

Nanoteknolojik Yapı Malzemelerinin Mimaride Kullanım Olanaklarının Araştırılması

Aslı ÇÜÇEN¹, Yusuf Tahir ALTUNCI²

¹Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Burdur, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-0091-8973),

²Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknik Bilimler MYO, İnşaat Bölümü, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5418-7742), yusufaltunci@isparta.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 19.08.2021 ve Kabul Tarihi 13.01.2022)

(DOI: 10.35354/tbed.984956)

ATIF/REFERENCE: Çüçen, A., Altuncu, Y. T. (2022). Nanoteknolojik Yapı Malzemelerinin Mimaride Kullanım Olanaklarının Araştırılması. *Teknik Bilimler Dergisi*, 12 (1), 17-23.

Öz

Nanoteknoloji kullanımı ile laboratuvar ortamında şekillendirilerek üretilen veya boyutu nano ölçeğe indirilmiş malzemeler nanoteknolojik malzemeler olarak tanımlanmaktadır. Tasarımı ve üretimi nanoteknoloji ile yapılmış olan malzemelerin, geleneksel yöntemler kullanılarak üretilmiş malzemelere göre daha dayanıklı, fonksiyonelliği arttırılmış ve kolay taşınabilir malzemeler olduğu bilinmektedir. Günümüz teknolojisi olan nanoteknoloji, yapı malzemeleri ve mimarlık alanında da gelişim göstermektedir. Nanoteknolojik yapı malzemelerinin mimaride kullanım olanaklarının belirlenebilmesi amacıyla yapılan bu çalışmada; yapı sektöründe kullanılan nanomalzemeler, literatür taraması ve uygulama örnekleriyle birlikte detaylı olarak araştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda, nanoteknoloji alanındaki gelişmelerin yapı malzemelerini ve mimarlık alanını doğrudan etkilediği, yapılarda kullanılmakta olan geleneksel yapı malzemelerinin özelliklerini iyileştirdiği ve sürdürülebilir yapı tasarımında önemli rol oynadığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Nanoteknoloji, Nanoteknolojik Yapı Malzemeleri, Nanomimarlık.

Investigating the Opportunities to Use Nanotechnological Building Materials In Architecture

Abstract

Nanotechnological materials are defined as materials reduced in nano-size or formed and produced in a laboratory environment by using nanotechnology. It is known that materials designed and produced through nanotechnology are more durable, more functional, and more portable than materials produced through conventional methods. Nanotechnology, today's technology, is showing improvements in building materials and architecture fields as well. In this study, which was conducted to determine the possibilities of using nanotechnological building materials in architecture, nanomaterials used in the building trade were investigated thoroughly along with literature review and application examples. At the end of the study, it was concluded that improvements in the nanotechnology field affect building materials and the architecture field directly, enhance the features of conventional building materials used in buildings, and play a crucial role in sustainable structure designing.

Keywords: Nanotechnology, Nanotechnological Building Materials, Nanoarchitecture.

1. Giriş

100 nanometreden daha küçük boyutlardaki, atomik ölçülerdeki maddelerin belirli bir amaca yönelik tasarımının yapılması, üretilmesi ve kullanılması anlamına gelen nanoteknoloji 21. yüzyılın en önemli gelişmeleri arasında yer almaktadır [1]. Bilişim sektörü, sağlık bilimleri, savunma ve güvenlik alanı, havacılık ve uzay sistemleri, elektronik, tekstil, ziraat, kimya, fizik biyoloji, mimarlık, malzeme bilimi ve inşaat teknolojileri gibi çeşitli alanlarda kullanılmakta olan nanoteknoloji; yapı malzemeleri ve mimarlık alanında da gelişim göstermektedir [2]. Nanoteknoloji ile laboratuvar ortamında şekillendirilerek üretilen veya boyutu nano ölçeğe indirilmiş malzemeler olarak nitelendirilen nanoteknolojik malzemeler mimarlık alanında geniş kullanım alanına sahiptir [3]. Bu bağlamda, mimari uygulamalarda kullanılmakta olan geleneksel yapı malzemelerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin geliştirilmesi veya tamamen yeni malzemeler üretilmesi mümkündür [4].

2. Nanoteknoloji

Herhangi bir fiziksel büyüklüğün milyarda biri "Nano" kelimesi ile nitelendirilmektedir. 10-9 metre (m) büyüklüğündeki bir ölçü ise "Nanometre" ile ifade edilmektedir. Bu bağlamda nanoteknoloji, 100 nanometreden daha küçük boyutlardaki, atomik ölçülerdeki maddelerin belirli bir amaca yönelik tasarımının yapılması, üretilmesi ve kullanılması olarak tanımlanmaktadır [1]. Nanoteknolojinin amacı daha az maliyet ve enerji tüketimi, daha dayanıklı, fonksiyonel ve kolay taşınabilir malzemelerin üretilmesini sağlamaktır.

Mimarlık alanında da nanoteknoloji sayesinde, elde edilen nano yapı malzemeleri kullanımı ile yapıda hafiflik, dayanıklılık, üretimde hızlilik vb. gibi birçok özellik eklenmektedir. Daha az malzeme ve enerji kullanımı ile üretim hedeflenmektedir [5]. Üretilen malzemelerin dayanıklı, dayanımlı, fonksiyonel ve kolay taşınabilir olmasını sağlayan nanoteknoloji; malzeme üretimi esnasında ekonomikliğin sağlanması ve çevreye verilen zararı minimum düzeye indirmesinden dolayı gelecekte yaşamın her alanında etkin olacaktır [6].

3. Nanoteknoloji ve Mimarlık

Birçok sektörde gelişen nanoteknoloji, nanomalzemelerin üretimi ve kullanımı ile mimarlık alanında da gelişme göstermektedir. Nanoteknoloji, mimarlığa; yapı ve tasarım alanlarındaki uygulamalarda, yeşil bina üretimi ve restorasyon uygulamalarında katkı sağlamaktadır. Bu bağlamda nanoteknoloji ile mimari uygulamalarda en yaygın kullanılan geleneksel yapı malzemelerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyileştirilmesi veya yeni malzemelerin üretilmesi mümkündür [5,7].

Nanoteknoloji kullanımı ile üretilmiş olan malzemelerin yapılarda kullanılması, yapıda istenilen hafifliğin elde edilmesini sağlamaktadır. Ayrıca bu malzemeler; dayanım, enerji korunumu, yangına karşı dayanım gibi etkenler üzerinde de iyileştirici etki göstermektedir. Nanoteknoloji sayesinde bir maddeye atomik veya moleküler ölçülerde etki edilmektedir. Bu özellik ile üretilen malzemeye istenilen fonksiyon verilebilmekte ve fonksiyon kazandırılmış malzemenin performansı ile yapıdan elde edilen verimlilik artmaktadır [5,8,9].

Gelişmeye devam eden teknoloji sayesinde nanoteknolojik malzemelerin diğer sektörlerde olduğu gibi mimarlık alanında da kullanımının yaygınlaşacağı öngörülmektedir.

4. Yapılarda Kullanılan Nanomalzemeler

4.1 Nanokaplamalar

İçerisine nano parçacıklar (tityumdioksit, silisyumdioksit, vb.) ilave edilmiş boya ya da ince filmden oluşturulan bir tabaka kullanımı ile malzeme yüzeylerinin kaplanması ile elde edilen yapı malzemeleri nanokaplama olarak adlandırılmaktadır. Nano boyutlar, makro boyutlarda görülemeyen kimyasal ve fiziksel değişimlerin görülmesini sağlamakta ve nano boyutlu taneciklerin yüzeye homojen dağılımı ile özellik kazandırılmış kaplamalar üretilmektedir [4].

4.1.1 Lotus Etkisi ile Kendi Kendini Temizleyen Nanokaplamalar

1997 yılında Wilhelm Barthlott tarafından "lotus etkisi" keşfedilmiş ve kendi kendini temizleyen malzeme üretimi başlamıştır. Lotus bitkisinin yapraklarının su itici (hidrofobik) özelliği ve yaprak yüzeyinin nano yapısından etkilenerek lotus etkisi geliştirilmiştir [10].

Lotus bitkisi ve hidrofobik özelliği Şekil 1'de [11] gösterilmiştir.



Şekil 1. Lotus bitkisi ve hidrofobik özelliği

Geliştirilen lotus etkisi ve nanoteknolojinin birleştirilerek kendi kendini temizleyen nanokaplamaların üretilmesi mümkündür [12].

Lotus bitkisinin yüzeyindeki engebeler nanokaplamalar ile elde edilip, yüzey kaplama malzemesi üretilmektedir. Kirin, yağmur suyu gibi az miktarda su ile temizlenmesi sağlanmaktadır. Temizleme işlemi belli aralıklarla kendiliğinden gerçekleşmektedir. Böylelikle minimum enerji tüketimi gerçekleşmekte ve ekonomik anlamda kazanç sağlanmaktadır. Özellikle bina cephelerinin temizlenme işlemi nanoteknoloji sayesinde çözülmüş olup dünya ekonomisine büyük katkı sağlanmaktadır. Günümüzde kullanılmakta olan mikro ölçekte tanecikleri yapısında barındıran dış cephe boyasında da lotus etkisinden faydalanılmaktadır. Bu boya ile kaplanan malzeme yüzeylerinde nano ölçekte dalgalar oluşmakta ve lotus etkisi meydana gelmektedir [9].

Lotus etkisiyle kendi kendini temizleyebilen özellikte boya uygulamasına örnek olarak Ara Pasic Müzesi Şekil 2'de [13,14] gösterilmiştir.



Şekil 2. Ara Pacis Müzesi

2006 yılında Mimar Richard Meier tarafından tasarımı yapılmış olan Ara Pacis Müzesi Roma'da bulunmaktadır. Müze içerisinde "Ara Pacis Augustae" sunağı yer almaktadır. Yapı, bu sunağın korunması ve sergilenmesi amacıyla şehrin tarihi merkezinde konumlandırılmıştır. Yapıda malzeme olarak çelik, traverten ve cam kullanılmıştır. Sergilemiş olduğu sunağın önüne geçmemek ve etkili ışık alımını sağlamak için yapıda sadece beyaz renk kullanılmıştır [15]. Yapı bulunduğu yer itibari ile oldukça fazla hava kirliliğine maruz kalmaktadır. Yapı, cephesinde kullanılmış olan nano boya sayesinde etkisinde kaldığı hava kirliliğine rağmen ilk günkü beyazlığını korumaktadır [9].

4.1.2 Fotokatalizle Kendi Kendini Temizleyen Nanokaplamalar

Nanoteknolojinin yapı sektöründe en geniş kullanım alanı fotokatalizle yüzeylerin kendi kendini temizleyebilme özelliğidir. Fotokatalizin ışıkla beraber oluşturduğu tepkimelerde membran veya cam benzeri malzemelerin yüzeylerindeki havanın, nem ve oksijen ile birlikte yüzeyde oluşan organik kirlerin ve gazların yanma sonucu parçalanması sağlanarak temizleme işlemi gerçekleştirilmektedir [10].

Fotokatalizle kendi kendini temizleyen nanokaplamaların uygulamasına örnek olarak Narita Uluslararası Havaalanı Şekil 3'te [16,17] gösterilmiştir.



Şekil 3. Narita Uluslararası Havaalanı

Mimar Nikken Sekkei tarafından tasarımı yapılmış olan yapı 6.500 m² alan üzerine inşa edilmiş ve 2006 yılında Tokyo'da kullanıma açılmıştır. Yapı, Titanyumdioksit (TiO₂) içeren fotokatalitik özellikli membranlarla kaplanmıştır. Böylece temizleme ve bakım masraflarından tasarruf edilmiştir [3].

4.2 Isı Yalıtımı Sağlayan Nanomalzemeler

Isı yalıtım uygulamalarında önemli bir yer tutan nanomalzemeler, nano boyutlarda (20nm-100nm) gözeneklere sahip olması nedeniyle malzeme yüzeyinden ısı geçişini engelleyerek yapılarda ısı yalıtımını sağlamaktadır. Isı yalıtımı sağlayan nanomalzemelere aerojel ısı yalıtım malzemeleri ve vakumlu ısı yalıtım panelleri örnek olarak verilebilir [12].

4.2.1 Aerojel Isı Yalıtım Malzemeleri

Aerojeller; alkojel adı verilen, silika ve etanol içerikli sıvı çözücüden oluşan jelin kurutularak katı silika bileşeninden sıvının ayrıştırılması prensibiyle elde edilmektedir. Aerojellerin yüzeyleri çok sayıda deliklerden oluşmaktadır. Bu deliklerin büyüklüğü milimetrenin milyarda biri kadardır ve delikler malzemeyi bir ağ gibi çevrelemektedir. Kırılgan bir yapıya sahip olan aerojellerin bu olumsuz özelliği teknolojik ilerlemelerle giderilmiştir [3].

Aerojellerin yapısının büyük çoğunluğu havadan oluşmaktadır. Bu özellik aerojellerin hafif ve şeffaf bir malzeme olmasını sağlamaktadır [18].

Aerojel görseli Şekil 4'te [19] gösterilmiştir.



Şekil 4. Aerojel

Yapıda kompozit ve sıva gibi malzemeler ile kullanılan aerojel parçacıklar ısı yalıtımını arttırmaktadır [18].

Aerojel ısı yalıtım malzemelerinin uygulamasına örnek olarak Highcrest Okul Binası görseli Şekil 5'te [20,21] gösterilmiştir.



Şekil 5. Highcrest Okul Binası

Tasarımını Jacobs UK Mimarlık'ın yaptığı Highcrest Okul binasında ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılan aerogel, aynı zamanda okulun güney cephesinde yer alan mekânlara günışığının homojen olarak dağılmasını sağlamaktadır. Yapının güney cephesinde sınıflar, ortak alan, dans stüdyosu ve internet erişim mekanları yer almaktadır. Bu cephe yarı saydam 70 nm kalınlığında aerogel dolgululu panellerle örtülmüştür. Bu paneller günışığını içeri almakta ve iç mekânda uygun aydınlık koşullarını sağlamaktadır. Yüksek ısı yalıtım özelliği sayesinde, ısıtma ve soğutma maliyetlerini önemli ölçüde azaltmaktadır [22].

4.2.2 Vakumlu Isı Yalıtım Panelleri

Vakumlu ısı yalıtım panelleri, açık gözeneklere sahip bir iç dolgu malzemesinin, malzeme özelliklerine bağlı olarak gaz giderici veya kurutucu kullanılmasıyla ya da bir dış zarfın içerisinde sadece dolgu malzemesi olacak şekilde vakumlama işleminin gerçekleştirilmesi ile oluşturulan ısı yalıtım malzemeleridir [12].

Vakumlu ısı yalıtım malzemelerinin uygulamasına örnek olarak Seitzstrasse Binası görseli Şekil 6'da [3] gösterilmiştir.



Şekil 6. Seitzstrasse Binası

Konut ve ticari alanlardan oluşan Seitzstrasse binası Almanya'da bulunmaktadır. Bina cephesinde nanoteknoloji kullanılarak geliştirilmiş vakumlu ısı yalıtım panelleri

kullanılmıştır. Vakumlu ısı yalıtım panelleri sayesinde binadaki enerji kaybı azalmakta ve kullanılan panellerin ince olmasından dolayı iç mekanlar daha verimli bir şekilde kullanılabilir [7].

4.3 Güneş ve Ultraviyole Işınlara Karşı Koruma Sağlayan Nanomalzemeler

Ultraviyole (UV) ışınlarına karşı koruma sağlayan nanomalzemeler, organik malzemeler ve belirli bazı katkı maddeleri kullanılarak oluşturulmaktadır. UV ışınları bünyesinde tutarak, malzemenin korunmasını sağlayan kaplamalar saydam bir yapıya sahip olmaları nedeniyle, kaplama altında bulunan ana malzemenin görünümü ve rengi güneş ışınlarından etkilenmemektedir [10].

4.3.1 Fotokromatik Cam

Nanoteknoloji kullanılarak üretilen fotokromatik camlar, güneş ışınlarının gelişine göre kendiliğinden karararak enerji kullanımını daha verimli bir hale getirmektedir.

Fotokromatik cam görseli Şekil 7'de [23] gösterilmiştir.



Şekil 7. Fotokromatik Cam

4.3.2 Termokromik Cam

Termokromik tabaka ile kaplamalı camlar ise dış ortamdaki atmosferik şartların değişimine göre renk değiştirmekte ve iç ortamdaki enerji gereksinimlerini ve ısısının ayarlanması sağlanmaktadır.

Termokromik cam görseli Şekil 8'de [24] gösterilmiştir.



Şekil 8. Termokromik Cam

4.4 Nanokompozit ve Nanotüpler

Nanokompozit yapı malzemeleri, çelik ve beton gibi geleneksel yapı malzemeleri ile nanotüplerin bir arada kullanılmasıyla elde edilmektedirler. Bu malzemelerin çelik malzemeye göre 3 kat daha sağlam olması nedeniyle yapı inşasında kullanılması durumunda yapıdan beklenen dayanımın

artmasını sağlamaktadır. Ayrıca nanotüplerin yapıda bina jeneratörü ve ışık kaynağı olarak da kullanımı mümkündür [1].

Çelik yapı sektöründe en fazla kullanılan malzemelerden bir tanesidir. Çelikte nanoteknolojinin kullanımı, çeliğin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesini sağlamaktadır. Bakır nanopartikülleri çeliğin yüzey pürüzlülüğünü azaltmakta, istenilen şeklin verilebilmesini kolaylaştırmakta ve korozyona karşı direncini arttırmaktadır [9,25].

Çelikte karbon nanotüplerin kullanımına örnek olarak Seri Wawasan Köprüsü Şekil 9'da [26,27] gösterilmiştir.



Şekil 9. Seri Wawasan Köprüsü

Malezya'da bulunan Seri Wawasan Asma köprüsünün yapımı 2003 yılında tamamlanmıştır. Köprü yapımında karbon nanotüpler ile güçlendirilmiş çelik kablolar kullanılmıştır [28].

İnşaat sektörünün en temel malzemelerinde biri olan beton içerisine karbon nanotüpler (CNT), nanosilika, polikarboksilat, titanyumdioksit (TiO₂) gibi nanomalzemeler eklenmesiyle daha yüksek dayanımlı, geçirimsizlik özellikleri iyileştirilmiş, korozyona karşı direnci artırılmış bir beton elde edilebilmektedir [29,30].

Karbon nanotüplerin uygulamasına örnek olarak Jübile Kilisesi Şekil 10'da [31,32] gösterilmiştir.



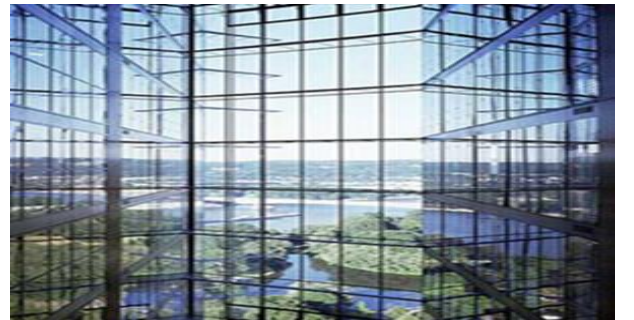
Şekil 10. Jübile Kilisesi

Tasarımını Mimar Richard Meier'in yaptığı 2003 yılında yapımı tamamlanan Jübile Kilisesi'nin cephesinde Titanyumdioksit (TiO₂) pigment katkılı fotokatalitik çimento kullanılarak yapı cephesinin beyazlığını koruması sağlanmıştır [15].

4.5 Yangın Korunumu Sağlayan Nanomalzemeler

Yangına karşı alınacak güvenlik önlemleri, yapıların tasarım ve uygulama aşamalarının tamamında dikkate alınması gereken en temel unsurlardan biridir. Meydana gelebilecek bir yangın durumunun, yapılar üzerindeki etkisini en aza indirmesi için kullanılan nano camların üretiminde de nanoteknoloji kullanılmaktadır [10].

Yangın korunumu sağlayan nano malzemelerin uygulamasına örnek olarak Deutche Post AG Binası Şekil 11'de [33,34] gösterilmiştir.



Şekil 11. Deutche Post AG Binası

Tasarımı Murphy Jahn tarafından yapılmış olan binanın yapımı 2005 yılında tamamlanmıştır. Ofislerden oluşan gökdelen 90.000 m² zemin alanına sahip olan gökdelen ofislerden oluşmaktadır. Yapı cephesinde yüksek teknoloji, yangın korunumu sağlayan cam kaplama kullanılmıştır [3,10,35].

4.6 Duvar Yazısı Yazılmaz Özellikli Nanomalzemeler

Nanoteknolojik uygulamaların yapılarıdaki diğer bir katkısı ise, hidrofobik bir yapısı olan ve kir uzaklaştırma özelliği bulunan, duvar yazılarını üzerinde tutmayan kaplamaların üretimidir [7,10,35].

Duvar yazısı yazılmaz özellikli nanokaplamaların uygulamasına örnek olarak Yeni Ulm Merkezi Şekil 12'de [3] gösterilmiştir.



Şekil 12. Yeni Ulm Merkezi

Tasarımı Stephan Braunfels mimarlık tarafından yapılmış olan binanın yapımı 2006 yılında tamamlanmıştır. Yapı cephesinde kir uzaklaştırıcı ve çizilmez özellikte kaplama kullanılmıştır [3].

5.Sonuç

Bu çalışmada, yapılarda kullanılan nanomalzemeler uygulama örnekleriyle birlikte incelenmiştir. Yapılan inceleme sonucunda çeşitli uygulama alanlarına sahip olan nanoteknolojinin yapı malzemeleri ve mimarlık alanında da gelişme gösterdiği, günümüzde yapısal sistemlerde kullanılmakta olan geleneksel malzemelerin kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerini iyileştirdiği ve yapılarda enerji korunumunu sağlayarak sürdürülebilir yapı tasarımını olanaklı hale getirdiği tespit edilmiştir. Gelişmeye devam etmekte olan teknoloji sayesinde nanoteknoloji kullanımının mimarlık ve inşaat sektöründe de yaygınlaşarak geleceğin mimarisini şekillendirmede aktif rol oynayacağı düşünülmektedir.

Kaynakça

- [1] Sarı Tekin, C. ve Sarı Çetin, A. 2021. Nanoteknoloji ve Nano Mimari. Uluslararası Sosyal, Politik ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi, 8 (1), 47-54.
- [2] Perker, Z. 2010. Nanoteknoloji ve Yapı Malzemesi Alanına Etkileri. Engineering Sciences, 5 (4), 639-648.
- [3] Cengiz, G. 2016. Mimarlıkta Sürdürülebilir Nanoteknolojik Malzeme Kullanımı. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 131s, İzmir.
- [4] Bertolini, C., Crivellaro, A., Marciniak, M., Marzi, T., ve Socha, M. 2010, Nanostructured Materials For Durability And Restoration Of Wooden Surfaces In Architecture And Civil Engineering. World Conference On Timber Engineering (WCTE)Vol. 31.

- [5] Atik, İ., Bilgin, M. 2018. Mimarlıkta Nanoteknolojinin Yeri. Kent Akademisi, 11 (2), 232-242
- [6] Kaplan Bekaroğlu, Ş. Ş., Kitiş, M., 2007. Nano Materyallerin Potansiyel Çevresel Etkileri. 7. Çevre Mühendisliği Kongresi, 24-27 Ekim, İzmir.
- [7] Gür, M. 2010. Nanomimarlık Bağlamında Nanomalzemeler. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 15(2),81-90.
- [8] Demirdöven, J. B., Arditi, D. 2012. Yapılarda ve Yapım Yönetiminde Nanoteknoloji Uygulamaları. 2. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi, 13-16 Eylül, İzmir.
- [9] Turunç, S. 2019. Nanoteknolojik Yapı Malzemelerinin Türk Yapı Sektöründe Kullanımı. Balıkesir Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 94s, Balıkesir.
- [10]Şahin, O. Z. 2019. Nanoteknolojik Ürünlerin Giydirmeye Cephe Sektörü Bağlamında Araştırılması. Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 85s, Balıkesir.
- [11] Lotus Bitkisi Görseli. https://cdn.shopify.com/s/files/1/1465/4230/files/02_large.jpg?v=1479372596. (Erişim Tarihi 06.06.2021).
- [12]Yılmaz, A. G. S., Vural, N. 2015. Sürdürülebilir Yapıların Tasarlanmasında Nanoteknolojinin Rolü. 2. Internatinol Sustainable Buildings Symposium, 28-30 Mayıs, Ankara, 294-302.
- [13]Ara Pasic Müzesi Görseli. https://mimaritasarimveelestiri.files.wordpress.com/2019/04/p1.arapacis_18-1024x548.jpg?w=710. (Erişim Tarihi 06.06.2021).
- [14]Ara Pasic Müzesi Görseli. <https://mimaritasarimveelestiri.files.wordpress.com/2019/04/kartpostal-kopya-1.jpg?w=710>. (Erişim Tarihi 06.06.2021).
- [15]Orhon, A. V. 2014. Kendini Temizleyen Cephe Sistemleri. 7. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, 3-4 Nisan, İstanbul.
- [16]Narita Uluslararası Havaalanı Görseli. https://www.makmax.com/dcms_media/image/8_transport_narita-2.jpg. (Erişim Tarihi 06.06.2021).
- [17] Narita Uluslararası Havaalanı Görseli. https://www.makmax.com/dcms_media/image/8_transport_narita-1.jpg. (Erişim Tarihi 06.06.2021).
- [18] Çavdar, A. D., Bektaş, U., Karahasanoğlu, İ. C. 2019. Sürdürülebilirlik Üzerine Nanoteknolojik Yaklaşımlar. 4 th International Symposium on Innovative Approaches in Architecture, Planning and Design, 22-24 Kasım, Samsun, 28-34.
- [19]Aerojel Görseli. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/2c/Aerogel_hand.jpg/150px-Aerogel_hand.jpg (Erişim Tarihi 06.06.2021).
- [20] Highcrest Okul Binası Görseli. https://www.pressreleasefinder.com/primages/2006/med/CABPR036c_1513115.jpg. (Erişim Tarihi 06.06.2021).

- [21] Highcrest Okul Binası Görseli.
https://www.pressreleasefinder.com/primages/2006/meld/CABPR036a_5612115.jpg. (Erişim Tarihi 06.06.2021).
- [22] Tokuç, A., Taşçı, B. G. 2014. Enerji Etkin Cephelerde Nanoteknoloji. Yapı Dergisi, 397, 146-150.
- [23] Fotokromatik Cam Görseli.
https://yapidergisi.com/wp-content/uploads/2020/04/Foto_022-Large-694x1030.jpg. (Erişim Tarihi 06.06.2021).
- [24] Termokromik Cam Görseli.
https://yapidergisi.com/wp-content/uploads/2020/04/Foto_010-Large-1030x597.jpg (Erişim Tarihi 06.06.2021).
- [25] Khandve, P. 2014. Nanotechnology For Building Material. International Journal Of Basic And Applied Research, 4, 146-151.
- [26] Seri Wawasan Köprüsü Görseli.
<https://previews.123rf.com/images/thanipat/thanipat1607/thanipat160700028/59755831-seri-wawasan-bridge-in-putrajaya-it-is-a-370m-long-bridge-which-is-built-across-the-putrajaya-lake-i.jpg> (Erişim Tarihi 06.06.2021).
- [27] Seri Wawasan Köprüsü Görseli.
<https://thumbs.dreamstime.com/b/seri-wawasan-bridge-5514511.jpg> (Erişim Tarihi 06.06.2021).
- [28] Babuka, H. (2016). Application Of Nanotechnologies In Sustainable Architecture. In Proceedings Of Fourth Student Conference" Energy Efficiency And Sustainable Development"-SCEESD, Skopje.
- [29] Ali, A. A. 2020. Nanotechnology In Civil Engineering Construction. International Journal Of Structural And Civil Engineering Research, 9(1), 87-90.
- [30] Bjegović, D., Serdar, M., & Štirmer, N. 2018. Nanotechnology Applied To Create A New Generation Of Multifunctional Construction Materials. Annual Of The Croatian Academy Of Engineering, (21.), 183-204.
- [31] Jübile Kilisesi Görseli.
<https://files.structurae.net/files/photos/2055/rom/p5080658.jpg> (Erişim Tarihi 06.06.2021).
- [32] Jübile Kilisesi Görseli.
<https://files.structurae.net/files/photos/2055/rom/p5080663.jpg> (Erişim Tarihi 06.06.2021).
- [33] Deutche Post AG Binası Görseli.
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f4/Posttower_Bonn_001.jpg/220px-Posttower_Bonn_001.jpg (Erişim Tarihi 06.06.2021).
- [34] Deutche Post AG Binası Görseli.
http://www.mimdap.org/images/projeler/deutsche_post_ag/07.jpg (Erişim Tarihi 06.06.2021).
- [35] El-Samny, M. F. 2008. Nanoarchitecture Nanotechnology and Architecture. University Of Alexandria, Yüksek Lisans Tezi, 105s, Mısır.