



Akıllı Malzemelerin Kamu Yapılarında Uygulama Önerileri: Karabük Örneği

Merve Tuna Kayılı^{1*}

¹ Karabük Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Karabük, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3803-8229)

(İlk Geliş Tarihi 18 Şubat 2020 ve Kabul Tarihi 27 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.690675)

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

Öz

Akıllı malzemeler, ısı, sıcaklık, mekanik ve manyetik etkilerle değişim gösterebilen veya bu etkilere tepki verebilen malzemelerdir. Bu malzemeler yapıda kullanıldıklarında, daha fazla enerji üreten, daha az su tüketimi sağlayan, daha az sarf malzeme ve kaynak kullanımını başaran yapıların üretilmesine katkı sağlamaktadır. Malzemelerin yapıda doğru ve etkin bir şekilde kullanımı, mimarlık eğitiminin önemli bir parçasıdır. Bu çalışma, günümüzde yapıda kullanılan akıllı malzemelere yönelik ön bilginin ardından, Karabük Üniversitesi Mimarlık Fakültesi son sınıf öğrencilerinin Çağdaş Yapı Malzemeleri dersi kapsamındaki stüdyo deneyimi çıktılarını üzerinden, Karabük'te yer alan üç farklı kamu yapısının akıllı malzemelerle yeniden kurgulanmasını sorgulamaktadır. Öncesinde akıllı malzemelerin teorik altyapısının aktarıldığı derste, öğrencilerden teorik altyapıyı kullanarak Karabük'te kamu yapılarını yeniden ele almaları ve akıllı malzemeler üzerinden stüdyo ortamında uzun soluklu olarak bu yapıların malzemelerini yeniden kurgulamaları istenmiştir. Seçilen Karabük Valilik Binası, Safranbolu Meslek Yüksekokulu ve Karabük Üniversitesi Eğitim ve Araştırma Hastanesi gibi bir hizmet, bir eğitim ve bir sağlık yapısına yönelik yapılan detaylı inceleme ve yeni malzeme kurgulamaları sonucunda çıkan analizler ve görseller incelendiğinde, ele alınan kamu yapılarında akıllı malzeme kullanımı ile işlevselliğin, görsel algının, ısı ve görsel konforun, çevre koşullarına uyum ve enerji etkinliğinin artırılabilceği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akıllı malzemeler, Kamu Yapıları, Çağdaş Yapı Malzemeleri, Karabük

Application Recommendations of Smart Materials In Public Buildings: Karabuk Example

Abstract

Smart materials are materials that can change or react to heat, temperature, mechanical and magnetic effects. When these materials are used in the building, they contribute to the production of structures that produce more energy, provide less water consumption, achieve less consumables and resources. The correct and effective use of materials in the building is an important part of architectural education. This study questions the reconstruction of three different public buildings in Karabük with smart materials, based on the outputs of the studio experience within the scope of the Contemporary Building Materials Lecture of the senior students of Karabuk University Faculty of Architecture, following the prior knowledge of the smart materials used in the building today. In the lecture, where the theoretical infrastructure of smart materials was previously transferred, students were asked to reconsider the public buildings in Karabük using the theoretical infrastructure and to reconstruct the materials of these structures in the studio environment over smart materials. As part of the lecture, a service, an education and a medical building such as Karabük Governorship, Safranbolu Vocational School and Karabük University Training and Research Hospital were selected. When the analyzes and visuals resulting from the detailed examinations and structures of these selected buildings were examined, it was observed that the functionality, visual perception, thermal and visual comfort, compliance with environmental conditions and energy efficiency can be increased by the use of smart materials in public buildings.

Keywords: Smart materials, Public Buildings, Contemporary Building Materials, Karabük

* Sorumlu Yazar: Karabük Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Karabük, Türkiye, ORCID: 0000-0002-3803-8229, mervetunakayili@karabuk.edu.tr

1. Giriş

Tarih boyunca yapıda kullanılan malzemeler sürekli bir gelişim halindedir. İnsanların yeni arayışı içinde olma durumu ile ilgili olarak, bilimsel ve teknolojik gelişmelere paralel seyirde yapı malzemelerinin daha hafif, daha mukavim ve günümüz koşullarında inovatif bir bakış açısıyla etkiye tepki verebilen bir özellik kazanması sağlanmıştır. Akıllı malzemeler olarak adlandırılan bu yeni malzemeler, nanoteknoloji sonucu ortaya çıkmakta ve dışarıdan gelen uyarılara cevap veren, çevresel etkilere karşı direnç ya da uyum sağlayabilen, enerji üretebilen, sistemin bir parçası olarak çalışabilen interaktif bir belirteç haline dönüşebilmektedir. Akıllı malzemelerin yapıda kullanılmasıyla birlikte, yapının farklı gereksinimlerini yerine getirebilmenin yanı sıra, tasarıma malzeme ile biçimsel çeşitlilik ve farklı mekânsal algılamalar sunulabilmektedir. Ayrıca kullanıcının mekân içindeki etkinliğini sağlayan malzemelerle, kullanıcı ve yapı arasında etkileşim artırılabilir.

Küresel ısınma, çevre kirliliği ve kaynak yetersizliği ile baş etmeye çalışan sürdürülebilirlik ve bu kavramın mimarlık temasının ön plana çıktığı günümüzde, bu malzemelerin yapıda kullanımı da önemli olmaktadır. Akıllı malzemeler yapıda kullanıldıklarında, daha fazla enerji üreten, daha az su tüketimi sağlayan, daha az sarf malzeme ve kaynak kullanımını başaran yapıların üretilmesine olumlu yönde etki etmektedir.

Akıllı malzemelerin kullanımının artırılması öncelikle mimar adayının eğitiminde bu malzemeleri görmesi, tanınması ve yapının hangi elemanında kullanacağını bilmesinden geçmektedir. Bu nedenle mimarlık eğitiminde bu malzemelerin stüdyo derslerinde araştırılması ve bunları nasıl kullanacağını bilmesi mimarlık öğrencileri açısından çok önemlidir. Bu çalışma, günümüzde yapıda kullanılan akıllı malzemelere yönelik ön bilginin ardından, Karabük Üniversitesi Mimarlık Fakültesi son sınıf öğrencilerinin Çağdaş Yapı Malzemeleri dersi kapsamındaki stüdyo deneyimi çıktılarını üzerinden, Karabük'te yer alan üç farklı kamu yapısının akıllı malzemelerle yeniden kurgulanmasını sorgulamaktadır. Öncesinde akıllı malzemelerin teorik altyapısının aktarıldığı derste, öğrencilerden teorik altyapıyı kullanarak Karabük'te kamu yapılarını yeniden ele almaları ve akıllı malzemeler üzerinden stüdyo ortamında uzun soluklu olarak bu yapıların malzemelerini yeniden kurgulamaları istenmiştir. Ders kapsamında seçilen bir eğitim, bir sağlık ve bir resmi yapıya yönelik kurgulamalar sonucunda çıkan analizler ve görseller incelendiğinde, kamu yapılarında akıllı malzeme kullanımı ile işlevselliğin, görsel algının, ısı ve görsel konforun, çevre koşullarına uyum ve enerji etkinliğinin artırılacağı gözlenmiştir.

2. Akıllı Malzemeler

Akıllı malzemeler, ısı, sıcaklık, mekanik ve manyetik etkilere değişim gösterebilen veya bu etkilere tepki verebilen malzemelerdir. Bir malzemenin akıllı malzeme olarak nitelendirilmesi için o malzemenin niteliğinde ve fazında değişim gerçekleşmesi ve bu değişimin geri alınabilir olması gerekmektedir (Addington ve Schodek, 2005). Akıllı malzemeler çok farklı faktörler üzerinden sınıflandırılabilir. Ritter'e göre akıllı malzemeler;

*Özellik değiştiren akıllı malzemeler

*Enerji alışverişinde bulunan akıllı malzemeler

*Madde alışverişinde bulunan akıllı malzemeler şeklinde sınıflandırılmaktadır. Bu bölüm Ritter'in sınıflandırması üzerinden ele alınmıştır.

2.1. Özellik Değiştiren Akıllı Malzemeler

Özellik değiştiren akıllı malzemeler, çevresel etki sonucunda renk ve optik özelliklerini değiştirebilen malzemeler ile birlikte, adezyon veya şekil değiştiren malzemeler olabilmektedir. Renk ve optik özelliklerini değiştiren malzemeler kromik malzemeler (Ritter, 2007) olarak adlandırılmakta, kromik malzemeler özellikle akıllı cam endüstrisinde karşılık bulmaktadır. Kromik malzemelerin elektrik etkisi ile renk ve optik özelliklerini değiştirmesi elektrokromik, bu etkinin ışık etkisiyle gerçekleşmesi fotokromik, ısı etkisiyle gerçekleşmesi termokromik, kimyasal bir reaksiyon sonucu gaz etkisiyle gerçekleşmesi de gazokromik olarak adlandırılmaktadır (Kienl, 2002).

Elektrokromik malzemelerden mimarlıkta sıkça kullanılan elektrokromik camlara elektrik akımı uygulanması sonucunda renk, saydamlık oranı ve ısı geçirgenlik gibi özelliklerinde değişimler meydana gelebilmektedir (Kienl, 2002). Böylelikle mekânda aydınlatma ve ısı kazancı kontrol edilebilmektedir. Elektrokromik cam ve geleneksel camların karşılaştırıldığı bir çalışmada yapının enerji gereksinimini %20 ve iklimlendirme sistemlerinin gerekliliğini %25 oranında azalttığı belirtilirken, aydınlatma maliyetlerinin de elektrokromik camlarda %60 oranında daha az olduğu hesaplanmıştır (URL-1). Boston'da yer alan Bilim Müzesi'nin büyük atriumunda yer alan cam cephede kamaşmayı önlemek amacıyla elektrokromik cam kullanılmış, yapının manzarasına zarar verilmeden, güneş kontrolü ve görsel konfor sağlanmaya çalışılmıştır (Şekil 1).

Fotokromik camlar, cam yüzeyine gelen güneş ışınımına bağlı olarak renk ve şeffaflık değişimi gösteren camlardır. Fotokromik camlara gelen ışık miktarı arttığında yutuculuk özelliği artmakta, ancak görüntü bulanıklaşmaktadır (Demir, 2011). Fotokromik camlar, istenmeyen güneş ışınım miktarının azaltılmasında, mahremiyet isteğinde kullanılabilir. Bu camların kullanımı ile aşırı ısınmanın ve aydınlanmanın önüne geçilerek termal ve görsel konfor sağlanabilmektedir.

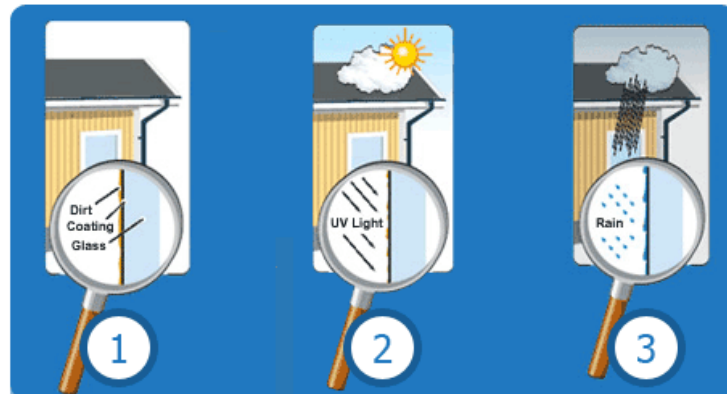


Şekil 1. Bilim müzesinde elektrokromik cam kullanımı (URL 2)

Termokromik camlar, yüzeye gelen ışınımına bağlı olarak gerçekleşen ısı miktarının artıp azalmasıyla saydamlık oranının değiştiği camlardır. Kış aylarında şeffaf olan bu camlarda, yaz aylarında sıcaklığın artmasıyla birlikte saydamlık oranı azalmakta ve yansıtıcılık değeri artmaktadır. Yansıtıcılık değerinin artmasıyla iç mekâna giren güneş ışınımı azalmakta ve fazla ısınmanın önüne geçilerek soğutma maliyetleri azaltılabilmektedir (Kazanasmaz ve Diler, 2011).

Gazokromik camlar, hidrojen ve oksijen gibi gazlar ile renk değiştirebilen camlardır. Hidrojen gazı ile renklendirilirken, oksijen gazı ile de eski saydamlık oranına dönmesi sağlanabilmektedir (Demir, 2011). Düşük maliyetli olmasının (Feng ve ark., 2016) yanı sıra bu camlar yüksek yapılarda kullanılabilme (Wilson, 2017) özelliğine sahiptir.

Özellik değiştiren akıllı malzemelerden bir diğeri ise yüzeye yapışma özelliğinin (adezyon) değişim gösterdiği adezyon değiştiren malzemelerdir. Bu malzemelerde adezyon değişimi, ışık ve sıcaklık değişimi gibi çevresel etkilere gerçekleşmektedir. Adezyon değiştiren malzemelerin en yaygın olarak kullanılanı titanyum dioksit (TiO_2) (Orhon, 2012) olarak söylenebilmektedir. TiO_2 , yüzeyine tutunan kirleticileri (parçacık maddeler, uçucu organik bileşikler, azot oksitler vb.) UV ışığı altında fotoaktif özellik göstererek organik grupları su ve karbondioksit parçalayabilen yarı iletken bir malzemedir. TiO_2 'nin fotokatalitik aktivite (Fujishima ve Honda, 1972) özelliğinin 1970'lerde keşfedilmesi ile bu malzemenin kullanım alanları daha da artmıştır. (Şam ve ark., 2007). TiO_2 malzemenin fotokatalitik oksitlemenin yanı sıra ışık etkisi ile yüzeyinin süperhidrofilik (su sever) özellik kazanması da önemlidir (Şam ve ark., 2007). TiO_2 'nin bu özelliği ile kendi kendisini temizleyebilen yüzeyler elde edilebilmektedir (Şekil 2). Mimarlıkta boya ya da ince film tabakası şeklinde yüzeye uygulanarak, yapı yüzeylerinin kir tutma özelliğinin azaltılmasının yanı sıra, yüzeyin kendi kendini temizlemesi ve yüzeyde bulunan bakterilerin de yok edilmesi (Orman, 2014) mümkün olabilmektedir. Dış yüzeylere uygulanması durumunda azot oksit gazlarının azaltılmasında rol oynamaktadır. Fotokatalitik etki cam yüzeylerde de sağlanabilmekte olup, Amerika'da bir hastane (Helen DeVos Children's Hospital) yapısının cam yüzeyi fotokatalitik etki ile kendini kendini temizleyebilme özelliğine sahiptir (Şekil 3).



Şekil 2. Fotokatalitik etkiyle temizlenme aşamaları (URL-3)



Şekil 3. Helen DeVos Çocuk Hastanesi (URL-4)

TiO₂ kaplamaların yanı sıra, ahşap yüzeylerin bünyesine girebilecek su sızıntılarını engellemek amacıyla yapılan nano SiO₂ kaplamalar gözeneklerin içine ultra ince bir tabaka halinde penetre olmaları, uygulandığında malzemeye su itici özellik kazandırması (Şahin 2019) nedeniyle suyun malzemenin yapısına geçişini engellemektedir.

Şekil değiştiren akıllı malzemeler ise; ışık, sıcaklık, manyetik etki, elektrik akımı veya pH gibi çevresel etkilerle, şekillerinde değişim meydana gelen malzemelerdir. Şekil hafızalı alaşımlar, yukarıda sayılan çevresel uyarılarla şekillerinde değişim meydana gelen malzemeler olup, bu malzemeler uyarı uzaklaştırıldığında orijinal haline geri dönebilmektedir (Ritter, 2007). Metal alaşımlar, polimerler, jeller, seramik ve camlar şekil hafızalı malzemelere dönüştürülebilmektedir. Bu malzemeler yapıda duvarlarda, kolonlarda kullanılabilir. Ayrıca güneş kontrolü sağlayan ya da akustik bir panel olarak kullanım alanları da mevcuttur (Yüksel-Ayvaz, 2019). Şekil değiştiren bu malzemelerin yapıda kullanımına örnek olarak California'daki Los Angeles Malzeme ve Uygulama Galerisi'ndeki Bloom heykelindeki 4.000 adet sıcaklığa duyarlı sac levha panel ile, sıcaklığa karşı tepki vermektedir. Termobimetal yüzey, sıcaklık yükseldiğinde kıvrılıp ve düştüğünde ise düzleşerek yapıda doğal havalandırmayı sağlamaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Bloom Heykeli (URL-5)

2.2. Enerji Alışverişinde Bulunan Akıllı Malzemeler

Enerji alışverişinde bulunan akıllı malzemeler, çevresel etkilerle malzemenin yapısında enerji değişimi sağlayabilen malzemelerdir. Bu malzemeler, ışık yayan, elektrik üreten ve enerji değişimi yapan malzemeler olarak sınıflandırılabilir (Ritter, 2007).

Işık yayan akıllı malzeme uygulamaları fotolüminesans ve elektrolüminesans olarak verilmektedir. Lüminesans, bazı maddelerin ısısı değişimsiz elektromanyetik ışınım yaymasıdır (Addington ve Schodek, 2005). Fotolüminesans malzemeler, zamana göre parlama davranışlarının özelliklerine bağlı olarak floresan veya fosforesan olarak sınıflandırılabilir. Mimari uygulamalarda, floresan esaslı boyalar, yer döşemeleri ve kaplamalar yüzeye uygulanarak, ışıklı bir yüzey elde edilebilir. Fosforesan malzemeler floresansın aksine, daha uzun süre ışık yayabilirler. Bu malzemeler boya ya da film tabakası halinde mimari yüzeylere uygulanarak ışık yayan yüzeyler elde edilebilir. Elektrolüminesans ise optik ve elektriksel bir olgudur ve malzemenin içinden geçen elektrik

akımına veya çok güçlü elektriksel alana tepki olarak ışık yayma durumudur (URL-6). Elektrolüminesanslı malzemelerde, uyarı kaynağı voltaj ya da elektrik alanıdır. Elektrolüminesans malzemelerine ışık yayan diotlar (LED) ve organik ışık yayan diotlar (OLED) örnek verilebilmektedir. Bu malzemeler, tavanda, duvarda ya da cephede, beton, metal veya plastik yüzeyler üzerine uygulanabilmektedir. OLED ışık kaynakları ile iç mekân aydınlatmasında farklı renk ve boyutlarda şeffaf ve esnek paneller oluşturmak mümkün olabilmektedir. OLED ışık kaynaklarının UV içermemesi, düşük ısı açığa çıkarması ve düşük kamaşma değerine sahip olması nedeniyle sağlıklı, yumuşak ve doğal bir ışık dağılımı sağladığı bilinmektedir (URL-7) (Şekil 5).



Şekil 5. OLED aydınlatma panelleri (URL-7)

Elektrik üreten akıllı malzemeler ise çevresel etkilerle elektrik üretebilen malzemelerdir. Çevresel etkinin ışık olması durumunda fotoelektrik, ısı olması durumunda termoelektrik ve mekanik etki olması durumunda ise piezoelektrik malzemeler olarak adlandırılmaktadır (Ritter, 2007). Fotoelektrik malzemelere en iyi örnek boya duyarlı güneş pilleri olup, bu pillerle yüzeye gelen ışık enerjisinin yüzde 28'i dönüştürülebilmekte ve yüksek verimde elektrik üretilebilmektedir. Fotoelektrik malzemelerin şeffaf olması onu pencerelerde ve cephelerde kullanılabilir kılmakta, elektrik üreten cephe ve pencerelerin oluşmasını sağlamaktadır (Yağlı, 2019). Basınç yoluyla elektrik üreten sistemler de piezoelektrik malzemeler için en uygun örnektir. Üzerine gelen yük ile elektrik üreten bu sistemler, genellikle kamusal mekânların yürüme alanlarında kullanılarak, elektrik üretimi sağlanabilmektedir (URL-8).

Enerji değişimi yapan akıllı malzemeler, çevresel etkiyle yapısında enerji değişimi yapabilen malzemelerdir. Faz değiştiren malzemeler (FDM) bu gruptadır. Bu malzemeler faz değişimi esnasında ortaya çıkan gizli ısının enerji depolama uygulamalarında kullanıldığı malzemelerdir. FDM'ler İçinde buldukları ortamın sıcaklığı faz değişim sıcaklığının üzerine çıktığında, çevreden ısı alırken (gizli ısı), soğuma esnasında bu ısıyı tekrar çevreye yaymaktadır (Güngör ve Kabul, 2015). FDM'nin mikrokapsüllenmiş olarak veya doğrudan uygulanmasıyla soğutmada %30'a, ısıtmada ise %20'lere varan tasarruf sağlanmaktadır (Zamalloa ve ark., 2009). FDM'ler güneş enerjisinden yararlanarak bina içerisindeki ısının homojen olarak dağılmasına olanak sağlamaktadır (Beyhan ve ark., 2016). Bu nedenle özellikle enerji etkin yapı tasarımına yönelik, pasif solar döşeme ve duvar uygulamalarında kullanılmaktadır.

2.3. Madde Alışverişinde Bulunan Akıllı Malzemeler

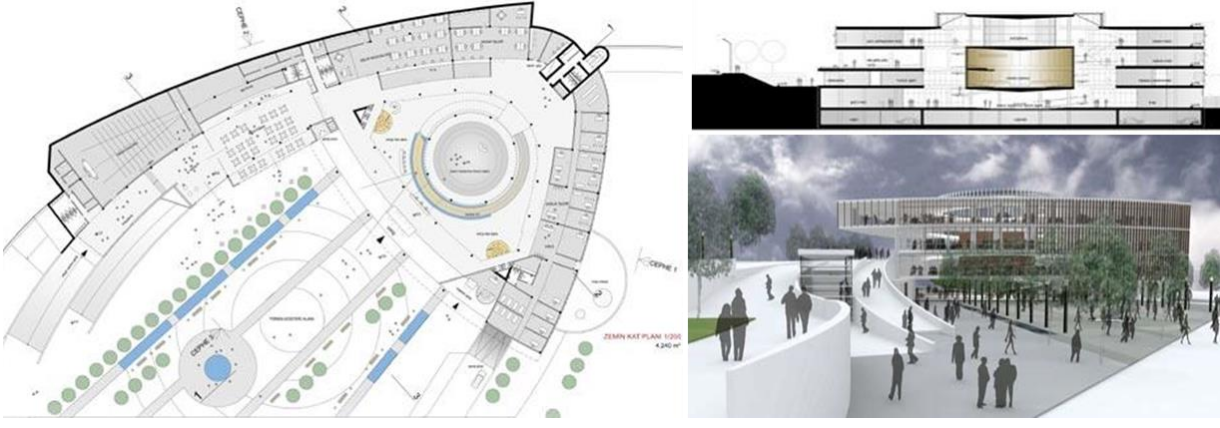
Madde alışverişi yapan akıllı malzemeler, maddeyi bünyesine alıp tersinir özellikte çeşitli gaz, katı ve sıvı bileşenler olarak serbest bırakabilen malzemelerdir (Ritter, 2007). Malzemenin gaz veya su buharını bünyesine alarak iç ortamın kalitesini artırmasını sağlayan gaz ve su depolayan malzemeler, madde alışverişinde bulunan malzemelere örnek verilebilmektedir. Bununla ilgili olarak, yapı sektöründe doğal ses emici (Ritter, 2007), nem emici (ör. bentonit) (Koçyiğit, 2014), koku ve iç mekân hava kirleticilerini bağlayarak iç mekân hava kalitesini artıran mineral emen malzemeler kullanılmaktadır.

3. Kamu Yapılarının Akıllı Malzemeler Üzerinden Uygulama Önerileri

Bu bölümde üç adet kamu yapısının akıllı malzemeler üzerinden yeniden düşünülmesi sonucunda meydana gelen yapısal değişimler ele alınmış, akıllı malzemelerin kullanımıyla yapıda işlevsel, algısal ve enerji etkinliği açısından meydana gelen değişimler ve yapıya katkıları tartışılmıştır.

3.1. Karabük Valilik Binası

Karabük Valiliği Binası, 16500 m²'lik kapalı alana sahip, 2005 yılında ulusal mimari yarışma sonucu üretilen bir yapı olup, öncesinde belediye işleviyle tasarlanmıştır. Sonrasında yapı fakülte binası olarak tadil edilmiş ama kısa bir süre sonra ise yeni bir tadilat ile valilik binasına evrilmiştir. Mimar Erkin Mutlu'nun tasarladığı yapıda meclis salonu merkezi konumdayken, etrafında çelik bir rampa katlar arasındaki sürekliliği sağlamaktadır. Çelik sistem olarak tasarlanan yapı, cephelerinde büyük oranda şeffaflık oranı sunmaktadır. Bu durumun getireceği kamaşma riski, yüksek soğutma yükü gibi olumsuz sonuçlar, güneş kırıcılarla engellenmeye çalışılmıştır (Şekil 6,7).

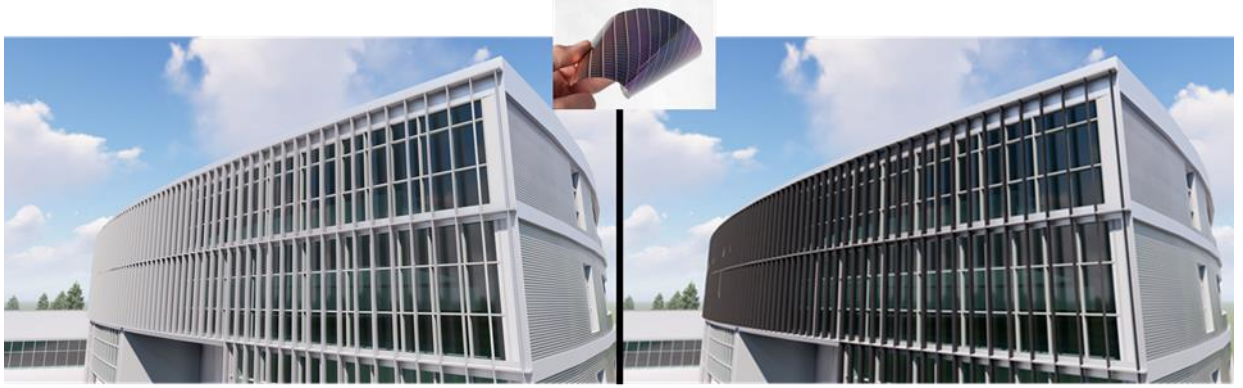


Şekil 6. Karabük Valilik Binasının yarışmada sunulan planı, kesit ve güney cephesi (URL-9)



Şekil 7. Karabük Valilik Binası güney cephesi

Burcu Çalışkan, Melek Akın ve Yaser Almallouhi'den oluşan öğrenci grubu yapının güneş kırıcıları üzerine ince film teknolojisi ile nano PV modüller entegre etmeyi önermiştir. Güney cepheye yerleştirilen güneş kırıcılarını hareketli güneş kırıcılar ile değiştirerek, daha fazla elektrik üretimini amaçlamışlardır (Şekil 8).



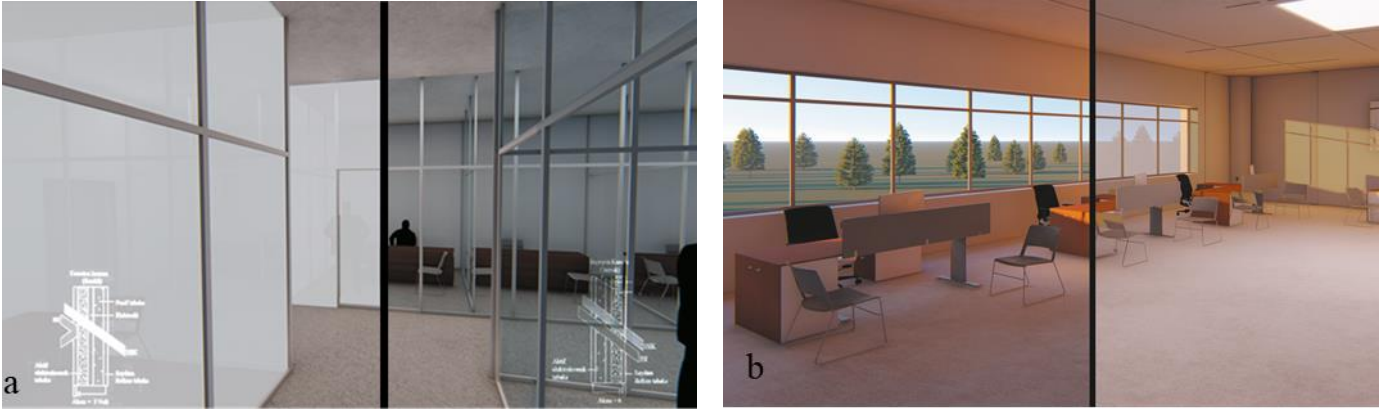
Şekil 8. Yapının güney cephesine nano PV film entegre önerisi

Yapının Karabük'te yer alması ve endüstriyel bir şehir olması nedeniyle hava kirliliği ve buna bağlı olarak cephe kirlilikleri sıklıkla görülebilmektedir. Birçok yapı cephe temizliği için uygun bir bütçe ayıramamakta ve yapıların cephesinde meydana gelen bu kirlenmeler, yapı ve kent estetiğini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu bağlamda yukarıda isimleri verilen öğrenci grubu, valilik binasının yüzeyine adezyon değiştirme özelliğiyle TiO_2 fotokatalitik ince film kaplaması önermiştir. Bu şekilde yapının dış yüzeyine yapışmış olan kirleticilerin fotokatalitik tepkimeler sonucunda parçalanmasını ve hidrofilik özellikteki kaplama üzerine çarpan su damlalarının kaplamanın üzerinde levha şeklini alarak, malzeme yüzeyinden uzaklaştırılmasını hedeflemişlerdir (Şekil 9).



Şekil 9. Yapının cephesine TiO_2 fotokatalitik ince film kaplama önerisi

Kamu binalarında her mekân doğal aydınlatmaya sahip olamayabilmektedir. Bu nedenle ihtiyaç duyulan zamanlarda çalışma odalarının camlarının opaklaşıp, ihtiyaç olmadığı zamanlarda ise şeffaf hale gelebilmesi, mekâna çatı ışıklığından veya atriyumdan doğal aydınlatma şansı sunabilmektedir. Bu özelliğe sahip elektrokromik camlar, pencerede kullanılan jaluzi ya da perde gibi ekipmanların kullanılmasına gerek bırakmadan, pencerelerde gerekli muhafazayı sağlayabilecek ve aydınlatma maliyetlerini düşürecektir. Bu bağlamda, öğrenci grubu Valilik Binası'nın iç mekânında yer alan çalışma odalarının, iç ve dış mekâna açılan pencerelerine elektrik akımı uygulandığında saydamlık oranının değiştiği elektrokromik cam önermiştir (Şekil 10a,b).



Şekil 10. Çalışma odalarının a. iç mekâna b. dış mekâna açılan pencereleri için önerilen elektrokromik camlar

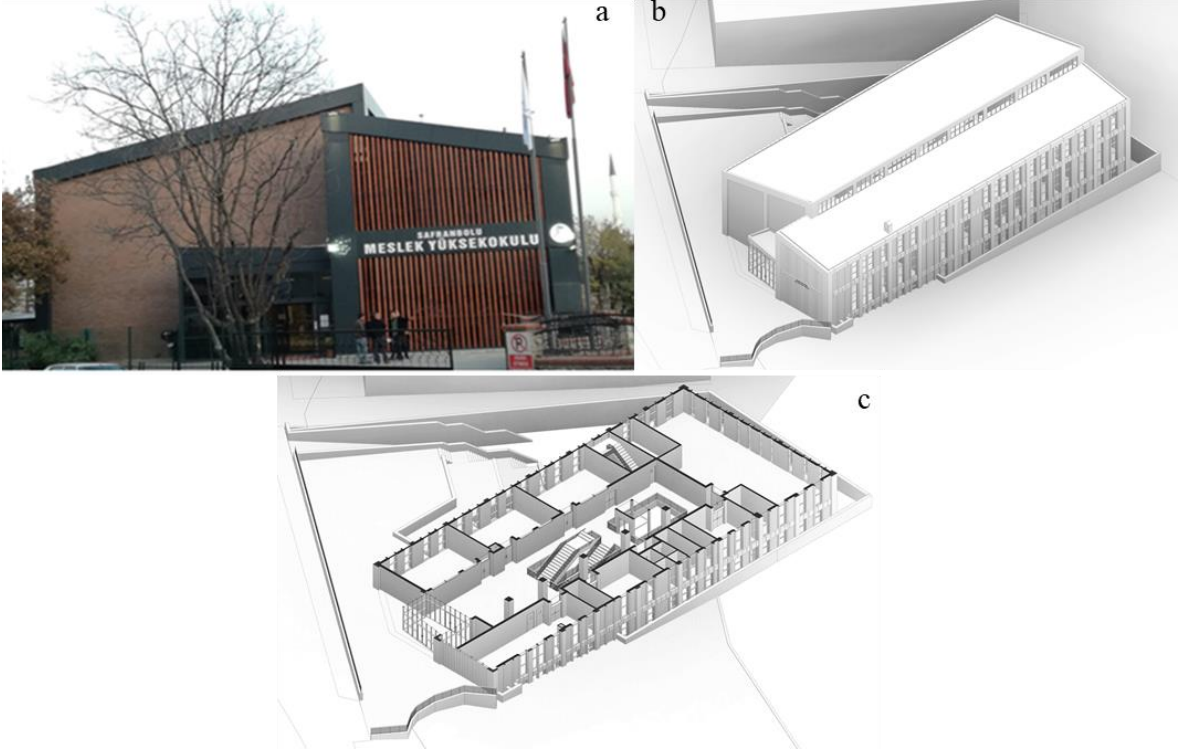
Yapının hizmet yapısı olması nedeniyle insan yoğunluğunun fazla olacağı düşünülerek, öğrenci grubu bu yoğunluktan enerji üretmek amacıyla yapının sirkülasyon alanlarının basınç yoluyla elektrik üreten piezoelektrik malzemeler ile kaplanmasını önermiştir. Böylelikle, yapıya hizmet almak için gelen her kullanıcının, attığı her adımında yapı için enerji üretmesini ve üretilen bu enerjinin aydınlatmada kullanılabilmesini hedeflemiştir. (Şekil 11).



Şekil 11. Sirkülasyon alanları için önerilen pavagen sistem

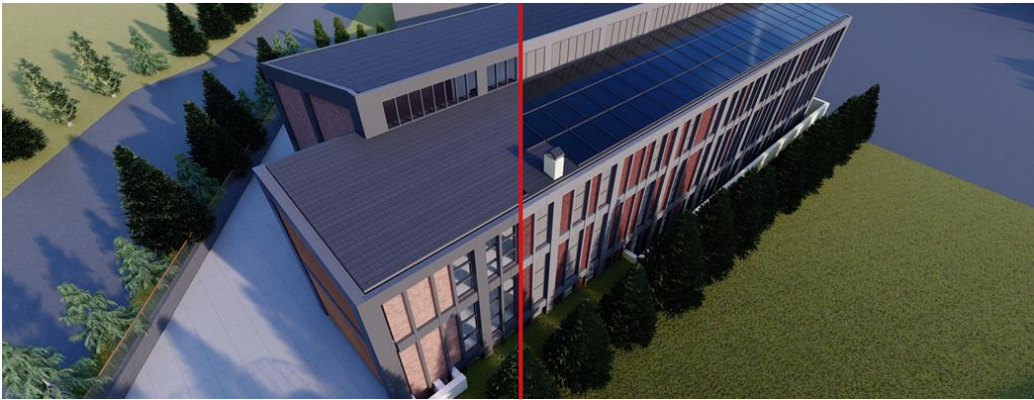
3.2. Karabük Üniversitesi Safranbolu Meslek Yüksekokulu

Safranbolu Meslek Yüksekokulu (SMYO) Karabük ili Safranbolu ilçe merkezinde yer alan brüt 3108 m² bir alana sahip, kuzey-güney aksına 12 derecelik bir sapmayla konumlanan eğitim yapısıdır (Şekil 12b). Yapının üzeri kuzey ve güneye yönlene iki beşik çatı ile örtülmüştür. Yapıda atölye sınıflarının fazla olması nedeniyle, atölyelerde kullanılan cihazlardan kaynaklanan yoğun bir enerji gereksinimi bulunmaktadır. Yapı bodrum kat, zemin ve birinci kattan oluşmaktadır. Mimarı, yapının batı cephesinde geniş bir saydam yüzey tasarlamış (Şekil 12a) ve cepheye batı güneşinden kaynaklanabilecek görsel konfora yönelik kamaşma riskini ve yaz mevsiminde oluşabilecek soğutma yükünü engellemek için ahşap güneş kırıcılar eklemiştir.



Şekil 12. a. SMYO binası batı cephesi b. modeli c. iç mekân modeli

Ahed Gonemi ve Nur Hüda Akbulut'tan oluşan öğrenci grubu yapının çatısına nano PV modüller entegre etmiştir. Yapının tasarım aşamasında atölye ve dersliklerin kuzey cephede yer alması ve yapının gece eğitimi için de kullanılması enerji ihtiyacını artırmıştır. Gereksinilen enerjinin fosil yakıtlardan sağlanması ile maliyetin yanı sıra büyük miktarda CO₂ salımı gerçekleşeceğinden, öğrenci grubu yüksek enerji gereksinimini geleneksel PV modüller yerine nano PV modüllerden sağlamayı hedeflemiştir. (Şekil 13).



Şekil 13. SMYO binasının çatısı için önerilen nano PV modüller

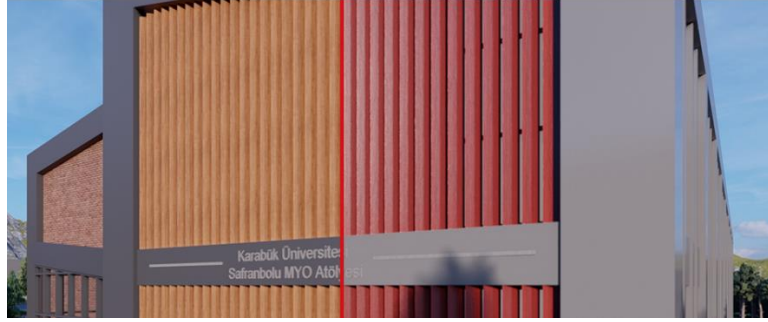
Yapının Safranbolu'da yer alması ile Karabük'teki kirlilikten biraz olsun uzaklaşmış olsa da zamanla cephe kirliliği bütün yapılarda gözlenen bir sorundur. Bu sorun kent estetiğinin bozulmasının yanı sıra, temizlik ve işçilik maliyetleri düşünüldüğünde ise yapının kullanım evresindeki ekonomik yükünü artırmaktadır. Bu nedenle öğrenci grubu tarafından adezyon değiştirme özelliğiyle fotokatalitik etki gösteren kaplamaların, yapının temizlik maliyetlerini düşürmede etkili olacağı düşünülmüş ve cephelerde alüminyum kompozit

panellerin yüzeyine TiO_2 fotokatalitik ince film kaplama önerilmiştir. Önerilen bu kaplama ile cephe yüzeyindeki kirleticilerin malzeme yüzeyinden uzaklaştırılabileceği hedeflenmiştir (Şekil 14). Meslek yüksekokulunun doğu batı aksında yerleşmesi ve geniş kuzey güney cepheleri olması nedeniyle, güneydeki güneş ışınımının yaz ve kış rahatsız edici etkisinin az olması nedeniyle termokromik ya da elektrokromik pencere önerisi getirilmemiştir.



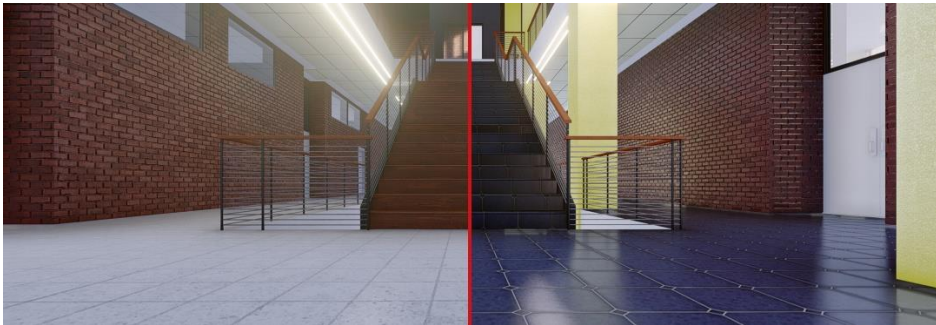
Şekil 14. SMYO binasının cephesine TiO_2 fotokatalitik ince film kaplama önerisi

Yapının batı cephesinde yer alan büyük cam yüzeyde, güneş kontrolü amacıyla ahşap güneş kırıcılar kullanılmıştır. Ahşap malzeme doğal etkilere açık olması ve bünyesine su alabilmesi nedeniyle, sürekli bakım gerektiren bir malzemedir. Aksi durumda, malzemede yapısal bozulma ve şekilsel deformasyonlar görülebilmektedir. Bu nedenle, öğrenci grubu ahşap güneş kırıcıların yüzeyine nano SiO_2 kaplama önermiştir. Bu kaplama, gözeneklerin içine ultra ince bir tabaka halinde penetre olmaları, uygulandığında malzemeye su itici özellik kazandırması nedeniyle suyun malzemenin yapısına geçişini engellemektedir. Şekil 15'te kaplama yapılan yüzey temsili olarak farklı bir renkle sunulmuşsa da, SiO_2 kaplamalar ahşap üzerinde renk ve doku farklılığına neden olmamaktadır.



Şekil 15. Binanın batı cephesinde yer alan ahşap güneş kırıcılara SiO_2 film kaplama önerisi (Temsili)

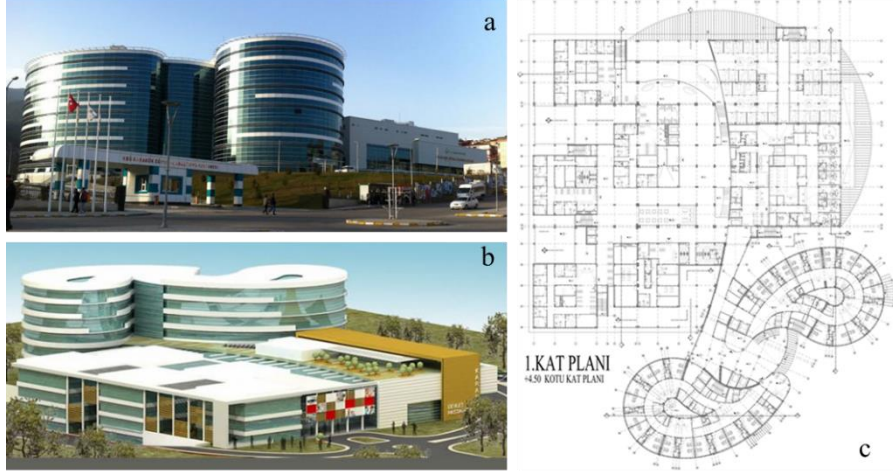
Yapının yüksek kullanıma sahip olması ve sirkülasyon alanlarının görsel konforunun yapay aydınlatma ile sağlanması nedeniyle, öğrenci grubu yapının sirkülasyon alanlarını basınç yoluyla elektrik üreten piezoelektrik malzemeler ile kaplamayı önermiştir. Ayrıca ticari adı pavagen sistem olan malzeme ile yapıda eğitim alan öğrencilerin ürettiği elektrik enerjisinin daha verimli bir şekilde yapay aydınlatmada kullanılması amacıyla, aydınlatma kaynağı olarak OLED ışık kaynaklarını seçmiştir. Böylelikle yapıda yenilenebilir enerji ile daha sağlıklı, kamaşmasız ve estetik yönü daha yüksek bir aydınlatma sağlanmıştır. Ayrıca iç mekanda sirkülasyon duvarlarının birer sergileme ünitesi gibi kullanılması ve yüksek kullanım nedeniyle iç duvarlardaki kirlenmeyi engellemek amacıyla duvarlara su iticilik (hidrofobik), kolay temizlenebilirlik ve kir tutmama özelliklerine sahip lotus etkili nano kaplama önerilmiştir. Önerilen bu kaplama ile iç duvarlarda oluşacak kirliliklerin önüne geçilebilmesi ve temizlik maliyetlerinin azaltılması hedeflenmiştir (Şekil 16).



Şekil 16. Sirkülasyon zemin ve duvarına yapılan öneriler (Piezoelektrik malzeme, OLED aydınlatma ve hidrofobik kaplama)

3.3. Karabük Üniversitesi Eğitim ve Araştırma Hastanesi

Yapımı 2014 yılı Şubat ayında tamamlanan Karabük Merkez İlçesi Şirinevler Mahallesi'ndeki K.B.Ü. Karabük Eğitim ve Araştırma Hastanesi, toplamda 77.200 m² kapalı alanı ve tescilli 440 yatağı ile hizmet vermektedir. Hastane; ayakta ve yataklı olarak tedavi hizmetleri sunan, Sağlık Bakanlığı'na bağlı bir eğitim ve araştırma hastanesidir. Hastanede eğrisel plan şemasına sahip alanlarda yatak birimleri çözülürken, kare planlı alanlar ise poliklinik ve diğer işlevsel birimler olarak tasarlanmıştır. Büyük oranda giydirme cam cephelerden oluşan cephelerde şeffaflık oranı bir hayli yüksektir (Şekil 17).



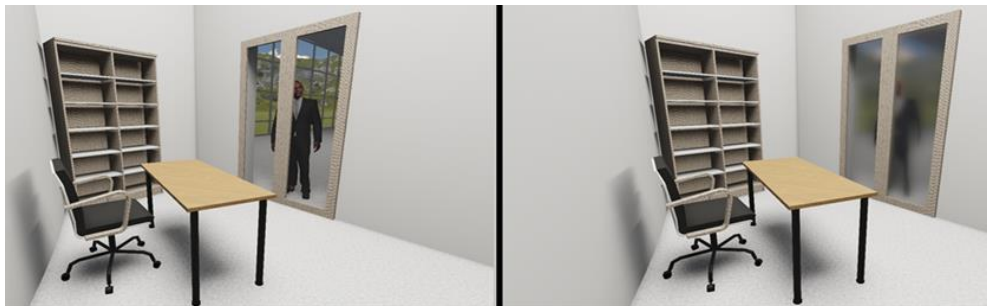
Şekil 17. a.b)K.B.Ü. Eğitim ve Araştırma Hastanesi (URL-10) c. 1.Kat planı

Sümeya Turhan, Havva Koca ve Rahman Sertyamaç'tan oluşan öğrenci grubu, yapıyı detaylı olarak inceledikten sonra yapının Karabük'te olması nedeniyle hava kirliliğinin cephede yaratacağı kirliliği önlemek amacıyla giydirme cam yüzeye TiO₂ fotokatalitik ince film kaplaması önermiştir. Önerilen bu kaplama ile cephe yüzeyine yerleşecek kirleticilerin malzeme yüzeyinden kendiliğinden uzaklaştırılabilmesi hedeflenmiştir (Şekil 18).



Şekil 18. Cam yüzeye TiO₂ fotokatalitik ince film kaplama önerisi

Hastanenin kan alma veya iğne odası gibi birebir işlem yapılan birimlerinde yer alan cam yüzeylerin gerektiğinde opak yüzeylere dönüşebilmesi birçok hassasiyetin önüne geçmesi açısından önemlidir. Bu nedenle, öğrenci grubu hasta hassasiyetine önem vererek birebir teşhis ve tedavi yapılan birimlere istendiğinde bir hareket ya da kumanda ile opak yüzeye dönüşebilen likit kristal cam önermiştir (Şekil 19).



Şekil 19. Birebir tedavi ve teşhis birimlerine yapılan likit kristal cam önerisi

Hasta odalarının yüksek şeffaflık oranına sahip olması, iç mekânda yaz mevsiminde soğutma yükünün artmasına neden olacağı gibi kullanıcının ısı konforunu da olumsuz etkileyebilecektir. Bu nedenle öğrenci grubu tarafından yüksek güneş ışınımının engellenmesi amacıyla, hasta odalarına ısıya duyarlı olan ve saydamlıkları sıcaklıkla değişen termokromik cam önerilmiştir. İçeriğindeki jellerle gün ışığını yansıtan ve ışık geçirgenliğini azaltarak günü ışıgını sönümleyen bu camlarla, kumanda veya insan etkisine ihtiyaç duyulmadan odanın soğutma yükünün engellenebilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca hasta odaları, hijyenin ön planda olması gereken mekânlardır. Genellikle, hastalar odadan çıkış yaptıktan sonra mekânın zemini ve tefriş elemanları temizlense de duvarlar için herhangi bir işlem yapılmamaktadır. Oysaki hasta odalarının duvarları büyük yüzey alanıyla sağlıksız ortamların oluşmasında büyük paya sahiptir. Duvarlarda oluşabilecek biyolojik ve fizyolojik kirlenmeyi engellemek amacıyla öğrenci grubu tarafından hasta odalarının duvarlarına antibakteriyel ve kendi kendini temizleyebilen boya önerilmiştir (Şekil 20). Hastane yapılarında hijyenin ön planda olması gereken bir başka alan ise tuvaletlerdir. Genel kullanımın hâkim olması nedeniyle hızlı ve büyük oranda kirlenen bu mekânlar için önerilen harekete duyarlı batarya ve kapılar, el değmeden kapı ve suyun açılmasını sağlayacağından, kullanıcılara bakteri ve virüslerin bulaşmasını önlemesi açısından önemlidir (Şekil 21).



Şekil 20. Hasta odalarına termokromik cam ve duvarlarına ışıkla kendini temizleyen boya önerisi



Şekil 21. Genel ıslak mekânlara önerilen harekete duyarlı batarya ve kapı önerisi

Yapının poliklinik bölümlerinde kullanıcı yoğunluğunun yüksek olması nedeniyle, bu hareketten yararlanmak amacıyla sirkülasyon alanlarına öğrenci grubu tarafından basınç yoluyla elektrik üreten piezoelektrik malzemeler kaplanması önerilmiştir. İnsanların yürümleri ile sağlanacak bu enerjinin ise yüksek enerji kullanımına sahip olan yapıda aydınlatma işlevi için kullanılabilmesi düşünülmüştür (Şekil 22).



Şekil 22. Yapının dolaşım alanlarının zeminine piezoelektrik malzeme kaplama önerisi

4. Sonuç

Çalışma kapsamında literatürde ve uygulamada öne çıkan akıllı malzemelere ve bu malzemelerin Karabük'te seçilen hizmet, eğitim ve sağlık yapılarının hangi alanlarında ne şekilde uygulanabileceği üzerine öğrenci grupları tarafından yapılan önerilere yer verilmiştir. Her kamusal yapının farklı gereksinimlerinin ve öne çıkan ihtiyaçlarının olduğu gözlenmiş ve soruna uygun çözümler getirilmesi hedefi ile, hangi akıllı malzemelerin bu yapılarda öne çıkabileceği saptanmaya çalışılmıştır. Çağdaş Yapı Malzemeleri Dersi kapsamında öğrencilerin teorik altyapıyı kullanarak Karabük'te kamu yapılarını yeniden ele alıp ve akıllı malzemeler üzerinden stüdyo ortamında bu yapıların malzemelerini yeniden kurgulamaları sonucunda önerilen akıllı malzemelerin listesi Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Seçilen kamu yapıları için önerilen akıllı malzemeler

Önerilen akıllı malzemeler	Kullanım Amacı	Valilik Binası	Safranbolu Meslek Yüksek Okulu	KBÜ Eğitim ve Araştırma Hastanesi
TiO ₂ film kaplama	Cepheye hidrofilik özellik kazandırmak ve cephenin kendi kendini temizlemesini sağlamak	x	x	
SiO ₂ film kaplama	Cephedeki ahşap güneş kırıcıların su emmesini engelleyerek malzemede oluşabilecek bozulmaların önüne geçmek		x	
Hidrofobik kaplama	İç duvarda kolay temizlenebilir yüzeyler sağlamak ve kir tutmayı engellemek		x	
Antibakteriyel ve kendi kendini temizleyen boya	Hijyen gerektiren mekanlarda bakteriyel oluşumları engellemek			x
Elektrokromik cam	Gerekli zamanlarda şeffaflığın azaltılıp artırılmasıyla, ışık almayan sirkülasyon mekanlarını aydınlatmak	x		
Termokromik cam	İç mekanda ısı konforu ve enerji etkinliğini sağlamak			x
Likit kristal cam	Hasta hassasiyetine bağlı durumlarda opaklığı artırmak			x
Piezoelektrik malzeme	Basınç yoluyla elektrik üreterek, hareket enerjisinden faydalanmak	x	x	x
Nano PV modül	Geleneksel modüller göre daha fazla enerji kazancı elde etmek	x	x	
Harekete duyarlı kapı ve batarya	Hijyen gerektiren mekanlarda kişilerin kapı ve bataryalara dokunmadan ihtiyaçlarını gidermesini sağlamak			x
OLED aydınlatma	Sergi mekanlarında kamaşmasız ve sağlıklı bir aydınlatma sunmak		x	

Öneriler kısaca incelendiğinde, valilik binasında dış cephe kaplaması yüzeyine adezyon değiştirme özelliğiyle TiO₂ fotokatalitik ince film kaplama, güneş kırıcıları üzerine ise ince film teknolojisi ile üretilen nano PV modüller entegre edilmiştir. Ayrıca iç mekanda yer alan çalışma odalarının iç mekâna ve dış mekâna açılan pencerelerine elektrik akımı uygulanması sonucu saydamlık oranının değiştiği elektrokromik cam ile sirkülasyon alanlarına basınç yoluyla elektrik üreten piezoelektrik malzeme kaplaması önerilmiştir.

SMYO binasına yüksek enerji gereksinimini nedeniyle nano PV modüller ve cephelerde alüminyum kompozit panellerin yüzeyine TiO₂ fotokatalitik ince film kaplama ile ahşap güneş kırıcıların üzerine malzemeye su itici özellik kazandıran SiO₂ kaplama malzemesi önerilmiştir. İç mekanda ise, yapının yüksek kullanıma sahip olması ve sirkülasyon alanlarının görsel konforunun yapay aydınlatma ile sağlanması nedeniyle, bu alanların basınç yoluyla elektrik üreten piezoelektrik malzemeler ile kaplanması ve kullanılan aydınlatmaların OLED ışık kaynaklarından seçilmesi önerilmiştir. Ayrıca iç mekan duvarlarında, kirlenmeyi engellemek amacıyla su iticilik (hidrofobik), kolay temizlenebilirlik ve kir tutmama özelliklerine sahip lotus etkili nano kaplama öne çıkmıştır.

KBÜ Eğitim ve Araştırma Hastanesi'nde ise hava kirliliğinin cephede yaratacağı kirliliği önlemek amacıyla giydirmeye cam yüzeye TiO₂ fotokatalitik ince film kaplama ile iç mekanda bireysel tedavi ve teşhis birimlerine istendiğinde bir hareket ya da kumanda ile opak yüzeye dönüşebilen likit kristal cam önerilmiştir. Hasta odalarında ısı konforu sağlamak amacıyla ısıya duyarlı olan ve saydamlıkları sıcaklıkla değişen termokromik cam ve duvar yüzeylerine antibakteriyel ve kendi kendini temizleyebilen boya önerisi anlamlı bulunmuştur. Ayrıca genel tuvalet birimlerinde harekete duyarlı batarya ve kapılar hijyenin sağlanmasında öne çıkarken, sirkülasyon

alanlarına önerilen basınç yoluyla elektrik üreten piezoelektrik malzeme kaplamasının ise enerji üretiminde etkili olacağı düşünülmüştür. Sonuç olarak bu öneriler bağlamında, kamu yapılarında öne çıkan problemlere uygun olarak seçilen doğru akıllı malzeme kullanımı ile işlevselliğin, görsel algının, ısı ve görsel konforun, çevre koşullarına uyumun ve enerji etkinliğinin artırılacağı gözlenmiştir.

Kaynakça

- Addington, M., & Schodek, D. (2005). *Smart Materials and New Technologies For Architecture and Design Professions*. Harvard University, Architectural Press, Elsevier. New York.
- Beyhan, B., Cellat, K., Karahan, O., Konuklu, Y., Dündar, C., Güngör, C., & Paksoy H., (2016). Bina Yapı Malzemeleri İçin Mikrokapsüllenmiş Faz Değiştiren Madde Geliştirilmesi, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 154.
- Demir, N., (2011). Yüksek Yapılar ve Sürdürülebilir Enerji, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Feng, W., Zou, L., Gao, G., Shen, J. & Li., W., (2016). Gasochromic Smart Window: Optical and Thermal Properties, Energy Simulation and Feasibility Analysis, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 144, 316-323.
- Fujishima, A., & Honda, K. (1972). Electrochemical photolysis of water at a semiconductor electrode. *Nature*, 238(5358), 37-38.
- Güngör, S. G., & Kabul, A., (2015). Sodyum Asetat Trihidratlı Güneş Enerjili Isıtma Sisteminin Performans Analizi, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknik Dergisi*, 3, 4, 27-35.
- Kazanasmaz, T., & Diler, Y., (2011). Gelişmiş Cam Teknolojileri ile Enerji Etkinliğinin Değerlendirmesi, VI. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu ve Sergisi, Kasım, İzmir, Bildiriler Kitabı, 84-93.
- Kienl, N., (2002) Evaluating Dynamic Building Materials, Doktora Tezi, Harvard University, Cambridge, 18-27,149-155.
- Koçyiğit, M. Ç., (2014). Isıl Olarak İşlenmiş Bentonit Örneklerinde Metilen Mavisi Adsorpsiyonu, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Orhon, A.V., (2012). Akıllı Malzemelerin Mimarlıkta Kullanımı, *Ege Mimarlık*, 82,18-21.
- Orman, Y., (2014). Nano Yapılı Titanyum Dioksit İnce Filmlerin Büyütülmesi ve Nem Sensörlerinin Üretilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Ritter, A. (2007). *Smart Materials in Architecture, Interior Architecture and Design*. Birkhause, Publishers for Architecture. Almanya.
- Şahin, O.Z., (2019), Nanoteknolojik Ürünlerin Giydirme Cephe Sektörü Bağlamında Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Şam, E. D., Ürgen, M., & Tepehan, F. Z. (2011). TiO₂ fotokatalistleri. *İTÜDERGİSİ/d*, 6(5-6).
- Wilson, H. R. (2004). High-performance windows. *Freidburg Solar Academy*.
- Yağlı, S., (2019). Teknolojik Gelişmelerin Etkisi İle Yüzeylerde Malzeme Kullanımı: Akıllı Malzemeler, Yüksek Lisans tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yüksel Ayvaz, Ö. (2019). Akıllı Malzemelerin Mimaride Kullanım Olanakları, Yüksek Lisans tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Zamalloa, A., Embil, M. J., Zuñiga, J., Zubillaga, O., Cano, F., Flores, I., ... & INASMET-Tecnalia, M. P. (2006). PCM containing indoor plaster for thermal comfort and energy saving in buildings. *Vittoria, Spain*.
- URL-1: <http://www.duluthenergydesign.com/Content/Documents/GeneralInfo/PresentationMaterials/2014/Day3/hulsan-elegla.pdf>
- URL-2: https://sageglass.com/sites/default/files/mos_casestudy.pdf
- URL-3: <https://www.pilkington.com/en-gb/uk/householders/types-of-glass/self-cleaning-glass>
- URL-4: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Helen_DeVos_Children's_Hospital_1.jpg
- URL-5: <https://www.arch2o.com/bloom-installation-do-su-studio-architecture/>
- URL-6: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Elektrol%C3%BCminesans>
- URL-7: <http://www.ledportali.com/oled-aydinlatma-uygulamalari/>
- URL-8: <https://pavegen.com/>
- URL-9: <https://v3.arkitera.com/yp76-karabuk-belediyesi-hizmet-binasi-ulusal-mimari-proje-yarismasi.html>
- URL-10: <http://www.karabukyeynice.bel.tr/karabukyeynice/?syf=habergoster&id=1277>