

Bartın Üniversitesi Kampüs Binaları Örneği Üzerinden Nanoteknolojinin Mimarlığa Katkıları

Doç. Dr. Asena SOYLUK¹, Doç. Dr. İdil AYÇAM², Gülден KÖSE³

¹Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Ankara, asenad@gazi.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-6905-4774>

²Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Ankara, iaycam@gazi.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-7170-5436>

³ Doktora Öğrencisi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, guldenaslankose@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0005-8918>

ÖZET

Günümüzde kirliliğe ve doğal alanlardaki tahribata büyük oranda kentlerdeki fiziksel yapı çevrenin sebep olduğu bilinmektedir. Yüklendiği işlevler sebebiyle üniversite kampüsleri de birer kent modeli olarak kurgulanmaktadır. Türkiye’de ve dünyada sayıları giderek artan üniversite kampüsleri, sürdürülebilir mimarinin ön planda olduğu alanlardandır. Mimaride sürdürülebilir tasarımın en önemli girdilerinden biri yapı malzemeleridir. Yapısal malzemeler, yalıtım malzemeleri, kaplamalar, yapıştırıcılar, hava/su arıtma ve güneş enerjisi teknolojilerindeki yeniliklerle birlikte yüksek performanslı yapılara ve son teknoloji uygulamalara geçiş mümkün olabilmektedir. Bu yenilikçi teknolojilerin başında oldukça yaygınlaşan nanoteknoloji gelmektedir. Bu çalışma kapsamında kullanılan nanoteknolojik malzemeler farklı kullanım ve yapısal özelliklerine göre sınıflandırılmıştır. Alan çalışmasında Bartın Üniversitesi Kutlubey Kampüsü’nde bulunan binaların başlıca fonksiyonel ihtiyaçları ve çevresel sorunları belirlenerek, mevcut binaların cephelerinde nanoteknolojik malzeme kullanım önerileri geliştirilmiş ve görselleştirilmiştir. Önerilen nanomalzemeler, TiO₂, SiO₂ film kaplama, aerojel dolgu ve nano pv modüldür. Bu malzemelerin kullanımı sırasıyla; cepheye kendi kendine temizlenebilme ve hidrofilik özellik kazandırma, cephe kaplamasının su emmesini engelleyerek malzemede oluşabilecek bozulmaların önüne geçme ve buğulanmayı önleme, duvarda kolay temizlenebilir yüzeyler sağlama ve kir tutmayı engelleme, Işık kontrolü, iç mekânda ısı konforu ve enerji etkinliğini sağlama, geleneksel PV modüllerine göre daha çok enerji elde etme nedeniyledir.

İncelenen üç kampüs yapısının cephelerinde kullanılan mevcut kaplama malzemelerinin birim fiyatları ile önerilen nanomalzeme fiyatları karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak ülkemizde nanomalzemelerin yeterince yaygınlaşmadığı ve fiyatlarının oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Ancak yapıların fonksiyonel ve çevresel özellikleri göz önüne alındığında, malzemenin, dayanımı, ve dayanıklılığının (durabilite) iyileştirilmesi açısından geleneksel malzemelere göre yüksek performans gösteren bu teknolojinin mimarlar tarafından tasarıma dahil edilmesi inşaat sektöründe kullanımını yaygınlaştıracaktır.

Anahtar Kelimeler: Nanoteknoloji, nanomimarlık, nanomalzeme, kampüs yapıları

The Contribution of Nanotechnology to Architecture Through the Sample of Bartın University Campus Buildings

ABSTRACT

Today, it is known that the physical built environment in cities is largely caused by pollution and destruction in natural areas. University campuses are also designed as city models, due to the functions they assume. Increasing numbers of university campuses in Turkey and around the world are among the areas where sustainable architecture is at the forefront. One of the most important inputs of sustainable design in architecture is building materials. With innovations in structural materials, insulation materials, coatings,

adhesives, air/water treatment and solar energy technologies, it is possible to transition to high-performance structures and state-of-the-art applications. One of these innovative technologies is nanotechnology, which has become widespread. The nanotechnological materials used in this study have been classified according to different usage and structural characteristics. In the field study, we identified the main functional and environmental issues of the buildings located at the Kutlubey Campus of Bartın University and developed and visualized suggestions for the use of nanotechnological materials on the facades of the existing buildings. The recommended nanomaterials are TiO₂, SiO₂ film coating, aerial filling and nano PV module. The use of these materials, respectively; self-cleaning and hydrophilic properties on the façade, preventing deterioration and condensation of material by preventing water absorption of the façade coating, providing easy-to-clean surfaces on the wall and preventing dirt retention, light control, internal thermal comfort and energy efficiency, and achieving more energy than conventional PV modules.

Unit prices of the existing coating materials used on the facades of the three campus structures were reviewed and the recommended nanomaterial prices were compared. As a result, nanomaterials have not become widespread enough in our country and their prices are quite high.

However, given the functional and environmental aspects of the buildings, the inclusion of this technology, which performs in comparison to conventional materials in terms of improving material strength, durability, and durability (durability) by architects in the design will make the construction industry widespread.

Keywords: Nanotechnology, nanoarchitecture, nanomaterials, campus buildings

1. GİRİŞ

Yapıların sürdürülebilir özellikli olmasını sağlayan en önemli etken o yapının dış ortam ile temasını sağlayan yüzeylerinin en uygun koşulları taşımasıdır. Değişebilir durumlara uyum sağlayan sistemlere hizmet eden ürünler nanoteknolojik ürünlerdir. Nano-ürünler her ne kadar yüksek maliyetli olarak karşımıza çıksa da kısa sürede kar elde edilmesini sağlarlar (Mukhopadhyay, 2011). Yakın dönemde yüksek performanslı sürdürülebilir yapı malzemeleri ile akıllı yapılar veya akıllı sistemler diyebileceğimiz nanoteknoloji tabanlı gelişmeler ve tanımlamaların sayısı giderek artmaktadır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Nanoteknoloji

Son yıllarda mimarlık alanının da keşfettiği ve tasarım uygulamalarında birçok inovasyona olanak sağlayan nano teknoloji, yeni ve giderek yaygınlaşan bir üretim anlayışıdır. "Nano" kelimesinin kökeni Yunanca "nanos" kelimesinden gelmekte olup, "cüce" anlamına gelmektedir. Nano ifadesi, herhangi bir ölçünün milyarda birini tanımlamaktadır. Nanometre ise metrenin milyarda biri (10^{-9}) ölçeği ile tanımlanmaktadır (Birgisson, Mukhopadhyay, Geary, Khan, Sobol 2012). Mann, nanoteknolojiyi "iyileştirilmiş veya tamamen yeni özelliklere sahip malzemeler geliştirmemize olanak tanıyan bir teknoloji" olarak tanımlamaktadır (Mann, 2006).

2.2. Nanoölçek

Nanomalzemeler genellikle 0,1 ila 100 nanometre arasında olan malzemeler olarak tanımlanır (bir nanometre milimetrenin milyonda biridir). Bir karşılaştırma olarak, insan saç teli kalınlığı 80.000 nm, DNA çift sarmalının çapı 2 nm'dir. Nano ölçekte malzemeler genellikle normal boyutlu hallerinden çok farklı fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikler gösterir (Pacheco-Torgal, Jalali, 2011).

2.3. Nanoparçacık

Nanoteknoloji dünyasında kendi başına bir birim gibi davranabilen parçacık tek bir nesnedir. Mimari yönden ise bu parçacıklar malzemeyi anlamlandırır. Cam yüzeyler kendi kendini temizleyebilir, beton dayanıklı ve güçlü hale gelebilir, çelik daha sert olabilir, zemin yüzeyler çizilmeye karşı korunaklı olabilir. Bu gibi küçük değişimler sürdürülebilir çevre açısından büyük önem taşımaktadır (Hemeida, 2010).

2.4. Nanomalzeme

Doğada bulunan karbon ve gümüş gibi elementlerden nano boyutta atom parçaları oluşturulur. Bu malzemelerin atom ve molekül yapıları değiştirilir, daha işlevsel hale getirilir, nano malzemeye dönüştürülür (Baykara, Günay, Musluo, 2010). Nanoparçacıkların değişen yapıları sayesinde, kozmetikler, koruyucu kaplamalar, yüzey kaplamaları, tekstil, antibakteriyel bandajlar, deterjan ve dezenfektanlar, nanorobotlar, kendi kendine temizlenebilen boyalar gibi çok sayıda nanomalzeme üretilerek satışa sunulmaktadır (Tüylek, 2016).

3. Nanomimarlık

Nanoteknoloji sayesinde malzemelere ısı depolama, süper ısı yalıtkanlığı, kendi kendini, havayı temizleme, bakterilere karşı korunma, enerji üretme, gibi özellikler yüklenebilmekte, bunların yanında strüktürel dayanım, saydamlık, yangına karşı dayanıklılık, ses yalıtımı gibi var olan özelliklerin kontrol edilmesi sağlanmaktadır. (Tokuç, Taşçı 2014). Nanoteknoloji var olan malzemelerin kalitesini ve performansını en üst düzeye çıkarmanın yanı sıra, zaman ve kullanmaya bağlı yıpranmaların da önüne geçerek fiziksel ömrünü uzatma, malzemelerin daha etkin kullanımı ile üretim sağlama, işletme, bakım ve onarım gereksinimlerini en aza indirmeye gibi birçok kritere katkıda bulunmaktadır (İlerisoy, Takva, 2017).

3.1. Sürdürülebilir Mimarlıkta Nanoteknoloji

Sürdürülebilir mimari bir binanın ekolojik, sosyal ve çevresel durumlarını en geniş çerçeveden görmemizi sağlamaktadır. 1994 yılında, Bina ve İnşaatla Uluslararası Araştırma, İnovasyon Konseyi (CIB) sürdürülebilir inşaatın amacını "kaynak verimliliği ve ekolojik tasarıma dayalı sağlıklı bir çevre yaratmak ve işletmek" olarak tariflemiştir (Kibert, 2016).

Binalarda kullanılan akıllı malzemelerin sürdürülebilirlik özellikleri şu şekilde sıralanabilir:

- Fosil kaynaklı yakıt tüketiminden oluşan hava kirliliğini temizleme,
- Çevreye verilen zararın azaltılması,
- Gölgeleme – iç mekan konfor koşulları,
- Binanın karbon salımını azaltması (Altın, Orhon, 2014).

Nanoteknolojinin başlıca mimari uygulamaları şu şekilde sıralanabilir:

- Yapı malzemelerinin kalitesini ve dayanıklılığını arttırmak,
- Kirliliği en aza indirmek için nanoparçacıkların, nanofiberlerin ve karbon nanotüplerin kullanılması,
- Korozyona dayanıklı çeliğin daha düşük maliyetlerle üretimi,
- Yüksek performanslı ısı yalıtım malzemeleri üretimi,
- Kirliliği ve enerji kullanımını azaltmak için kendi kendini temizleyebilen ve renk değiştirebilen ultra ince tabakaların üretimi,
- Daha güvenilir yapılar için kendi kendini onarabilen nanosensörlerin ve nanomalzemelerin üretimi (Babuka, 2016).

Yapı malzemeleri içerisinde kullanılabilecek başlıca nanoteknolojik malzemeler; Titanyum Dioksit (TiO₂), Silika (SiO₂), Demir Oksit (Fe₂O₃), Karbon Nanotüpleri (CNT), Gümüş

Nanopartiküller (Ag), Nano Alümina (Alüminyum Oksit) (Al_2O_3), Bakır Nanopartiküller (Cu), Magnezyum Nanopartikülleri, Aerojeller ve Killerdir. Titanyum dioksit (TiO_2) kendisine tutunan kirletici maddeleri absorbe etme ve fotokatalitik özelliği nedeniyle mimari uygulamalarda kullanıma girmiştir (Ritter, 2007). Bu kaplamalar ışığa maruz kaldığında kendi kendine temizleme özellikleri sebebiyle ameliyathane vb. sağlık mekânlarında kullanılabilir. Malzemenin hidrofilik özelliği nedeniyle bu tip kaplama uygulanan camlar 'buğu yapmama' özelliği de kazanırlar (Orhon, 2012).



Resim 1. Centre Pompidou Modern Sanat Müzesi, Metz, Fransa, 2010 (Url 1)

Fransa'da bulunan ve 2010 yılında Shigeru Ban tarafından tasarlanan Centre Pompidou Modern Sanat Müzesi'nde (Resim 1) çatı kaplaması olarak titanyum dioksit fotokatalitik membran kullanılmıştır. Fotokatalitik membran mevsime göre saydamlık kontrolü sağlamakta ve kendi kendini temizleme özelliği göstermektedir (Url 1).

3.1.1. Nanoteknoloji ve beton

Nanokompozit araştırmalar beton malzemesinin özelliklerini daha üst koşullara taşınmayı amaçlamaktadır. Beton katkı maddesi olarak Titanyum Dioksit (TiO_2), Karbon Nanotüp, Nano-Alümina (Al_2O_3) ve Nano Silika (SiO_2) gibi nanomalzemeler kullanılabilir. Bu gibi nanomalzemeler çok küçük olduklarından, betonun yapısındaki boşlukların doldurulmasıyla malzemenin dayanımını artırmaktadır. Ayrıca nanomalzemeler sayesinde beton üretimi sırasında gerçekleşen hidrasyon reaksiyonunun hızlandığı da bir çok çalışmada gözlemlenmiştir (Şahin, 2019). Nanoparçacıklar ve karbon nanotüpler gibi çok işlevli malzemeler çimento harcı numunelerinin basınç dayanımını önemli ölçüde arttırmakta, dayanımını izleme ve hasar tespiti için kullanılabilirliğini göstermektedir (Babuka, 2016).

Sıkça kullanılan kimyasal katkı maddelerinden biri süper akışkanlaştırıcılardır (SA). SA katkıları arasında en yüksek eğilme ve basınç dayanımını, melamin kökenli süper akışkanlaştırıcı katkı maddesinin sağladığı söylenebilir (Dur, 2003). Bu tür betona Kendiliğinden yerleşen beton (KYB) da denmektedir. Kendiliğinden yerleşen betonun (KYB) en önemli özelliği, tesviye etmek ve sağlamlaştırmak için titreşime ihtiyaç duyulmamasıdır. Nanoparçacıklar beton yüzeydeki küçük çatlaklara nüfuz ederek boşlukları kapatmaktadır. Kısa sürede yüksek dayanım sağlaması, minimum işçilik gerektirmesi, ekonomik olması, hızlı uygulanması, vibrasyona gerek duyulmadan kalıba kendi ağırlığı ile yerleşebilmesi gibi yararlar sağlamaktadır (Reddy, Kumar, Raj, 2020).



Resim 2. Phaeno Bilim Merkezi, Wolfsburg, Almanya, 2005 (Url 2)

Zaha Hadid tarafından tasarlanan Prtizer ödüllü, Almanya'nın Wolfsburg kentindeki Phaeno Bilim Merkezi (Resim 2), Avrupa'daki kendiliğinden yerleşen beton ile inşa edilen en büyük yapıdır. Bu beton türünü kullanmak bu binanın farklı biçimine ulaşabilmeyi kolaylaştırmıştır. Sergi salonları, laboratuvar ve bir bilim tiyatrosu bulunan yapıda yaklaşık 27000 metreküp beton, bununla birlikte 3500 çelik kiriş kullanılmıştır (Url 2).

Titanyum dioksit katalitik reaksiyonları nedeniyle organik kirleticilerden, uçucu organik bileşiklerden ve bakterilerden korunabilmektedir. Bu nedenle boyalara, çimentolara, pencerelere, fayanslara veya diğer ürünlerde kullanılarak antibakteriyel olma, koku giderme ve kir önleme özelliği kazandırılır. Ek olarak, TiO_2 UV ışığına maruz kaldığında, giderek hidrofilik hale gelir (suyu çekici), bu nedenle buğulanmayı önleyici kaplamalar veya kendi kendini temizleyen pencereler için kullanılabilir. Bu nanoparçacık ayrıca performansını arttırmak için betona eklenmektedir. Ortaya çıkan beton, beyaz bir renge sahiptir ve rengini korumaktadır (Babuka, 2016).



Resim 3. Jubilee Kilisesi, Roma, İtalya, 2003 (Url 3)

Richard Meier tarafından Roma'da tasarlanan Jubilee Kilisesi (Resim 3), kütsel beton duvarlarla oluşturulmuş bir yapıdır. Bu beton duvarların büyük termal kütseli sayesinde iç ısı kazanımlarını kontrol edilmekte ve kullanılan titanyum dioksitin etkisiyle kilisenin beyaz görünmesini ve kendi kendini temizlemesini sağlanmaktadır (Url 3).

3.1.2. Nanoteknoloji ve elik

elik, betonarme ile birlikte birincil inşaat malzemesi olarak nanoteknolojideki yeniliklerden faydalanan bir diğer malzemedir. Araştırmalar, bakır nanoparçacıkların eklenmesinin, çeliğin yüzey düzensizliğini azalttığını, bunun da çatlamayı sınırladığını göstermiştir (Babuka, 2016). Bakır nanopartiküllerin eklendiği çeliğin korozyona karşı direnci artmakta ve daha kolay şekillendirilebilmektedir (şahin, 2019). Bakır nanoparçacıkları çeliğin yüzey pürüzlülüğünü azaltmakta, çatlamasını sınırlandırmakta, güvenliği arttırmaktadır. Benzer şekilde, vanadyum ve molibden nanopartiküllerinin kullanımı, yüksek mukavemetli cıvatalarla ilişkili gecikmeli kırık problemlerini iyileştirmekte, hidrojen gevrekleşmesinin etkilerini azaltmakta ve tanecikler arası sementit fazının etkilerini azaltarak çeliğin mikro yapısını geliştirmektedir (Selçuk, Ayçam, 2017).



Resim 4. Dear Jingumae Ofis Binası, Shibuya, Japonya, 2014 (Url 4)

Japonya'nın Shibuya kentinde Mimar Yoshihiro Amano tarafından dönüştürülen Dear Jingumae Ofis Binası'nın (Resim 4) tasarımında binayı ne çıkarmak ve daha yumuşak hatlar oluşturmak hedeflenmiştir. Bu sebeple modern, elik bir panjurla kaplayarak yeni bir giysi tasarlanmıştır. Bu elik cephe bakır nanoparcıklar eklenerek korozyon direnci ve şekil alma kabiliyeti arttırılmıştır (Url 4).

Çeliğin sementit fazının nano boyuta getirilmesiyle daha gğl elik halatlar üretilmektedir. Yüksek mukavemetli elik halatlar köprü yapımında kullanılmaktadır. Bu geliştirilmiş halatlar, özellikle asma köprülerde inşaat maliyetlerini ve inşaat süresini azaltabilmektedir (Babuka, 2016).



Resim 5. Seri Wawasan Köprüsü, Putrajaya, Malezya, 2003 (Url 5)

PJS International Sdn. Bhd. Firması tarafından 2003 yılında tasarlanan Malezya'nın Putrajaya kentindeki Seri Wawasan Köprüsü (Resim 5), 168,5 m açıklık geçmektedir. Toplam uzunluğu 240 m, genişliği ise 37,2 metre, yüksekliği 85 m olan köprüde nanopartiküllerle performansı artırılmış 102 adet çelik halat kullanılmıştır (Url 5).

3.1.3. Nanoteknoloji ve ahşap

Ahşap nanoteknoloji dünyasında iki farklı şekilde karşımıza çıkar; mevcut olan malzemeyi geliştirmek ve yeni bir malzeme meydana getirmek. Su direncini artırmak için bariyer oluşturan kaplamalar ve ahşabın dayanımı artıran ahşap elyafla oluşturulmuş kompozitler mevcut malzemeyi geliştirebilmek için yapılan uygulamalardır. İkinci durum ise ahşabın nano ölçekli özelliklerinden faydalanmak, böylece CNT'ler ile çelik, beton gibi strüktürel malzemeler gibi yüksek dayanımlı, ayrıca ahşabın kendi özellikleri olan hafif, ekonomik, çok işlevli, biyolojik tabanlı tamamen yeni bir malzeme geliştirmektir. Ancak bu yöntem günümüz şartlarında oldukça maliyetlidir. Ahşap ıslak koşullar altında çürümeye, küflenmeye ve böceklenmeye eğilimli olabilmektedir. Nanoteknoloji ile emprenyeden (ahşabın kimyasal maddelerle kaplanarak dış etkenlere karşı dayanıklı hale getirilmesi işlemi) daha etkin sonuçlar elde edilmektedir. ZiO_2 , gümüş, TiO_2 nanoparçacıkları ile yapılan koruyucu işlemler nem bariyerleri oluşturma ve böceklenme, mantar oluşumu ve çürümeye karşı korucu olarak kullanılmaktadır. Ayrıca TiO_2 ve killer gibi nanoparçacıkların kullanılmasıyla yangına karşı direnç artırılabilir (Sev, Ezel 2014). Ahşap için silika ve alümina nanopartiküller ve hidrofobik polimerler içeren yüksek oranda su itici kaplamaların kullanılması uygundur (Selçuk, Ayçam, 2017).



Resim 6. Wollongong Üniversitesi Mikroskopi Merkezi, Wollongong, Avustralya, 2010 (Url 6)

Avustralya, Kuzey Wollongong'da (Sidney ve Canberra arasında) SKM-S2F Architects tarafından tasarlanan Araştırma Merkezi (Resim 6), iki araştırma binasını birbirine bağlamakta ve üniversitenin Elektron Mikroskopi Merkezi'ne ev sahipliği yapmaktadır. Cephe ve iç mekanlarda yoğun olarak ahşap kullanılmasının sebebi estetik kaygının ötesinde, binada bulunan elektron mikroskoplarının ortamda bulunan metal malzemelere çok duyarlı olmasıdır. Bu yoğunlukta bir ahşap malzeme kullanıldığında bu malzemenin korunması daha da önemli hale gelmektedir. Bu yüzden bu malzemeler nanoparçacıklarla kaplanarak dayanıklılığının artırılması hedeflenmiştir (Url 6).

3.1.4. Nanoteknoloji ve cam

Nanoteknoloji ile çok sayıda yeni cam ürünü geliştirilmiştir. Örneğin, TiO_2 , kirlenme önleyici özelliğe sahip olduğundan ve organik kirleticileri, uçucu organik bileşikler ve bakteri zarlarını yok edebildiğinden camı kaplamak için nanoparçacık formunda kullanılabilir. Ayrıca, TiO_2 hidrofiliktir (su yüzeyde damlacık olarak kalmaz homojen olarak yayılır). Bir reaksiyon olarak, TiO_2 yağmur damlalarından tabakalar oluşturur (Babuka, 2016).



Resim 7. Apple Fifth Avenue, New York, ABD, 2006-2019 (Url 7)

Foster + Partners tarafından yeniden tasarlanan, New York 5. Cadde'de bulunan Apple Mağazası (Resim 7) dünyada en kalabalık olan bir noktada yer almaktadır. Bu yüzden yapı girişinin tek bir yönden olmasındansa, her yönden erişilebilir olabilmek için cam bir küpün içinden yeraltında bulunan mağazaya giriş sağlanmıştır. Bu küpü oluşturan camlar TiO_2 ile kaplı olduğu için hidrofilik özellikte olup, kendi kendini temizleyebilmektedir. Öte yandan 'Skylenses' adını verilen dairesel ve bombeli cam ışıklıklar üst yüzeyin altında güneş enerjisini emecek ve donmaya karşı koruma sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Aynalı cam, doğal ışığı alan yenileme sırasında iki katına çıkarılmış olan mağazaya taşımakta, yılın sıcak zamanlarında ise soğutma sistemine katkı sağlamaktadır. Bu ışıklıklar aynı zamanda caddede bulunan insanların üzerinde oturmaları için alan oluşturmaktadır (Url 7).

Yangından koruyucu cam, nanoteknolojinin bir başka uygulamasıdır. Isıtıldığında sert ve opak bir yangın kalkanına dönüşen füme silika (SiO_2) nanoparçacıklar oluşmaktadır. Bu nanoparçacıklar sandviç şeklindeki cam paneller (ara katman) arasında şişen tabaka haline gelmektedir. Nanoteknoloji, ince film kaplamalar, termo-kromik, foto-kromik ve elektro-kromik teknolojilerle camın performansını, özellikle ısı kazancı ve kaybını artırabilmektedir. İnce film kaplamalar, binalardaki ısı kazanımını azaltmak için kızılötesi ışığı filtreleyen pencere camı için oluşturulmuş hassas yüzey uygulamalarıdır. Örneğin termo-kromik cam, sıcaklık ısıtma uygulamalarına cevaben saydamlığı değiştirirken, foto-

kromik cam ışık yoğunluğuna göre saydamlığını değiştirir. Bir tungsten oksit katmanı kullanılarak geliştirilmiş ve bir düğmeye dokunarak daha şeffaf hale gelen elektro-kromik bir cam türüdür. Tüm bu uygulamalar soğutma yükü fazla olan binalarda enerji kullanımını azaltmaya yöneliktir (Mann, 2006).

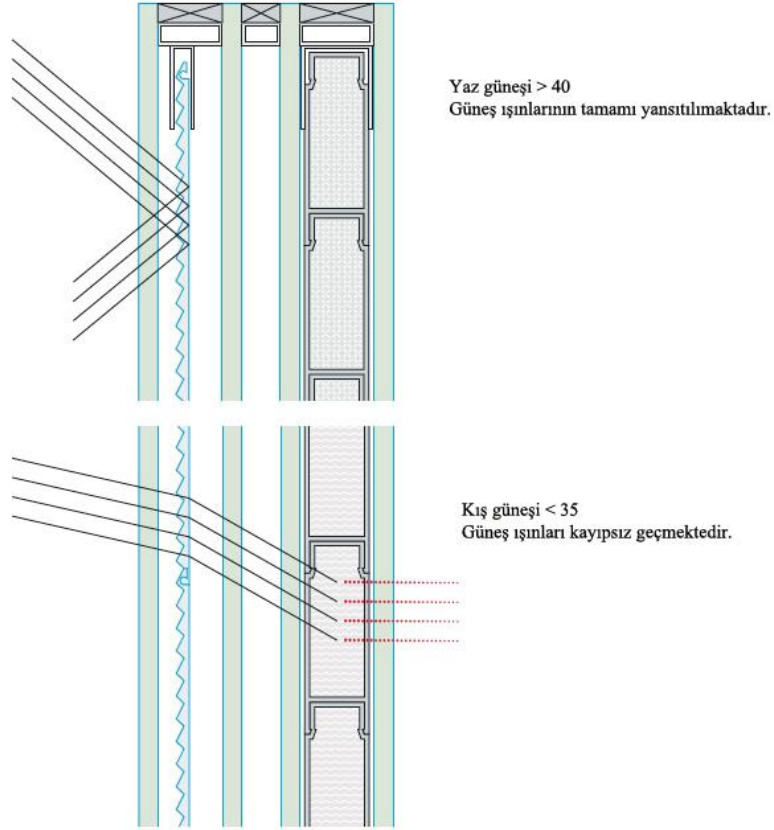


Resim 8. Morgan Kütüphane Çalışma Küpü, Colorado Eyalet Üniversitesi, Fort Collins, ABD, 2012 (Url 8)

Mimarlık firması Studiotrope, Colorado State Üniversitesi'ndeki Morgan Kütüphane Çalışma Küpü'nün (Resim 8) batı cephesindeki ısı kontrolünü sağlamak için dinamik cam kullanmıştır. Bu cam küp, elektro-kromik camın uygulanmasında öncü yapılardan biridir (Url 8).

3.1.5. Nanoteknoloji ve yalıtımlar

Nanoteknoloji ile geliştirilen ısı yalıtım malzemeleri, aynı ısı yalıtım performansına ulaşmak için piyasada genel kabul gören ürünlerden çok daha az kalınlığa sahiptirler. Enerji etkinlik için başka bir yöntem ise, gizli ısı depolama kapasitesi olan faz değişim malzemelerinin (FDM) kullanılmasıdır. FDM, kullanıcı konforunu artırmada ve enerji tasarrufu sağlamada ısı düzenleme ilkesini esas almaktadır. Böylece faz değişimi sırasında açığa çıkan ve depolanan enerjinin yapılarda kullanılması ile tepe sıcaklıkları azaltılmakta ve mekândaki sıcaklık dalgalanmaları düzeltilmektedir (Tokuç, Taşçı, 2014). Resim 9'da FDM'in çalışma prensibi gösterilmiştir (Url 9).



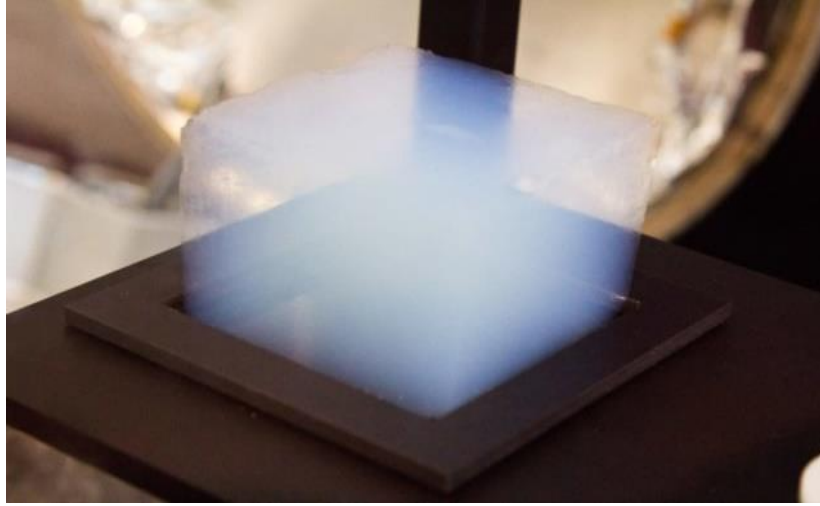
Resim 9. FDM'li cephe sistem detayı (Url 9).

İsviçre'nin Kemptthal bölgesinde bulunan Marché şirketinin destek merkezi (Resim 10), Beat Kämpfen Mimarlık Bürosu tarafından tasarlanmıştır. Yapıda başka enerji etkin önlemlerle birlikte FDM içeren cam sistemi de kullanılmıştır. FDM'de güneşten gelen ısı enerjisi gündüz erime sürecinde depolanmaktadır. Takip eden geceler ve günlerde ise FDM'de depolanan enerji yeniden katılaşma süreci ile iç mekâna aktarılmaktadır. Bütün sistem %50 ışık geçirgenliğine sahip bir duvar görünümündedir (Url 10).



Resim 10. Marché Uluslararası Destek Ofisi, Kemptthal, İsviçre, 2007 (Url 10)

Nanoteknolojinin ortaya çıkmasıyla geliştirilen yalıtım malzemelerinden biri Aerojel'dir. %95 ile %99,9 arasında hava içeriğine sahip olan aerogelin, kalan kısmı ise cam benzeri silikon dioksitten oluşmaktadır. Hafifliğine rağmen, kendi ağırlığının 2000 katını taşıyabilmektedir. Düşük ısı iletkenliği, düşük ses hızı ve yüksek şeffaflık gibi fiziksel özellikleri bakımından yapılarda tercih edilmektedir (El-Samny, 2008). Cephelerde cam panellerin arasında, akrilik cam panellerde ya da U profilleri doldurularak yalıtım sağlanmaktadır. (Tokuç, Taşçı 2014). Ayrıca yarı saydam olması nedeniyle iyi ışık geçirimi sağlamakta ve ışığı homojen dağıtmaktadır. Aerojeller (Resim 11) ısı yalıtım özelliklerinin yanı sıra, ses yalıtımı konusunda da etkili olup enerji verimliliğine katkı sağlamaktadır (El-Samny, 2008).



Resim 11. Aerojel bloğu (Url 11)



Resim 12. Building 115, Seattle, ABD, 2009 (Url 12)

Graham Baba tarafından Seattle'da tasarlanan Building 115 (Resim 12) kullanıcının iş yeri, ofis ve yaşam alanı ihtiyaçlarına cevap vermek üzere kurgulanmış karma bir yapıya sahiptir. Bulunduğu nokta da ticari bir bölgededir. Bu sebeple cam yüzeylerde kullanılan Aerojel ile hem saydamlık, hem ışık şiddeti, hem de ısıl kontrolün sağlanması hedeflenmiştir. Özellikle üst katlarda bulunan ofis ve konutun izole edilmesi görsel bağlantı, gürültü, ısı ve ışık kontrolü açısından oldukça önemli olmaktadır (Url 12).

3.1.6. Nanoteknoloji ve kaplamalar

Nano kaplamalar; bünyesine nanoparçacıklar (titanyumdioksit, silisyumdioksit, gümüş vb.) dahil edilmiş ince film veya boyadan oluşturulan bir katman ile malzeme yüzeylerinin kaplanmasıyla elde edilmektedir. Bazı durumlarda nano parçacıklar, malzeme karışımlarına doğrudan eklenerek yüzey özellikleri istenilen yönde geliştirilebilmektedir. Nano kaplamalar cam, metal, seramik, beton, plastik gibi her tür yüzeye uygulanabilmektedir (Şahin, 2019). Nanomalzemeler veya nanopartiküller, taban malzemeye bağlı bir tabaka oluşturmak için kimyasal buhar biriktirme, daldırma, sprey ve plazma kaplama kullanılarak yüzeylere uygulanabilmektedir (Sev, Ezel, 2014).

Çeşitli yöntemler (kimyasal buhar çöktürme, daldırma, sprey, plazma, vb.) kullanılarak uygulanan nano kaplamalar ile malzeme yüzeylerine kendi kendini temizleme, kolay temizlenebilme, antibakteriyel yapı, yangın geciktiricilik, çizilmezlik, aşınmazlık, korozyon direnci gibi pek çok işlev kazandırılmaktadır (Vural, Yılmaz, 2015).

TiO₂ kaplama uygulaması cephe panellerinin dış yüzeyine uygulamalarında, hem yağmurla kendini temizleme hem de havayı temizleme özelliği göstermektedir. 1000 m² fotokatalitik cephe kaplamasının hava temizleme etkisi 70 orta boy ağaç kadar olduğu gözlemlenmiştir (Orhon, 2013). Nanoteknoloji ile havayı temizleme işlemi genel olarak istenmeyen koku ve kirlerin zararsız olan bileşenlerine ayrılmasıyla gerçekleşmektedir. Havayı temizleme özelliğine sahip olan nanokaplamalar, iç mekân hava kalitesini enerjiye ihtiyaç duymadan kesintisiz şekilde arttırmaları nedeniyle mekanik sistemlere oranla önemli miktarda enerji avantajı sağlamaktadır (Vural, Yılmaz, 2015).

Westlake Reed Leskosky'nin ödüllü tasarımı olan The Bertram ve Judith Kohl Binası (Resim 13), konservatuvar olarak kullanılmaktadır. Yapının işlevini içeride ve dışarıda sürdürülebilmesi hedeflenmiş ve çevresinde buna uygun alanlar tasarlanmıştır. Cephede TiO₂ kaplamalı fotokatalitik alüminyum panel kullanılmıştır. Böylece cephe kendi kendini ve yapı yüzeyindeki havayı temizlemektedir (Url 13).



Resim 13. The Bertram ve Judith Kohl Binası, Oberlin, Ohio, ABD, 2010 (Url 13)

Kaplama ve boyalarda kullanılan nanomalzemeler ve özellikleri şu şekildedir;

- Titanyum Dioksit (TiO₂): Kendi kendine temizlenebilme, kirlenme önleme, buğu önleme, UV koruyuculuğu,
- Alüminyum Oksit (Al₂O₃): Çizilme ve aşınma önleme,
- Karbon Nanotüpler (CNT): Çatlak ve çizilme önleme, mekanik dayanımının artması, elektrik iletkenliği,

- Çinko Oksit (ZnO): Antibakteriyel olma, UV koruyuculuğu, buğu önleme,
- Silikon Dioksit (SiO₂): Şeffaflık, yangına dayanıklılık, yansıma önleme, mekanik dayanımının artması, çizilme önleme,
- Gümüş (Ag): Antimikrobiyal (bakteriler ve küfler gibi mikropların varlığını azaltma gücüne sahip) özelliği (Candemir, Beyhan, Karaata, 2012).

3.1.7. Nanoteknoloji ve güneş panelleri

Nanoteknolojiden yararlanılan bir başka alan ise güneş enerjisinden elektrik üretmekte kullanılan güneş gözelerinin (hücrelerinin) (PV) geliştirilmesidir. PV uygulamalarına bir örnek alüminyum oksit alaşımlı çinko oksit (AZO) olup bu malzeme geleneksel inorganik filmlerden daha etkin ve ucuz endüstriyel üretime olanak sağlamaktadır. Güneş gözeleri, cephe kaplamaları, balkon ve gölgeleme gibi çeşitli yapı elemanlarının tasarımlarında kullanılmaktadır (Ramsden, 2009). Bu tür sistemler cephelerde yatay gölgeleme öğeleri ile biraraya getirilebilmektedir. Güneş paneli yüzeylerinin temiz tutulabilmesiyle enerji etkin hale getirilmek üzere fotovoltaik cephelerde kullanımı uygun bulunmaktadır (Orhon, 2014).

Nanoteknoloji görmeye alışkın olduğunuz güneş pillerini bir adım öteye götürerek, organik fotovoltaiklerin (OPV) ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bakır nanotellerin polimerler içine gömülerek bir çözelti haline getirilmesiyle elde edilen bu nanomalzeme ile güneş enerjisini elektriğe dönüştüren, doğrudan güneş ışığına ihtiyaç duymayan, düşük ağırlıklı, esnek, saydam, yarı saydam, iletken, kalıplanabilen, üzerine baskı yapılabilen güneş pilleri imal edilebilmektedir (Zhao, Yang, Jiang, Lin, Ade, Yan 2016). OPV'lerin ham maddesi inorganik güneş pillerine nazaran daha bol ve ucuz olmasına karşı, inorganik güneş pillerine göre ömürleri daha kısa ve verimleri daha düşüktür (Teker, 2015).



Resim 14. Almanya Pavyonu, Milano Expo 2015, (Url 14)

Expo Milano 2015 için Schmidhuber tarafından tasarlanan, Almanya Pavyonu (Resim 14), "Gezegeni Beslemek, Yaşam için Enerji" temasından yola çıkılarak tasarlanmıştır. "Fikir Fideleri" adı verilen tematik sergi alanları için yapılmış üst örtüler OPV'lerle kaplanmıştır. Gündüz ışığın kontrollü yayılması, gece ise ikonik bir aydınlatmanın sağlanması hedeflenmiştir (Url 14).

Nanomalzemelerin yapılarıdaki kullanımlarının yapı elemanları ve kullanım amaçlarına göre sınıflandırılması Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Nanoparçacıklarının yapı malzemelerine göre sınıflandırılması ve beklenen faydaları (Bozoğlu, Arditi, 2012 ve Şahin, 2019'dan yararlanılarak düzenlenmiştir.)

Yapı Malzemesi	Nanoparçacık	Beklenen Faydaları
Beton	Karbon nano tüpler (CNT)	• Dayanım • Dayanıklılık (durabilite) özelliklerini iyileştirme • Çatlak oluşumunun engellenmesi
	Nano Silika (SiO_2)	• Aşınma, dayanım gibi mekanik özellikleri güçlendirme • Soğutuculuk • Geçirimlilik özelliklerini düzenleme
	Demir Oksit (Fe_2O_3)	• Aşınma, dayanım gibi mekanik özellikleri güçlendirme
	Alüminyum Oksit nanopartiküller (Al_2O_3)	• Betonun dayanım ve fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi
Beton (Süper Akışkanlar)	Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB)	• Kısa sürede yüksek dayanım sağlaması • Titreşime ihtiyaç duyulmaması
Çelik	Bakır nanopartiküller (Cu)	• Korozyon direnci • Şekillendirilebilirlik
	Naoölçekte, sementit fazı	• Çeliğin dayanım ve fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi
Ahşap	Çinko Oksit (ZnO)	• Nem bariyeri oluşturma
	Gümüş (Ag)	• Böceklenmeyi ve mantar oluşumunu engelleme • Çürümeye karşı koruma
	Titanyum Dioksit (TiO_2)	• Yangına karşı direnç oluşturma
Cam	Nano Silika (SiO_2)	• Soğutma • Işık iletimi • Kendi kendini temizleme • Buğulanma önleme
Yalıtım	Faz Değiştiren Malzeme-Aerojel	• Isı yalıtımı • Ses yalıtımı • Suyu itme
Kaplama	Titanyum Dioksit (TiO_2)	• Kendini kendini temizleme • İç ortam ve bina yüzeyindeki havayı temizleme • Kir önleme • UV koruma • Buğu önleme
	Alüminyum Oksit (Al_2O_3)	• Aşınma ve çizilme önleme
	Karbon Nanotüpler (CNT)	• Mekanik dayanımının artması • Çatlak önleme • Çizilme önleme • Elektrik iletkenliği
	Çinko Oksit (ZnO)	• Buğulanma önleme • UV koruma • Antibakteriyel koruma
	Silikon Dioksit (SiO_2)	• Mekanik dayanımının artması • Yangına dayanıklılık • Şeffaflık kontrolü • Çizilme önleme • Yansıma önleme

	Gümüş (Ag)	• Antimikrobiyel (zararlı organizmalardan koruma) faaliyet
Güneş hücresi	Karbon nano tüpler (CNT)	• Mekanik ve termal özellikleri güçlendirme
	Titanyum Dioksit (TiO ₂)	• Elektrik üretimi

3.2. Nanoteknolojinin dezavantajları

Son çalışmalar nanoparçacıkların insan sağlığı ve çevre için risk oluşturabilecek aksaklıkları olduğunu göstermektedir. Bu konular aşağıdaki gibi özetlenebilir ve sıralanabilir;

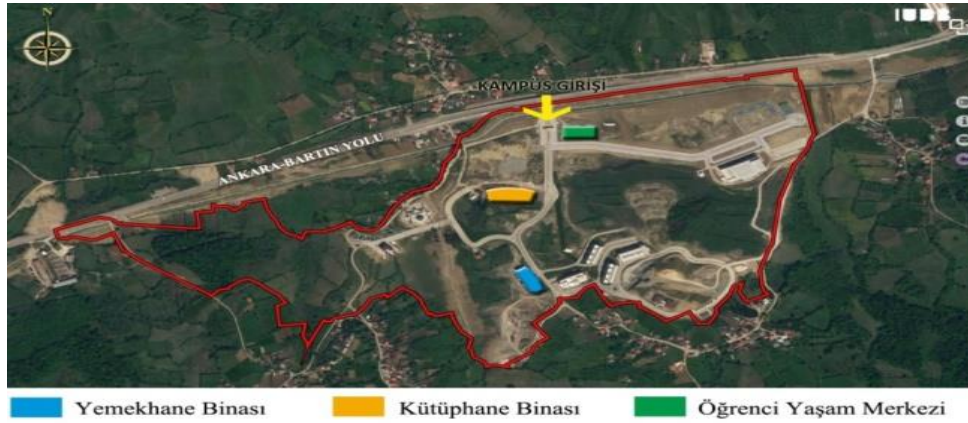
- Çok küçük nano partiküller solunum ve sindirim kanallarını ve cilt ve göz yüzeyini olumsuz etkileme potansiyeline sahiptir, böylece çalışanları ve kullanıcıları tehlikelere maruz bırakabilmektedir.
- İlgili endüstriler oldukça yeni olduğundan, inşaat alanında çalışan işçiler disiplinlerarası bir yaklaşımla eğitilmeli/bilgilendirilmelidir.
- Nanoteknoloji bağlamında yeni politikalar, çeşitli hükümet, araştırma ve geliştirme şirketleri, üreticiler ve diğer endüstriler arasında işbirliği gerektirecektir (Selçuk, Ayçam, 2017).
- İlk yatırım maliyetleri yüksek olan ürünlerdir.
- Kullanım açısından spesifik bilgi ve deneyim gerektirmektedir.
- Sürekliliklerine dair yeterli veriler elde edilememiştir.
- Nanoölçekte üretim ve gözlem yapmak günümüz şartlarında oldukça zordur.
- Özel üretim, denetim ve onarım yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. (Vural, Yılmaz, 2015).

4. ALAN ÇALIŞMASI

Bu bölümde Bartın ili (Resim 15), Bartın Üniversitesi Kutlubey Kampüsü'nde (Resim 16) bulunan Yemekhane Binası, Kütüphane Binası ve Öğrenci Yaşam Merkezi Binaları ele alınmıştır (Resim 17).



Resim 15. Bartın İli (Url 15)



Resim 16. Bartın Üniversitesi Kutlubey Kampüsü ve seçilen yapıların kampüs içindeki konumları (Url 15)

Bu yapıların mevcut cephe malzemeleri, fonksiyonları ve konumları nedeniyle ihtiyaç duydukları fiziksel özellikler Tablo 2’de belirtilmiştir.

Tablo 2. Seçilen yapıların mevcut durumları

Seçilen Yapı	Cephe	Cephede Kullanılan Malzemeler ve Metraj Oranları	Cephe Yönlenmesi	Yapı Gereklilikleri
Kütüphane Binası		• Isı Kontrol Kaplamalı Çift Cam (%61) • Kompakt Laminat Cephe Kaplaması (%21) • Alüminyum Kompozit Kaplama (%15) • Traverten Cephe Kaplaması (%2) • Granit Cephe Kaplaması (%1)	Kuzey	• Işık kontrolü • Isı kazanım kontrolü • Ses geçiş kontrolü • Cephe temizliği • Havalandırma • Yenilenebilir enerji üretimi
Öğrenci Yaşam Merkezi		• Reflekte Isı Kontrol Kaplamalı Çift Cam (%76) • Alüminyum Kompozit Kaplama (%13) • Kompakt Laminat Cephe Kaplama (%11)	Güney	• Güneş kontrolü • Hijyen • Cephe temizliği • Havalandırma • Yenilenebilir enerji üretimi
Yemekhane Binası		• Isı Kontrol Kaplamalı Çift Cam (%43) • Mekanik Montaj Terakota Kaplama (%28) • Su bazlı silikon esaslı dış cephe boyası (%29)	Güneybatı	• Güneş kontrolü • Hijyen (Antibakteriyel olma) • Havalandırma • Cephe

				temizliği • Yenilenebilir enerji üretimi
--	--	--	--	---

4.1. Kütüphane Binası

3623.92 m² taban alanına sahip ve 4 katlı olan yapının toplam alanı 10,600 m²'dir. 2020 yılında yapımı tamamlanmış olan yapı içerisinde okuma salonları, ofisler, dijital yayın, görsel işitsel (AV) salonlar, konferans salonu, kafeterya ve servis alanları bulunmaktadır. Galeri boşluğuna bakan okuma salonları kontrollü gün ışığı alabilmek için kuzey yönündeki cam cephe ile ilişkilendirilmiştir. Bu cephe aynı zamanda ana giriş kapısının da bulunduğu cephedir.

Cephenin %61'ini oluşturan ve kuzey yönüne bakan, reflekte ısı kontrol kaplamalı bu cam cephe için arojel dolgu önerilmektedir. Böylece hem gün ışığının ortama homojen bir şekilde dağılması, hem de ısı yalıtımı görevi yaparak ısıtma yükünün azaltılması sağlanacaktır. Aynı zamanda okuma salonlarına gelen dış ortam sesi için de ses yalıtımı sağlanacaktır.

Gereken enerji fosil yakıtlardan elde edildiği için hem maliyetler, hem de CO₂ salımı oldukça fazladır. Yüksek enerji ihtiyacını belli oranda karşılamak için teras çatıda geleneksel PV modüller yerine nano PV modüller önerilmektedir.

Cephede bulunan alüminyum kompozit panelleri TiO₂ filmlerle kaplayarak cephenin toz ve kir tutmasının engellenmesi hedeflenmiştir. Cephede bulunan kompakt laminat malzemenin ise cephe kaplamasının su emmesini engellemesi, malzemede oluşabilecek bozulmaların önüne geçilmesi için SiO₂ film kaplaması yapılması önerilmektedir (Resim 17).



Mevcut Durum

Öneri

Resim 17. Bartın Üniversitesi Kütüphane Binası ön cephe nanomalzeme önerisi

4.2. Öğrenci Yaşam Merkezi

2020 yılında yapımı tamamlanmış, 3702 m² alana sahip Öğrenci Yaşam Merkezi binası içerisinde merkezi kafeterya, bowling salonu, masa tenisi, bilardo gibi yeme-içme ve eğlence alanları bulunmaktadır. Yapı tek katlı ve kat yüksekliği 5,50 m'dir. Seçilen geniş açıklıklı cephe aynı zamanda yapının ana giriş kapılarının bulunduğu cephedir. Bu cephe büyük oranda camdan oluşmaktadır. Bu cam yüzeyleri alüminyum kompozit panellerle giydirilmiş kolonlar ayırmakta ve ahşap kompozit panellerle giydirilmiş bir betonarme duvar çerçevelemektedir.

Güney cepheye bakan ve Mayıs-Ekim ayları arasında soğutma yükü fazla olan yapıda camlarda ısı ve ışık kontrolünü sağlamak üzere Aerojel dolgu malzemesi önerilmektedir. Böylece hem ısı yalıtımı, hem ışık kontrolü hem de aerojelin suyu itme özelliğinden faydalanarak cephenin kendi kendini temizlemesi amaçlanmıştır. İhtiyaç duyulan enerji gereksinimini belli oranda sağlamak için çatıda geleneksel PV modüller yerine nano PV modüller önerilmektedir.

Yapı kampüs girişine ve Bartın-Ankara Yolu'na en yakın noktada konumlanmıştır. Bu sebeple cephenin kirlenmesine yönelik çözümler önerilmiştir. Cephede bulunan alüminyum kompozit panelleri TiO_2 filmlerle kaplayarak cephenin toz ve kir tutmasının engellenmesi hedeflenmiştir. Ayrıca cepheyi çerçeveleyen kompakt laminat malzemenin ise cephe kaplamasının su emmesini engellemesi, malzemede oluşabilecek bozulmaların önüne geçilmesi için SiO_2 film kaplaması yapılması önerilmektedir (Resim 18).



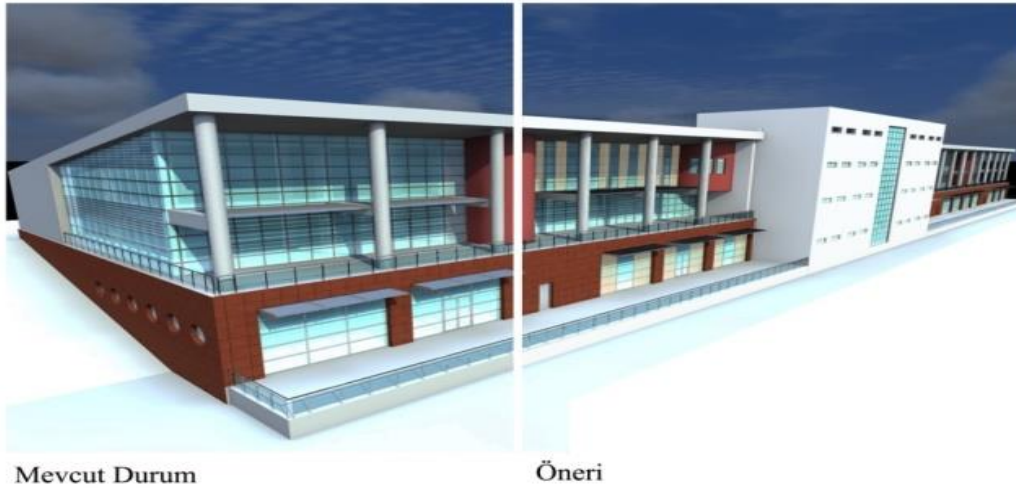
Resim 18. Bartın Üniversitesi Öğrenci Yaşam Merkezi ön cephe nanomalzeme önerisi

4.3. Yemekhane Binası

3626 m² taban alanına sahip, 4 katlı yapının toplam alanı 8478 m²'dir. 2013 yılında yapımı tamamlanmış olan yapı içerisinde öğrenci yemekhanesi, personel yemekhanesi, kafeterya, kafe ve kırtasiye bulunmaktadır. Binanın güney yönüne bakan arka cephesi yeme-içme faaliyetlerinin dış mekâna taşıdığı teraslardan oluşmaktadır.

Temmuz ve Ağustos aylarında, diğer aylara nazaran öğrenci yoğunluğu azalsa da, yapı personeller ve sosyal etkinlikler için kampüsü kullananlar tarafından sıkça kullanılmaktadır. İncelenen cephe Güney yönündedir, bu yüzden yapının Mayıs-Ekim ayları arasında soğutma yükü fazladır. Bu sebeple camlarda ısı ve ışık kontrolünü sağlamak üzere Aerojel dolgu malzemesi önerilmektedir. Böylece hem ısı yalıtımı, hem ışık kontrolü hem de aerojelin suyu itme özelliğinden faydalanarak cephenin kendi kendini temizlemesi amaçlanmıştır. Silikon esaslı dış cephe boyasına hidrofobik nanoparçacıklar eklenmesi önerilmektedir. Böylece kir tutmanın engellenmesi hedeflenmektedir.

Binanın enerji gereksinimini belli oranda yenilenebilir kaynaklardan elde edebilmek için cephede bulunan güneş kırıcıların üzerinin geleneksel PV modüller yerine esnek, organik nano PV modüller ile kaplanması önerilmektedir (Resim 19).



Resim 19. Bartın Üniversitesi Yemekhane Binası arka cephe nanomalzeme önerisi

Her üç bina için önerilen nanomalzemeler ve beklenen faydaları Tablo 3'te gösterilmiştir

Tablo 3. Seçilen yapılar için önerilen nanomalzemeler (Kayılı, 2020'den yararlanılarak, seçilen binalara göre yeniden düzenlenmiştir.)

Önerilen nanomalzemeler	Beklenen Fayda	Yemekhane Binası	Kütüphane Binası	Öğrenci Yaşam Merkezi
TiO ₂ film kaplama	Cepheye kendi kendine temizlenebilme ve hidrofilik özellik kazandırma	✓	✓	✓
SiO ₂ film kaplama	Cephe kaplamasının su emmesini engelleyerek malzemede oluşabilecek bozulmaların önüne geçme ve buğulanmayı önleme		✓	✓
Hidrofobik kaplama	Duvar da kolay temizlenebilir yüzeyler sağlama ve kir tutmayı engelleme	✓		
Aerojel Dolgu	Işık kontrolü, iç mekânda ısı konforu ve enerji etkinliğini sağlama	✓	✓	✓
Nano PV modül	Geleneksel PV modüllerine göre	✓	✓	✓

	daha çok enerji elde etme			
--	---------------------------	--	--	--

Tablo 3'te cepheler için önerilen nanomalzemeler, Tablo 4'te ise önerilen nanomalzemelerin birim fiyatları gösterilmektedir. Cephelerde kullanılan kaplama malzemelerinin fiyatları Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın yayınlamış olduğu 2020 Birim Fiyat listesinden elde edilmiştir. Nanomalzemelerin birim fiyatları ise piyasa araştırması yapılarak belirlenmiştir. Bu fiyatlarda nakliye ve işçilik ücretleri hariç tutulmuştur. Ayrıca ABD Doları ve Euro cinsinden olan fiyatlar 18.06 2020 tarihli döviz kuru baz alınarak Türk Lirası'na dönüştürülmüştür. Yemekhane binasında kullanılan su bazlı silikon esaslı dış cephe boyasının kendi kendini temizleyebilme özelliği kazanabilmesi için hidrofilik kaplama önerilmiştir. Bu malzeme toz halinde bulunmakta ve sulandırılarak yüzeylere uygulanmakta olduğu için m² birim fiyatı belirlenememiştir.

Yapılan piyasa araştırmasında ülkemizde nanomalzemelerin yeterince yaygınlaşmadığı ve fiyatların oldukça yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Ancak yapıların fonksiyon ve çevresel özellikleri göz önüne alındığında, malzemenin performansı, dayanımı, ve dayanıklılığının (durabilite) optimum olabilmesi için gerekli durumlarda nanomalzeme seçmenin daha akılcı olduğu durumlar olacaktır.

Tablo 4. Seçilen malzemeler için önerilen nanomalzemeler ve birim fiyatları

CEPHE KAPLAMASI	m² BİRİM FİYATI (TL)	ÖNERİLEN NANOMALZEME	m² BİRİM FİYATI (TL)
Isı Kontrol Kaplamalı Çift Cam	216,35	Aerojel dolgu	246,90
Reflekte Isı Kontrol Kaplamalı Çift Cam	196,56	Aerojel dolgu	246,90
Kompakt Laminat Cephe Kaplaması	205,79	SiO ₂ film kaplama	5000
Alüminyum Kompozit Kaplama	244,05	TiO ₂ film kaplama	5000
Su bazlı silikon esaslı dış cephe boyası	32,93	Hidrofilik kaplama	Toz halinde bulunduğu ve sulandırılarak uygulandığı için fiyatlandırma yapılamamıştır.
		Nano PV modül	6,17

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Karbon nanotüp ve grafen gibi malzemelerin kullanılmaya başlanması ile nanomalzemelerin gelişimi hız kazanmıştır. Böylece daha uzun ömürlü malzemeler üretilmekte, aynı zamanda üretilen malzemelerin yaşam döngüsü maliyetleri düşmektedir. Nanomalzemelerin bu özellikleri, çağımızın en önemli sorunlarından biri olan kaynakların tüketilmesi açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada nanomalzemeleri mimaride kullanmanın en önemli avantajının, sürdürülebilir yapısal çevreye ulaşmak için yeni çözümler sunması olduğu görülmüştür. Fakat hala yeni keşfedilen malzemelerin laboratuvarından pazara geçişi uzun zaman almaktadır.

Nanomalzemelerle ilgili standartların tam oturmamış olması, çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkilerinin kesin olarak belirlenememiştir. Nanomalzemeleri oluşturan nanoparçacıklar ile alakalı araştırmalar devam etmektedir. Bu araştırmalar gelecekteki yapı çevreyi doğrudan etkileyeceğinden mimarlık alanı için büyük önem taşımaktadır.

İnşaat sektöründe nanoteknoloji kullanılmasının, gerekli koşulları sağlayarak, maliyet etkin, daha yüksek kalitede, daha güvenli binalar yaratılmasına yol açacağı umulmaktadır. Nanoteknolojinin olumlu ve olumsuz yanları araştırılması gereken konulardır. Akıllı tasarım ve planlama ile fiziksel yapıyı çevre sürdürülebilir hale getirilebilir. Nanomalzemelerinin çevre dostu ve sürdürülebilirliğini tanımlamak ve gelecekte çevreye zarar veren yapı malzemelerinin kullanılmasını önlemek için multidisipliner bir platformda tartışılıp gerekli yönetmeliklerin uygulamaya sokulması önemlidir.

Yapılan çalışmada Bartın Üniversitesi Kutlubey Kampüsü'nde bulunan binaların cephelerinde TiO_2 , SiO_2 film kaplama, Aerojel dolgu ve nano pv modül kullanımı önerilmiştir. Bu malzemelerin kullanımındaki amaç sırasıyla; cepheye kendi kendine temizlenebilme ve hidrofilik özellik kazandırma, cephe kaplamasının su emmesini engelleyerek malzemede oluşabilecek bozulmaların önüne geçme ve buğulanmayı önleme, duvarda kolay temizlenebilir yüzeyler sağlama ve kir tutmayı engelleme, ışık kontrolü, iç mekânda ısı konforu ve enerji etkinliğini sağlama, geleneksel PV modüllerine göre daha çok enerji elde etmedir.

Sonuç olarak ülkemizde nanomalzemelerin yeterince yaygınlaşmadığı ve fiyatlarının oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Ancak yapıların fonksiyon ve çevresel özellikleri göz önüne alındığında, malzemenin, dayanımı, ve dayanıklılığının (durabilite) iyileştirilmesi açısından geleneksel malzemelere göre yüksek performans gösteren bu teknolojinin mimarlar tarafından tasarıma dahi edilmesi inşaat sektöründe kullanımını yaygınlaştıracaktır.

KAYNAKLAR

- Altın, M., & Orhon, A. V. (2014). Akıllı Yapı Cepheleri ve Sürdürülebilirlik. Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu, 1-9.
- Babuka H., (2016) "Energy Efficiency and Sustainable Development", Conference: Fourth Student - SCEESD, At Skopje, Macedonia.
- Baykara, T., Günay, V., & Musluoğlu, E. (2010). Nanoteknoloji ve nano-malzeme süreçleri. Tübitak MAM.
- Birgisson, B., Mukhopadhyay, A. K., Geary, G., Khan, M., & Sobolev, K. (2012). Nanotechnology in concrete materials: A synopsis. Transportation research circular, (E-C170).
- Bozoğlu Demirdöven, J., & Arditi, D. (2012). Yapılarda ve Yapım Yönetiminde Nano teknoloji Uygulamaları, 2. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir
- Candemir, B., Candemir, B., Beyhan, B., Karaata, E. S., & Karaata, E. S. (2012). İnşaat sektöründe sürdürülebilirlik: yeşil binalar ve nanoteknoloji stratejileri. İMSAD (İnşaat Malzemesi Sanayicileri Derneği Yayınları) & TÜSİAD (Türk Sanayicileri ve İş Adamları Derneği).
- Dur A., (2003), "Silis dumanı ve süperakışkanlaştırıcı katkı çimento harçlarının özellikleri", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- El-Samny, M. F., (2008), "NanoArchitecture Nanotechnology and Architecture", Alexandria Üniversitesi, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Mısır.
- Hemeida, O., (2010), "Green Nanoarchitecture", Yüksek Lisans Tezi, Alexandria Üniversitesi Mısır.
- Ilerisoy, Z. Y., & Takva, Y. (2017). Nanotechnological Developments in Structural Design: Load-Bearing Materials. Engineering, Technology & Applied Science Research, 7(5), 1900-1903.
- Kayılı, M. T., (2020), Akıllı Malzemelerin Kamu Yapılarında Uygulama Önerileri: Karabük Örneği. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (18), 805-817.
- Kibert, C. J. (2016). Sustainable construction: green building design and delivery. John Wiley & Sons.

- Mann, S. (2006). Nanoforum report: Nanotechnology and construction. European Nanotechnology Gateway.
- Mukhopadhyay, A. K. (2011). Next-generation nano-based concrete construction products: a review. In *Nanotechnology in civil infrastructure* (pp. 207-223). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Orhon, A. V. (2012). Akıllı malzemelerin mimarlıkta kullanımı. *Ege mimarlık*, 82, 18-21.
- Orhon, A. V. (2013). Sürdürülebilir Mimaride Akıllı Malzeme Kullanımı. VIII. Uluslararası Sinan Sempozyumu Bildiri Kitabı, Edirne, 297-304.
- Orhon, A. V. (2014). Kendini Temizleyen Cephe Sistemleri. 7. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, 3-4.
- Pacheco-Torgal, F., & Jalali, S. (2011). Nanotechnology: advantages and drawbacks in the field of construction and building materials. *Construction and building materials*, 25(2), 582-590.
- Ramsden, J.; "Applied nanotechnology", Elsevier, Burlington, ABD, 2009
- Reddy, A. S., Kumar, P. R., & Raj, P. A. (2020). Development of Sustainable Performance Index (SPI) for Self-Compacting Concretes. *Journal of Building Engineering*, 27, 100974..
- Selçuk, S. A., & Ayçam, İ. (2017, March). Nanotechnology in Built Environment: Pros and Cons of Nanomaterial Usage in Architecture. In *International Sustainable Buildings Symposium* (pp. 269-281). Springer, Cham.
- Sev, A., & Ezel, M. (2014). Nanotechnology innovations for the sustainable buildings of the future. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering*, 8(8), 886-896.
- Şahin, O.Z., (2019), Nanoteknolojik Ürünlerin Giydirmeye Cephe Sektörü Bağlamında Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Teker T., (2015). "Electric Power Generation in the Solar Systems; Comparisons of the Inorganic and Organic Solar Cells.", *Conference Proceedings of the International Symposium on Innovative Technologies in Engineering & Science*, p1740-1747. 8p.
- Tokuç A., Taşçı B. G., (2014), "Enerji Etkin Cephelerde Nanoteknoloji", *Yapı* 397 Aralık 2014, s:147.
- Tüylek, Z. (2016). Küçük Şeylerin Hikayesi: Nanomalzeme. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5 (2), 130-141.
- Vural N, Yılmaz S., (2015). Mimaride Nano Kaplamaların Kullanımı, *Ege Mimarlık* (89), s:12-15.
- Zhao, J., Li, Y., Yang, G., Jiang, K., Lin, H., Ade, H., ... & Yan, H. (2016). Efficient organic solar cells processed from hydrocarbon solvents. *Nature Energy*, 1(2), 1-7.
- Url 1: <https://www.archdaily.com/490141/centre-pompidou-metz-shigeru-ban-architects> (Son erişim tarihi: 18.05.2020).
- Url 2: <https://www.arkitektuel.com/phaeno-bilim-merkezi/#jp-carousel-7055>, (Son erişim tarihi: 18.05.2020) (Son erişim tarihi: 18.05.2020).
- Url 3: <https://www.richardmeier.com/?projects=jubilee-church-2> (Son erişim tarihi: 18.05.2020).
- Url 4: <https://www.amanod.com/jingumae> (Son erişim tarihi: 18.05.2020).
- Url 5: <https://structurae.net/en/structures/seri-wawasan-bridge>, (Son erişim tarihi: 18.05.2020).
- Url 6: <https://www.archdaily.com/242297/the-university-of-wollongong-aiim-skm-s2f>, (Son erişim tarihi: 18.05.2020).
- Url 7: <https://www.fosterandpartners.com/projects/apple-fifth-avenue/>, (Son erişim tarihi: 18.05.2020).
- Url 8: <http://www.pinkardcc.com/project/william-e-morgan-library>, (Son erişim tarihi: 18.05.2020).



- Url 9: <https://www.buildinggreen.com/news-article/high-tech-glazing-phase-change-material>, (Son erişim tarihi: 18.05.2020).
- Url 10: <https://www.kaempfen.com/projekte/122-neubauten/593-marche-international-2007>, (Son erişim tarihi: 18.05.2020).
- Url 11: <https://interestingengineering.com/aerogel-the-futuristic-material-hindered-by-real-world-limitations>, (Son erişim tarihi: 18.05.2020).
- Url 12: <https://www.archdaily.com/94591/building-115-graham-baba-architects>, (Son erişim tarihi: 18.05.2020).
- Url 13: <https://www.wrldesign.com/projects/education/the-bertram-and-judith-kohl-building>, (Son erişim tarihi: 18.05.2020).
- Url 14: <https://www.schmidhuber.de/en/project/german-pavilion-expo-milano-2015-0>, (Son erişim tarihi: 18.05.2020).
- Url 15: Google haritalar, <https://www.google.com/maps>, 05.08.2019, (Son erişim tarihi: 18.05.2020).