürdürülebilirlik hem enerji verimliliği açısından fayda sağlamaktadır. Özellikle alg esaslı akıllı malzemelerin mimari cephe tasarımlarının vazgeçilmez bir parçası olacağı düşünülmektedir. Akıllı malzemelerle güneş ışığının tasarımda kullanımının artması, enerji verimliliğinin doğru kullanılması, ekolojik ve sürdürülebilir projelerin sayısını artıracakları düşünülmektedir. Günümüz sorunlarından hava kirliliğinin etkisinin azaltılması tasarımlarda ön plana çıkarılmaktadır. Kendini temizleme, kirli hava parçacıklarını çözme gibi özelliklerle farklı koşullarda farklı malzemelerin kullanımını sağlamaktadır. Sonuç olarak akıllı malzemelerin mimari tasarıma çok fazla seçenek sunacağı ve enerji verimliliğinin doğru bir şekilde kullanılacağını sağlamaktadırlar.

## KAYNAKLAR

Addington, M. & Schodek, D. (2005). *Smart Materials and New Technologies: For the Architecture and Design Professions*. Architectural Press, Boston.

Allobeidi, M. & Alsarraf A. (2018). "The Impact of the use of Smart Materials on the Façades of Contemporary Buildings". *International Journal of Engineering and Technology*, Sayı: 7, s.744-750.

Cloudhem. (2020). <https://www.cloudchem.com.cn>

Dobrescu, L. A. (2021). From traditional to smart building materials in architecture. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2021*; 1203(3), 032113.

Karalı, C.H. (2019). Akıllı malzemelerin iç mimarlıkta kullanımı. Maltepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Türkiye.

Monk, P. M., & Mortimer, R. J. & Rosseinky, D. R. (2007). Electrochromism and electrochromic devices. Cambridge: Cambridge University Press.

Nikolov, N., & Fox, J. (2014). Radiation-active surface design: The use photocatalytic concrete enabling buildings to be active environmental remediators. Eco-Architecture V: Harmonisation.

Özgönül Şensan, Ö. (2019). Use of smart materials in the design of dynamic intelligent surfaces. The Graduate School of Social Sciences of Izmir University of Economics, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, Türkiye, 2019.

Ng, E. S. W. & Schweitzer, L., & Lyons, S. T. (2010). New generation, great expectations: A field study of the millennial generation. Journal of Business and Psychology, 25(2), 281–292. <https://doi.org/10.1007/s10869-010-9159-4>

Ritter, A. (2007). Smart materials in architecture, interior architecture and design. Basel: Birkhäuser.

Yüksel Ayvaz, Ö. (2019). Akıllı malzemelerin mimaride kullanım olanakları. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans tezi, Trabzon, Türkiye.

(<https://www.archdaily.com/920979/10-solutions-for-adaptive-walls-for-more-resilient-architecture>)

<https://iaac.net/project/translated-geometries/>

<https://www.sageglass.com/smart-windows/product-overview>

<https://www.saint-gobain-glass.com/products/priva-lite>

<https://vibuma.com/en/blog/low-e-glass-easy-to-save-energy.thread1030.html>

<https://www.arup.com/news-and-events/modularization-meets-variability-futurium-showcases-curtain-walling-of-tomorrow>

<https://www.archdaily.com/49150/media-tic-enric-ruiz-geli>

<https://www.glassonweb.com/article/futurium-berlin-ventilated-facade-system-with-structurally-bonded-textured-glass>

<https://www.faulders-studio.com/GEOTUBE-TOWER>

<https://www.arup.com/projects/solar-leaf>

<http://www.prosolve370e.com/home>