

Sürdürülebilirlik Üzerine Nanoteknolojik Yaklaşımlar

Ayfer Dönmez Çavdar¹, Umay Bektaş²⁺ and İrem Cansu Karahasanoğlu^{2*}

¹Department of Interior Architecture, Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey

²Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık Anabilim Dalı, Trabzon, Türkiye

*Corresponding author: iremcasu@gmail.com

+Speaker: umaybektas@gmail.com

Presentation/Paper Type: Oral / Abstract

Özet – İnsan yaşamının neden olduğu çevre ve iklim değişikliği küresel boyutta dünyamızı olumsuz etkilemektedir. Bu olumsuzlukları minimize edecek sürdürülebilir teknolojik çözümlere duyulan ihtiyaç giderek zorunlu hale gelmektedir. 21.yy başlarında hayatımıza giren nanoteknoloji; bilim, mühendislik ve sağlık alanlarında yaşam konforumuzu arttıracak gelişmeleri beraberinde getirmektedir. Bina yapı ve tasarımında nanomalzemelerden büyük ölçüde yararlanma imkanı sunan nanoteknoloji, mimarlık disiplini de yakından ilgilendirmektedir. Nanomalzemelerin mimarlık alanında özellikle enerjinin korunumu, iklimlendirme ve konfor gibi sorunlara çözüm olduğu görülmektedir. Nanoteknolojik uygulamalarla birlikte çevreye duyarlı, enerjinin üretimi, depolanması ve verimli kullanılmasını sağlayan, atık oluşumunu azaltan ve insan sağlığını tehdit eden unsurları en aza indirgeyecek sistemlerin geliştirilmesi sağlanmaktadır. Bu çalışmada, son yıllarda yapılan araştırma, uygulama ve gelişmeler incelenerek “sürdürülebilir yapı” ve “sürdürülebilir çevre” üzerine gerçekleştirilmiş nanoteknolojik yaklaşımlar tartışılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda; nanoteknolojinin sürdürülebilirlik konusuna katkı sağladığını söylemek mümkündür.

Anahtar Kelimeler – Nanoteknoloji; Sürdürülebilirlik; Nanomalzemeler; Mimarlık

Nanotechnological Approaches on Sustainability

Abstract – Environment and climate change caused by human life negatively affects our world on a global scale. The need for sustainable technological solutions to minimize these disadvantages is becoming increasingly imperative. Nanotechnology is entering our lives at the beginning of the 21th century; in the fields of Science, Engineering and health brings with it developments that will increase our comfort of life. Nanotechnology, which makes great use of nanomaterials in building structure and design, is also closely related to the discipline of architecture. It is seen that nanomaterials in architecture are solutions to problems such as especially energy conservation, air conditioning and comfort in architecture. With nanotechnological applications, it is provided to develop environmentally friendly systems which ensure the generation, storage and efficient use of energy, which reduce waste generation and minimize the threats to human health. In this study, nanotechnological approaches on “sustainable building” and “sustainable environment” were discussed by examining the research, applications and developments made in recent years. In the light of this investigation, it is possible to say that nanotechnology contributes to sustainability.

Keywords – Nanotechnology; Sustainability; Nanomaterials; Architecture

I. GİRİŞ

21.yüzyılda teknik beceri ve inşaat alanlarında yaşanan gelişmeler beraberinde hızla artan yeni teknolojik buluşları getirmiştir. Bu teknolojik ilerlemenin her zaman mimari üzerinde bir etkisi olmuştur. Diğer tüm alanlar gibi mimari alanda da, modern mimarlığın getirdiği olan strüktürel farklılaşmalar, yeni malzeme arayışı ve değişim düşüncesine yönelik uygulama fikirleri birer sorun haline gelmiştir [1]. Son dönemde hayatımıza girmekte olan nanoteknolojik uygulamalar ile birlikte, bilimsel ve tasarımsal alanlarda modern fikirler hayata geçirilmeye başlanmıştır. Nanoteknoloji, bir maddenin özelliklerini değiştirerek istenilen özellikte malzeme oluşturmak için nano parçacıkları (1nm- 100 nm) inceleyen bir bilim dalıdır. Atomik ve moleküler boyutta değiştirmeler yapan nanoteknolojinin hayatımıza;

- Mevcut ürünlerin optimizasyonu
- Hasar koruması
- Ağırlık ve/veya hacimde azalma
- Üretim aşamalarının sayısında azalma
- Malzemelerin daha verimli kullanılması
- Bakım ihtiyacının azaltılması (kolay temizlenebilir, daha uzun temizlik aralıkları) ve/veya kolay bakım
- Hammadde ve enerji tüketiminde azalma ve CO2 emisyonlarında azalma
- Kaynakların korunması
- Ekonomi
- Konfor

gibi katkıları bulunmaktadır [2] .

Nanoteknoloji, sürdürülebilirlikte yeni olanaklar sağlayan teknolojik gelişmelerin önünü açmaktadır. Nanomalzemeler, mimarlık alanında kullanımları sayesinde enerji korunumu, iklimlendirme ve konfor açısından sürdürülebilirlik konusuna katkıda bulunmaktadır.

Sürdürülebilirlik, insan ihtiyaçlarını karşılarken çevreyi koruyarak kaynakların gelecek nesillere aktarılmasını amaçlayan bir yaklaşımdır. Nanoteknoloji, doğal kaynakların dengeli kullanımı ve korunmasına; enerji tüketimini azaltmaya ve çevre kalitesini sürdürülebilir tasarım ilkeleri çerçevesinde geliştirmeye yardımcı olmaktadır. Enerji dönüşümünü ve enerji depolamasını daha verimli hale getirmeyi ve ürün dayanıklılığını artırmayı amaçlamaktadır [3], [4].

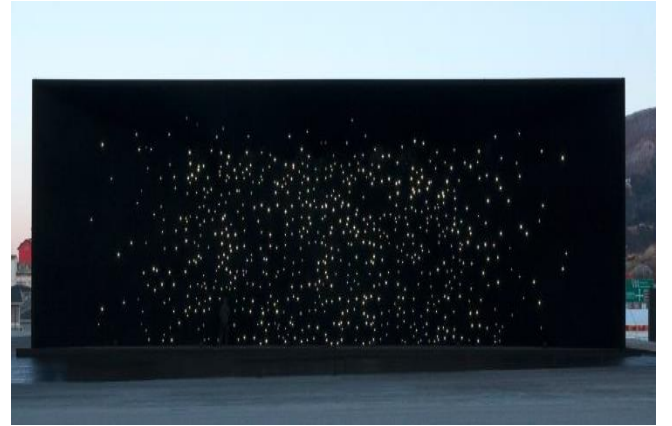
Bu çalışma son dönemlerde nanoteknolojinin mimarlıkta sürdürülebilirlik alanına katkıları belirlemek amacıyla yapılmıştır. Mimarlık düzeyinde nanoteknolojik uygulamaların enerjinin korunumu, iklimlendirme ve konfor açısından uygunluğunun saptanması çalışmanın problemi olarak seçilmiştir. Nanomalzemelerin sürdürülebilir mimarlık alanında kullanımları örnekler üzerinden incelenmiştir. Kullanılan malzemenin nano boyutta değişimiyle kazandırılan yeni özelliklerin sürdürülebilirliğe avantajları ortaya koyulmuştur.

II. NANO MALZEMELER

Nanoteknoloji, yapı teknolojisinde farklılık yaratacak yeni malzemelerin geliştirilmesini sağlar. İstenilen malzemeyi yaratma imkânı tanıyan nanoteknoloji, ahşap, beton, cam, çelik gibi yapı malzemelerinin değişimini sağlarken; izolasyon, kaplama, aydınlatma, solar enerji, hava ve su temizliği gibi alanlara da etki etmektedir [5].

Nanomalzemeler ile daha hafif ve güçlü, düşük bakım gerektiren, yangın geciktirici, ısı ve ses yalıtımlı kaplamalar ve nanosensörler oluşturulabilir. Çevreye doğrudan yarar sağlayan nanoteknoloji uygulamalarına, güneş pilleri, hava temizleme için nanokatalistlerin kullanımı ve su arıtma için nanoyapılı filtreler örnek verilebilir [3].

Moleküler boyutta yapılan değişimler, atomlar arasındaki çekim gücünü arttırmak ve daha sıkı bağlar kurulmasını sağlamaktadır [6]. Bu özelliği sayesinde ışık geçirgenliği azalan, dünyanın en siyah maddesi olarak bilinen Vantablack; Güney Kore kış olimpiyatlarında Asif Kahn'ın tasarladığı olduğu strüktür cephe tasarımının ana malzemesi olarak kullanılmıştır [7]. Nano boyutta özelliği değiştirilen bu boyanın kullandığı en geniş yüzey alanına sahip strüktür özelliğini taşımaktadır [8] (Şekil 1).



Şekil 1. Winter Olympics Pavilion [7]

III. NANOTEKNOLOJİK UYGULAMALAR VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Nano parçacıklar özellikle bina yapımında kullanılan beton, çelik, ahşap ve cam malzemelerinin içeriğinde kullanılarak yapısını değiştirebilmektedir. Yapısı değiştirilen bu malzemelere kazandırılan özellikler yardımıyla hayatımızı kolaylaştıracak birçok imkânı beraberinde getirmektedir. Malzemelerin daha dayanıklı ve uzun ömürlü, kolay temizlenme, kirlenmeye ve aşınmaya dayanıklı olması sağlanmaktadır. Bu anlamda nanomalzemeler sürdürülebilirlik konusu ile ilişkilendirilir. Mimarlık alanında nanoteknoloji kullanımları ile literatüre kazandırılmış uygulamalar; enerji korunumu, iklimlendirme ve konfor başlıkları altında incelenmiştir.

A. Enerji Korunumu

Enerji verimliliği ya da enerji korunumu sürdürülebilirlik kavramları arasında birinci sırada yer almaktadır.

Bir binanın enerji verimliliği, metrekare başına düşen enerji tüketimini iklim koşulları değiştirilmeksizin azaltmak amacıyla yapılan tüm çalışmaları kapsamaktadır. Enerjinin verimli kullanımı ve düşük enerji tüketimi ile birlikte enerji tasarrufu sağlanabilir [9], [10].

Bunu sağlamak için enerji üretimine katkıda bulunan bazı sistemlerin yapıda kullanımı, enerjinin yapıya geri kazandırılmasını sağlamaktadır.

Enerji verimliliği konusu ile ilgili oluşturulan devlet politikaları yasal zorunluluklar getirilmesi ile yapılan çalışmalar ve uygulamalar son yıllarda ivme kazandığı görülmektedir.

2007 yılında resmî gazetede Enerji Verimliliği Kanunu yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Kanun yayımlandığı tarihten itibaren yapılan binalarda uygulama zorunluluğu bulunmaktadır. Bu kanuna istinaden aynı yıl içerisinde Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği Yayınlanmıştır. “Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği” binalarda enerji ve enerji kaynaklarının verimli kullanılması, enerji israfının önlenmesi, enerji maliyetlerinin azaltılması ve çevrenin korunmasını sağlamak amacıyla oluşturulmuştur [11].

Enerji kimlik belgesi: Binanın asgarî enerji ihtiyacı ve enerji tüketiminin sınıflandırılması, yalıtım özellikleri ve ısıtma-soğutma sistemlerinin verimi ile ilgili bilgileri içermektedir. Enerji Kimlik Belgesi (EKB) düzenlenmesi; Yeni binalarda, 2011 tarihinden itibaren zorunlu hale getirilmiştir [11].

JJP mimarlık tarafından tasarımı gerçekleştirilen Dingpu İstasyonu projesinden tavanda yer alan C formu yapısındaki nanoteknolojik çipler sayesinde elektrik enerjisinin bir kısmını dönüştürerek yapıya geri kazandırmaktadır [12] (Şekil 2).



Şekil 2. Dingpu İstasyonu [13]

Kazandırılan bu enerji tekrardan elektrik enerjisi olarak yapı içerisinde kullanılmaktadır. Benzer şekilde fotovoltaiik güneş panelleri ile enerjiyi depolama sağlanabilirken bina

yapımındaki malzeme özellikleri değiştirilerek daha iyi ısı yalıtımı sayesinde de enerji tasarrufu sağlanabilir [5]. Ayrıca kendini temizleme özelliğine sahip yüzeyler sayesinde hem zararlı kimyasalların kullanımı azaltılabilir hem de iş gücünden tasarruf edilebilir.

Yapıların uzun yıllar kullanımının sağlanması amacıyla kullanılan nano partiküller sayesinde de sürdürülebilirliğe katkıda bulunmaktadır. Biyo Sürdürülebilirlik İçin Bilim ve İnovasyon Enstitüsü binasında kullanılan titanyum nanatüpler sayesinde cephenin korozyona karşı korunması sağlanmaktadır (Şekil 3). Ayrıca cephede kullanılan malzemenin içerisindeki karbon nanotüpler malzemeyi bükülebilir kılmaktadır.



Şekil 3. Biyo Sürdürülebilirlik İçin Bilim ve İnovasyon Enstitüsü [14]

Bina yapımında kullanılan yapı malzemelerinin içeriğindeki nano parçacıklar sayesinde betonun daha hızlı dökülmesi, beton kalıplarında oluşan aşınma ve yıpranmaların azalması sayesinde iş gücünden ve maliyetten tasarruf edilebilmektedir. [5]. Yapılarda yüksek mukavemetli çelik kullanımı ile inşaat maliyeti ve süresi kısalmaktadır [1]. Diğer bir yapı malzemesi olan cam içerisindeki nano parçacıklar camın kirlenmeyi önleme ve kendi kendini temizleme özellikleri kazandırmaktadır. Bunun yanında yangına dayanıklı, ısı yalıtımı sağlayan cam üretimleri ile de enerjinin korunması konusuna katkı sağlanabilmektedir [5]. Ayrıca iç mekâna giren ışığı ve ısıyı kontrol edebilecek pencereler sayesinde de enerji kullanımı azaltılabilir [1], [5].

İç mekânlarda kullanılarak enerji tasarrufu sağlayan bir diğer nano çözüm OLED (organic light-emitting diode) aydınlatma sistemleridir. OLED, iki iletken arasında bir dizi organik ince film yerleştirilerek yapılan elektronik bir cihazdır. Elektrik akımı uygulandığında parlak bir ışık yayar. OLED'ler hafif, dayanıklı, güç tasarrufludur ve taşınabilir uygulamalar için idealdir [15]. Yapısında çevre için tehlikeli madde içermemesi, geri dönüşümlü yapısı sayesinde enerji korunumuna katkı sağlayarak CO₂ salınımını da azaltmaya destek olabilir [16]. Esnek yapıları sayesinde farklı kullanım alanlarına sahiptirler. İç mekânlarda duvar, zemin, tavan gibi

yapı elemanların yanında perde ve masa gibi donatı yüzeylerinde de kullanılarak ışık yüzeyleri oluşturabilirler. Bakım gerektirmemesi, kolay kullanımı, yüksek parlaklığa ve ışık verimine sahip olması nedeniyle düşük enerji tüketirler. Bunun yanında cıva ve halojen bulundurmaması nedeniyle de çevreci özelliğe sahiptir. İç ve dış mekânlarda kullanılan OLED'lerin suya dayanıklılığı bir başka özelliğidir [17]. Nanoteknolojinin enerji konusundaki bir diğer katkısı ısı yalıtımına olan faydasıdır. Yapılarda ısı yalıtımı yapılarak rahat bir ortam sağlamak için gerekli enerji miktarı azaltılmaktadır [18]. Isı yalıtımının sağlanmasında nanoteknolojik uygulama olarak aerojel kullanımı yaygındır.

Aerوجلlerin yapısının büyük çoğunluğunun havadan oluşması hafif ve şeffaf bir malzeme olmasını sağlamaktadır. Aerojel parçacıklar yapıda kompozit ve sıva gibi malzemeler ile kullanılarak ısı yalıtımını arttırmaktadır. Bunun yanında yarı saydam olması nedeniyle ışık geçirgenliği sağlar. Bu sayede yapay aydınlatma ihtiyacını ortadan kaldırarak enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. [18].

Ayrıca nanoteknolojik camlar gün ışığı ve güneş ısısını kontrol ederek yapılarda enerji performansı açısından önemli rol oynar. Yeterli aydınlatma sağlarken istenmeyen kızılötesi frekansları filtreler ve ısı kazancını azaltarak fazla ısı alınmasını engeller [18].

Tüm bunların yanında iç veya dış mekânda kullanılan kolay temizlenen, kendi kendini temizleyebilen uzun ömürlü boyalar da sürdürülebilirlik konusunda katkı sağlayan bir diğer yapı malzemesidir. Parlak özellikte olan bu boyalar iç mekânda kullanıldığında mekânın aydınlık düzeyini arttırabilmektedirler. Bu sayede enerji tasarrufuna katkıda bulunabilirler.

Grafen, doğada bilinen, aynı yoğunlukta, yapısal çeliğe göre daha güçlü ve elmasın daha sert olan, aynı zamanda 1 ila 10 karbon atomu arasında değişen bir kalınlığa sahiptir ve bilinen en güçlü malzemedir. Elastik ve esnek olmasının yanında grafen ayrıca elektriksel ve termal iletkenliğe sahiptir [19].

Nanoteknoloji kullanılarak yapının aşırı ısınma ve soğumasının engellemek mümkün olabilmektedir. Bu sayede enerji kullanımı azaltılarak tasarruf sağlanmaktadır. Evolo gökdelen yarışması kapsamında tasarımı gerçekleştirilen Heal-Berg gökdeleni dış cephesinde kullanılan grafen sayesinde aşırı ısınma ve soğuma engellenmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Heal-Berg Gökdeleni [20]

Yapı malzemesi olarak kullanılan nanoteknolojik uygulamaların yanında yüzeylere entegre edilmiş nano boyutta sistemler de enerji başlığına katkıda bulunmaktadır. Margot Krasojevic tarafından Sırp Cumhuriyetinde tasarlanan bir otobüs durağında (Belgrade Trolley Sistemi) karbon nanotüpler kullanılarak enerji üretimi sağlanan bir sistem geliştirilmiştir. Bu sistem sayesinde insan adımları, araba hareketleri vb. durumlar ile meydana gelen kinetik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürülmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Belgrade Trolley System [21]

B. İklimlendirme

Nanoteknoloji kullanılarak hava kalitesini artırmak mümkündür [22]. Sürdürülebilirliğe de katkı sağlayan bu durum iç ve dış mekânlarda iklimlendirmeyi olumlu yönde etkilemektedir.

Kendi kendini temizleyen yüzeyler anti-mikrobiyaldirler ve hava temizleme (air purifying) özelliğine sahiptirler.

Bu yüzeyler ultraviyole (UV) ışığına maruz kaldığında katalizör görevi gören titanyum dioksit (TiO_2) içermektedir ve bu sayede kirleticilerin giderilmesine yol açar [23].

Dolayısıyla, enerji ve işçilik maliyetlerinden tasarruf etmenin yanında tehlikeli maddelerin azaltılmasına da fayda sağlar [18].

Farklı malzeme içeriklerinde kullanılan nano partiküller sayesinde havanın temizlenmesi sağlanabilmektedir. İtalya Milano Moda Haftasında karbon fiber kumaş ile tasarlanan bir yapı bulduğu ortamdaki toksik maddeleri bünyesine alarak havayı temizlemektedir. (Şekil 6)



Şekil 6. İtalya Milano Moda Haftasında karbon fiber kumaş ile tasarlanan bir yapıdır [24]

Ayrıca nanoteknoloji kullanılarak üretilen boya ve kaplama malzemelerinin iç ve dış mekânlarda havadaki karbondioksiti absorbe etme özellikleri vardır. Aşırı ısınma ve soğumayı da önleyen bu malzemeler enerjiye katkı sağlamaktadır. (Şekil 7)



Şekil 7. İçerisinde grafen barındıran boya uygulaması [25]

Bina cephesinde kullanılan low-e camlar güneşten gelen ısı ve ışınların gerekli miktarının yapı içine alınırken fazla enerjinin yansıtılıp ısının cephede tutulmasını sağlar. Böylece ısı transferini dengede tutar. (Şekil 8)



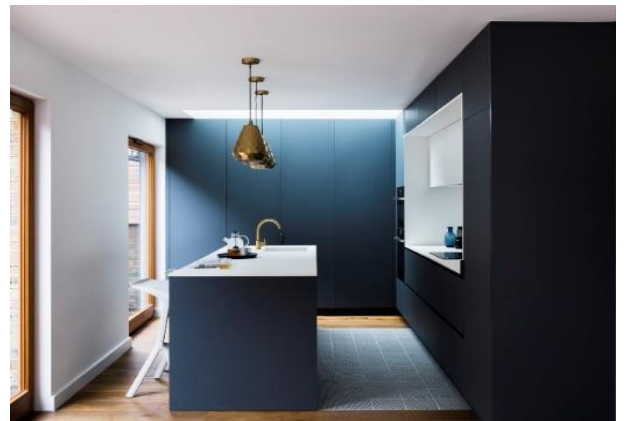
Şekil 8. Agora Kulesi [26]

C. Konfor

Sürdürülebilirlik açısından dikkat edilmesi gereken bir diğer başlık konfordur. Bir mekânda insan sağlığını olumsuz etkileyecek ortamlar yaratılmaması ve kolay kullanım sağlanması insan konforu için önemlidir. Konforlu iç mekânlar sağlamakta iç mekân hava kalitesi önemli noktalardan biridir. Kendini ve çevreyi temizleyen malzeme kullanımı ile iç mekân hava kalitesi sağlanabilir.

Kendini ve havayı temizleme teknolojisi artık tekstil ve boyalarda gittikçe daha fazla kullanılmaktadır. Kötü kokuların temizlenmesine fayda sağlayarak hava kalitesinin artması sağlanırken kullanıcı konforu da artırılabilir [2]. Nanoteknoloji ile üretilmiş filtrelemeler sayesinde istenmeyen kokuları gidermek ve havadan kaynaklanan sağlık tehditlerini ortadan kaldırmak amacıyla kirli hava emilebilir [27], [28].

Kendini temizleyen, çizilmeye dayanıklı ve anti bakteriyel yüzeyler sayesinde insanların iş gücü düşerek yaşam konforları artmaktadır. (Şekil 9)



Şekil 9. Elfort Road House [29]

Geleneksel aydınlatma elemanlarının ısınmaya neden olması ısı konforu olumsuz etkiler. Bunun yanında nanoteknolojik aydınlatma elemanları sayesinde çevreye verilen ısı miktarındaki azalma iç mekân konforunda artış sağlamaktadır [17].

Enerji başlığında bahsedilen arojeller, ısı yalıtımı sağlamanın yanında ses yalıtımı da sağlayarak enerji tasarrufu yanında iç mekân konforunu da sağlamaya yardımcı olurlar [30]. Bunun yanında yarı saydam olması nedeniyle ışık parlamalarının önüne geçer. Bu sayede gölgelendirme elemanı ihtiyacını ortadan kaldırır ve insan sağlığını olumlu yönde etkiler [18].

Yapılarda kullanılan nanoteknolojik camlar sayesinde mekânın içerisine güneş ışığını kontrollü bir şekilde alarak verimli bir doğal aydınlatma sağlanabilir. Ayrıca bu camlar gölge kontrolü ve parıltı düzeyini de ayarlayabilmektedirler. (Şekil 10)



Şekil 10. Devon Yard [31]

Nanoteknolojik gelişmeler sayesinde enerji başlığı altında sayılan kendini temizleme, aydınlatma, ısı ve ses yalıtımı sağlayan bütün özellikler konforu da olumlu etkileyen unsurlar arasındadır.

IV. SONUÇ

Nanoteknoloji her alanda karşımıza çıkan bir disiplindir. Yapılan çalışma ile de görüldüğü üzere mimaride sürdürülebilirlik açısından nanoteknoloji yaygın bir kullanıma sahiptir. Nanoteknoloji birçok alanda kullanımı sayesinde hayatımızı kolaylaştırmaktadır.

Nanoteknoloji, bir malzemenin özelliklerini geliştirmek veya istenen özelliklere sahip yeni malzemeler oluşturmak için malzemelerin atomik ve moleküler ölçekte manipülasyonudur. Yukarıda belirtildiği gibi, nanoteknoloji, dünyanın karşı karşıya olduğu küresel sürdürülebilirlik zorluklarını ele almak için çok yönlü bir platform olarak ortaya çıkmıştır. Nanomalzemeler, sürdürülebilir teknolojiler için fonksiyonel

malzemeler olarak onları etkili kılan önemli fizikokimyasal özellikleri ortaya çıkarmaktadır. Hafif ve dayanıklı yapı dış cephe malzemeleri, gün ışığı alma, verimli yapay aydınlatma; yapı bileşenleri ve sistemleri için artan verimlilik standartları; yapı endüstrisini küresel iklim değişikliğiyle mücadelede sürdürülebilir kalkınma ve enerji tasarrufu sağlama konusunda geleceğe yön verecek tasarımlar sunmaktadır.

Ayrıca, üretim sürecinde ihtiyaç duyulan enerji ve hammadde miktarını azaltarak, kaynakların korunmasına ve karbon emisyonlarının azalmasına katkıda bulunur. Nanoteknoloji, korozyon, yorulma, aşınma ve aşınmaya karşı yüksek direnç sayesinde malzemelerin sağlamlığını artırır. Nanoteknolojik uygulamalar bakıldığında ilk adımda maliyetli olabilmektedir. Fakat uzun vadede düşünüldüğünde bakım ve enerji masraflarını azaltması nanomalzemeleri avantajlı bir yol olarak göstermektedir.

Yapılan çalışmada kullanılan yapı örnekleri kendi içerisinde en birincil özelliklerine göre kategorize edilmiştir. Yapılar esasen her kategoride bahsedilen özellikler ile ilişkilidir. Bu açıdan bakıldığında nanoteknolojik uygulamaların tek yönlü değil çok yönlü olduğunu söylemek mümkün olmaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] Yasin L. S. B. ve Atiyat D. I., *The Effect of Nano Technology on Architecture*, Int'l Journal of Advances in Agricultural & Environmental Eng. (IJAAEE), Vol. 4, Issue 1, 2017
- [2] Leydecker S., *Nanomaterials in Architecture, Interior Architecture and Design*, BirkhauserVerlag AG, Berlin, 2008
- [3] Fouad F., "NanoArchitecture and Sustainability", İng. Tez, University of Alexandria, Haziran, 2012
- [4] Dhingra R., Naidu S., Upreti G. ve Sawhney R., *Sustainable Nanotechnology: Through Green Methods and Life-Cycle Thinking*, Sustainability, 2010
- [5] Mohamed A., *Towards Sustainable Architecture With Nanotechnology*, Al-Azhar Engineering Eleventh International Conference, 2010
- [6] OECD (2013-06-14), "Nanotechnology for Green Innovation", OECD Science, Technology and Industry Policy Papers, No. 5, OECD Publishing, Paris, 2013
- [7] <https://www.dezeen.com/2018/02/07/asif-khan-coats-pavilion-super-dark-vantablack-vbx2-pyeongchang-winter-olympics-2018-worlds-darkest-material/>, Erişim Tarihi: 11.10.2019
- [8] <https://www.surreynanosystems.com/about/vantablack>, Erişim Tarihi: 11.10.2019
- [9] *Energy efficiency in buildings*, Sustainable Energy Regulation and Policymaking for Africa, Module 18,
- [10] https://www.wikizero.com/tr/Enerji_tasarrufu, Erişim Tarihi: 18.11.2019
- [11] Enerji Verimliliği Kanunu, No:5627, Resmi Gazete, Sayı:26510, Mayıs, 2007, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2007/05/20070502-2.htm>
- [12] <https://inhabitat.com/futuristic-metro-station-puts-a-novel-spin-to-the-everyday-commute-in-taipei/>, Erişim Tarihi: 11.10.2019
- [13] <https://www.jjpan.com/portfolio/dingpu-mrt-station/>, Erişim Tarihi: 11.10.2019
- [14] <https://inhabitat.com/future-solar-technology-inspired-this-bio-sustainability-research-centers-prefab-facade/>, Erişim Tarihi: 11.10.2019
- [15] Rankel S., "Organic Light Emitting Diodes", University of Ljubljana, Mayıs, 2004
- [16] <http://www.ledportali.com/oled-aydinlatma-uygulamaları/>, Erişim Tarihi: 11.10.2019
- [17] Yılmaz, S. Ve Vural, N., "Sürdürülebilir Yapıların Tasarlanmasında Nanoteknolojinin Rolü", 2. Uluslararası Sürdürülebilirlik Sempozyumu, S. 294-302, 2015
- [18] Eisazadeh, n., ve Allacker, k., "Nanotechnology And Its Impact On Sustainable Architecture" Sustainable Built Environment (SBE) Regional Conference, s.688-694, 2016

- [19] <https://www.graphenano.com/en/what-is-graphene/>, Erişim Tarihi: 11.10.2019
- [20] <https://inhabitat.com/futuristic-floating-skyscraper-heals-the-effects-of-climate-change/>, Erişim Tarihi: 11.10.2019
- [21] <https://inhabitat.com/margot-krasojevic-designs-belgrade-trolley-system-powered-by-piezoelectricity/>, Erişim Tarihi: 11.10.2019
- [22] Zhuang J. ve Gentry R., *Environmental Application and Risks of Nanotechnology: A Balanced View*, Ohio State Univ Libraries, 2011
- [23] Air Quality Expert Group, "Paints and Surfaces for the Removal of Nitrogen Oxides", Department for Environment, Food and Rural Affairs; Scottish Government; Welsh Government; and Department of the Environment in Northern Ireland, 2016
- [24] <https://inhabitat.com/this-spiraling-sculpture-can-absorb-the-emissions-of-90000-cars/>, Erişim Tarihi: 11.10.2019
- [25] <https://www.graphenstone.co.uk/graphenstone-uk-projects-traditional-house-spain.html>, Erişim Tarihi: 11.10.2019
- [26] <https://inhabitat.com/twisting-agera-tower-with-a-jungle-of-vertical-gardens-breaks-ground-in-taipei/>, Erişim Tarihi: 11.10.2019
- [27] Elvin G., *Nanotechnology in Architecture*, Ball State University, 2017
- [28] Ashby M. F., Ferreira P. J. ve Schodek D. L., "Nanomaterials, Nanotechnologies and Design", Elsevier, Oxford, 2009
- [29] https://www.archdaily.com/887353/elfort-road-house-amos-goldreich-architecture?ad_source=search&ad_medium=search_result_all, Erişim Tarihi: 11.10.2019
- [30] El-Sammy M., "NanoArchitecture", University of Alexandria, İng. Tez, Ekim, 2008
- [31] <https://www.cpidaylighting.com/devon-yard/>, Erişim Tarihi: 11.10.2019