



# ULUBORLU MESLEKİ BİLİMLER DERGİSİ (UMBD)

Uluborlu Journal of Vocational Sciences

<http://dergipark.gov.tr/umbd>

## NANOTEKNOLOJİK YÖNTEMLE ÜRETİLEN YAPI MALZEMELERİNİN İNŞAAT SEKTÖRÜNDE KULLANIMININ İNCELENMESİ

Ahmet Cihat ARI<sup>1\*</sup> 

<sup>1\*</sup>Yozgat Bozok Üniversitesi, Akdağmadeni Meslek Yüksekokulu, Mimari Restorasyon Programı, Yozgat,  
\*Sorumlu Yazar: [a.cihat.ari@bozok.edu.tr](mailto:a.cihat.ari@bozok.edu.tr)

(Geliş/Received: 22.07.2021; Kabul/Accepted: 23.12.2021)

**ÖZET:** Teknolojide ve bilimde yaşanan ilerlemeler mimari tasarımların değişmesine yol açmıştır. Ayrıca zamanla kullanıcı isteklerinin değişmesinin ve konfor düzeyinin yükselmesinin mimari tasarımların değişmesine etkisi olmuştur. Gelişen teknolojiler arasında yer alan nanoteknolojide mimari tasarımların değişmesine ve gelişmesine katkısı olmuştur. Bu çalışmada, nanoteknolojik yöntemle üretilen yapı malzemelerinin inşaat sektöründe kullanımının incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın konu kapsamında literatür araştırması yapılmıştır. Çalışmada, nonteknolojik yapı malzemelerinin kullanımına ilişkin örnekler verilerek açıklanmıştır. Yapılan literatür incelemelerinin sonucunda, nanoteknolojik yapı malzemelerinin inşaat sektöründe kullanılmasıyla dayanıklı, yalıtım açısından yüksek ve farklı mimari tasarımların yapılabilmesine olanak tanımıştır. Ayrıca nanoteknolojik malzemelerin optik, termal ve yalıtım özelliğinin yüksek olması yapının izolasyonunun artmasına yanı sıra bu malzemelerin üretimi sırasında atık ürünlerin kullanılmasını sağlayarak sürdürülebilirlik bağlamında doğanın ve çevrenin korunmasına katkı sağlamıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Nanoteknoloji, Nanokompozit Malzeme, Nano Yapılar, Sürdürülebilirlik.

## INVESTIGATION OF THE USE OF BUILDING MATERIALS PRODUCED BY NANOTECHNOLOGICAL METHOD IN THE CONSTRUCTION SECTOR

**ABSTRACT:** Advances in technology and science have led to changes in architectural designs. In addition, the change in user requests and the increase in comfort level over time have had an impact on the change in architectural designs. Nanotechnology, which is among the developing technologies, has contributed to the change and development of architectural designs. In this study, it is aimed to examine the use of building materials produced by nanotechnological method in the construction industry. A literature search was conducted within the scope of the study. In the study, examples of the use of non-technological building materials are given and explained. As a result of the literature review, the use of nanotechnological building materials in the construction industry has enabled durable, high insulation and different architectural designs to be made. In addition, the high optical, thermal and insulating properties of nanotechnological materials have contributed to the protection of nature and the environment in the context of sustainability by ensuring the use of waste products during the production of these materials, as well as increasing the isolation of the structure.

**Keywords:** Nanotechnology, Nanocomposite Material, Nanostructures, Sustainability.

## 1. GİRİŞ

Teknolojide yaşanan gelişmeler, inşaat sektöründeki yapı tasarımının ve yapım tekniklerinin ilerlemesini sağlamıştır. Bununla birlikte, malzeme bilimindeki gelişmeler inşaat sektörünün ilerlemesine katkı sağlamıştır. Teknolojide yaşanan gelişmelerle birlikte ortaya çıkan nanoteknoloji, inşaat sektöründe önemli bir yer edinmiştir. Nanoteknoloji malzeme alanında getirdiği yenilikler nedeniyle, inşaat sektöründe yaygınlık kazanmasına neden olmuştur. Nanoteknolojiyi kullanarak malzemelerin dayanıklılık, termal ve yalıtım özelliklerine sahip olması, inşaat sektöründe tercih edilmesinde etkili olmuştur. Ayrıca bu malzemelerin kendi kendine temizleme özelliği, enerji verimliliği ve ekonomik olması nedeniyle yapıların inşasında kullanılmasını sağlamıştır.

Nanoteknoloji, “1 ile 100 nanometre arasında değişen boyutlarda yapılandırılmış parçacıkların kimyasal ve fiziksel özelliklerinin incelenmesiyle” malzemelerin üretilmesini sağlayan teknoloji olarak açıklanmaktadır [1]. Nanoteknolojide yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya olmak üzere iki yaklaşım kullanılmaktadır. Yukarıdan aşağıya yaklaşımda “atomik seviye kontrolü olmadan orijinal özelliklerini korurken daha büyük yapıların boyut olarak nano ölçeğe indirgemesini” sağlamaktadır. Aşağıdan yukarıya yaklaşımda ise, “büyük yapılardan küçük kompozit parçalara dönüştürülmesinde” yararlanılmaktadır [2].

Nanoteknolojiyle üretilen malzemenin özelliklerinde değişiklik yapılarak yeni işlevler verilebilmektedir. Ayrıca bu teknolojiyle, malzemenin özellikleri geliştirilerek yeni malzemelerin üretilmesine katkı sağlamaktadır [3]. Bu teknolojiyle üretilen boyalar veya cam kaplamaların kendi kendine temizleme özelliği, antimikrobiyal ve kirliliği azaltıcı özellikler kazandırılabilir. Bununla birlikte yalıtım için silika aerojeller veya çelik korozyon koruması için nano kapsüllenmiş korozyon inhibitörlerinden yararlanılmaktadır [4]. Nanoteknoloji sağladığı bu özellikler nedeniyle tıp, imalat sektörü, elektronik cihazlar, savunma sektörü, gıda sektörü ve inşaat sektörü gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır. Bununla birlikte nanoteknolojiyle üretilen malzemelerin geleneksel malzemelere göre, ortam şartlarına uyum sağlama yeteneği, enerji tasarrufu ve üretim maliyet oranı düşük olması gibi üstün özellikleri, farklı sektörlerde kullanım alanının artmasında etkili olmaktadır.

İnşaat sektöründe, nanoteknolojiyle üretilen nano malzemelerin kullanılmasıyla enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Kentlerde hızlı nüfus artışı nedeniyle, yapıların enerji ihtiyacının yetersiz kalması, sürdürülebilir enerji kaynaklarının önemini arttırmaktadır. Nano malzemelerin güneş enerji panellerinde kullanılması, enerji verimliliğinin sağlanmasına katkısı olmuştur. İnşaat sektöründe nanoateknolojiyle üretilen ısı yalıtım malzemeleri, yapıların hem enerji ve yakıt masraflarının azaltılmasını sağlamakta, hem de bu ısı yalıtım malzemeleri geleneksel ısı yalıtım malzemelerine göre daha ekonomik olması nedeniyle sürdürülebilir kalkınma açısından önem kazanmıştır. Ayrıca bu yalıtım malzemeleri geleneksel yalıtım malzemelerine göre üretim ve kullanım aşamasında, yapılarda enerji tüketiminin azalması, atmosfere karbon salınımının düşmesinde yararlı olmaktadır. Nano malzemelerin sağladığı bu yalıtım özelliği nedeniyle, küresel enerji tüketiminin azaltılmasında etkisi olmaktadır. Nanoteknoloji enerji tüketiminin ve çevre kirliliğinin azaltılmasında sağladığı bu olumlu özelliklerden dolayı Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) ve Green Star ve benzeri akreditasyonlardan kabul görmektedir [4].

Günümüzde yapıların inşasında kullanılan malzemelerden biri olan betonun özelliklerinin geliştirilmesinde nanoteknolojiden yararlanılmaktadır. Çimento kompozitlerin mekanik performansının yükseltilmesi, kendi kendini temizleme, kendi kendini iyileştirme, yüksek

süneklik ve çatlakların kendi kendine kontrolü için nano malzemeler kullanılmaktadır. Çimento içerisine karıştırılan nano malzemeler (nano-SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve karbon nano-tüp ve karbon nano-fiberler) betonun hem mukavemetinin ve dayanıklılığının artırılmasını hem de malzemeye yeni özellikler kazandırılmasında yararlı olmaktadır [5]. Ayrıca nanoteknolojiyle üretilen malzemelerin korozyon direnci, mukavemet, dayanıklılık gibi özelliklerinin üstün nitelikte olmasının yanı sıra yapıların inşasında malzemelerin seçimi, montaj yöntemlerini ve yerinde kullanım tekniklerini doğrudan etkilemesi nedeniyle inşaat sektöründe kullanılmasını sağlamıştır. Bu konuda yapılan araştırmaların bazıları şunlardır: Zhang ve Li (2011) yaptığı çalışmada, çimentonun içerisine TiO<sub>2</sub> eklenmesiyle, betonun gözenek yapısını iyileştirmiş ve klorür penetrasyonuna karşı direncini % 31 oranında arttırmıştır [6]. Shekari ve Razzaghi (2011) yaptığı çalışmada, çimentonun içerisine % 1.5 oranında ZrO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> eklenmesiyle, betonun basınç dayanımını arttırdığını ve klorür penetrasyonunu azalttığını tespit etmişlerdir [7]. Jo ve diğerleri (2007) yaptığı çalışmada, çimentonun içerisine % 6 oranında nanosilika eklenmesiyle, betonun 7 ve 28 günlük yaşta sırasıyla 88.16 ve 102.28 MPa'lık bir basınç dayanımına ulaştığını göstermişlerdir [8]. Çimento içerisine karıştırılan nano malzemelerin betonun korozyon direnci, mukavemet ve dayanıklılık özelliklerini arttırdığı yapılan bu çalışmalarla tespit edilmiştir. Nanoteknolojinin inşaat sektöründe kullanılmasıyla, inşaat maliyetlerinin azalmasında etkisi olmuştur. Betonun içine nano fiber takviyelerinin kullanılması, betonun içerisinde çelik takviye ihtiyacının potansiyel olarak azalmasına neden olmuştur. Yapıların inşasında nano fiber takviyeli betonların yer alması, inşaat demirini bağlama ve kaynak için gereken işçiliğin azaltılmasını sağlamıştır. Bununla birlikte nano partiküllerin betona eklenmesi, daha kısa yerleştirme süresi nedeniyle, yapıların inşa edilme süresinin kısalması mümkün olmuştur [3]. Örneğin Wang ve diğerleri (2020) yaptığı çalışmada, çimento içerisine % 0,3 oranında karbon nanofiberin eklenmesiyle, betonun basınç, eğilme ve çekme dayanımı maksimuma ulaştığını tespit etmişlerdir [9]. Cwirzen ve diğerleri (2008) yaptığı çalışmada, karbon nanotüplerin çimentoya ilavesinin, betonun basınç dayanımında % 50'lik bir artış sağlamıştır [10]. Gdoutos ve diğerleri (2016) yaptığı çalışmada, karbon nanoliflerle güçlendirilmiş çimento harcın mekanik özelliğini incelemişlerdir. Ayrıca çalışmada, karbon nanoliflerin harç matrisinin mekanik özelliklerini önemli ölçüde iyileştirilmesine katkı sağlamıştır [11].

Bu makalede, nanoteknolojik yöntemle üretilen yapı malzemelerinin inşaat sektöründe kullanımı incelenmiştir. Çalışmada, nanoteknolojiyle üretilen malzemelerin özellikleri ve üretim esnasında kullanılan nano malzemelerin uygulama alanları, inşaat sektöründeki yararları açıklanmıştır. Ayrıca çalışmada, nanoteknolojik malzemelerin inşaat sektöründe kullanımına örnekler verilmiştir. Bununla birlikte çalışmada, nanoteknolojik yapı malzemelerinin inşaat sektöründe kullanılmasının sürdürülebilir çevre ve insan sağlığına olan etkisi araştırılmıştır.

## 2. YÖNTEM

Bu çalışmanın incelenmesinde literatür ve doküman araştırması yapılmıştır. Çalışma konu kapsamında makaleler, yayınlanan tezler, kitaplar ve web kaynaklarından yararlanılmıştır. Ayrıca çalışmada, nanoteknolojik yapı malzemelerinin inşaat sektöründe kullanımına ilişkin örnekler incelenmiştir.

Nanoteknolojik malzemelerin mimari tasarıma etkisi ve bu malzemelerin inşaat sektöründe sağladığı avantajlar araştırılmıştır. Çalışmada, nanoteknolojik yapı malzemeleri geleneksel yapı malzemelerine göre mekanik, yalıtım, termal ve optik özellikleri bakımından karşılaştırması yapılmıştır. Ayrıca çalışmada nanoteknolojik malzemelerin inşaat sektöründe kullanımında doğaya ve çevreye olan etkisi incelenmiştir.

### 3. BULGULAR ve TARTIŞMA

#### 3.1. Yeni Yapı Malzemelerinin Geliştirilmesinde Kullanılan Nanomalzemeler ve Özellikleri

Nanomalzemeler geleneksel yapı malzemelerine göre yalıtım, dayanıklılık, optik ve termal gibi üstün özellikleri bulunması nedeniyle inşaat sektöründe kullanılmaktadır. İnşaat sektöründe yeni yapı malzemelerinin geliştirilmesinde titanyum dioksit ( $TiO_2$ ), nanosilika ( $SiO_2$ ) ve karbon nanotüpler, alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ ), gümüş (Ag), çinko oksit ( $ZnO$ ), zirkonyum oksit ( $ZrO_2$ ) ve wolfram (tungsten) oksit ( $WO_3$ ) gibi nanopartiküller kullanılmaktadır [12]. Bu nanomalzemelerin özellikleriyle ilgili bilgiler Tablo 1’de açıklanmıştır.

**Tablo 1.** Yeni yapı malzemelerinin geliştirilmesinde kullanılan nanomalzemeler ve özellikleri [12].

Nanomalzemeler	Yapı Malzemelerinde Beklenen Özellikler
Karbon nanotüp	Tuğla ve betonda mukavemeti artırmakta ve çatlakları önlemektedir. Taş, cam, alçı, çelik, beton ve seramiklerde mekanik ve ısı özellikler sağlamaktadır.
Titanyum dioksit ( $TiO_2$ )	Beton ve boyalara eklenerek yüzeylere kendi kendini temizleme özelliği kazandırmaktadır.
Nanosilika ( $SiO_2$ )	Betonların basınç dayanımını, harcın priz süresini kısaltır ve kohezyonu artırmaktadır.
Çinko oksit ( $ZnO$ )	Betonun suya karşı dayanıklılığını artırmaktadır. Plastik, seramik, cam, çimento, kauçuk, boyalar, yapıştırıcılar, dolgu macunları, pigmentler ve yangın geciktiriciler malzemenin içeriğine konularak, yarı iletken ve piezoelektrik özelliğinden yararlanılmaktadır.
Gümüş (Ag)	Malzemelere anti bakteriyel özellik kazandırmaktadır.
Alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ )	Betonun çekme ve eğilme mukavemeti artırmaktadır.
Zirkonyum oksit ( $ZrO_2$ )	Malzemelere dayanıklılık, sertlik, esneklik ve yalıtkan özellikler vermektedir.
Wolfram (Tungsten) oksit ( $WO_3$ )	Camlardan geçen ısı veya ışık miktarının iletim özelliklerinin değiştirilmesinde, güneşin zararlı ışınlarından korunmasında ve enerji tasarrufu sağlanmasında kullanılmaktadır.

#### 3.2. Nanoteknolojik Yöntemle Üretilen Yapı Malzemeleri

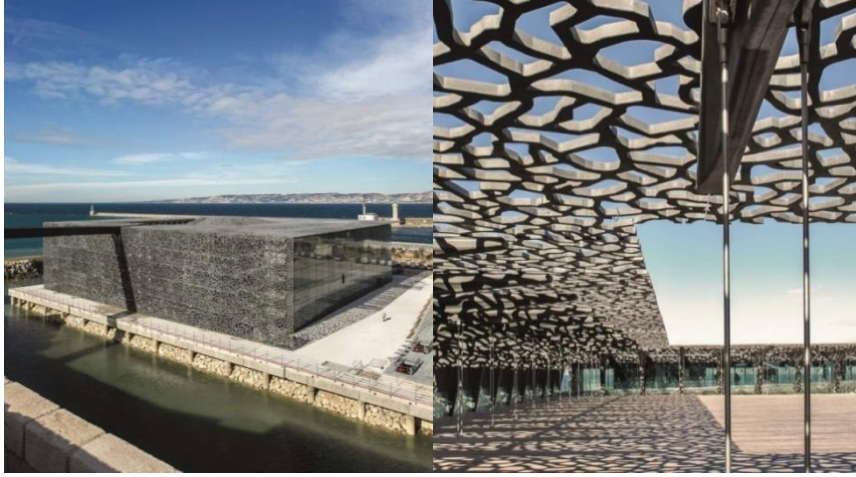
Nanoteknolojik yöntemle yapı malzemelerine kendi kendine temizleme, yalıtım, dış ortam şartlarına uyum sağlama gibi yeni özellikler kazandırılmaktadır. Malzemelere verilen bu özelliklerle birlikte yapının çevreyle uyumlu tasarımlar yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca nanoteknolojik yöntemle üretilen malzemelerin mukavemet özelliklerinin artması, depreme karşı dayanıklı yapıların yapılabilmesinde katkısı olmaktadır. Günümüzde nanoteknolojik yöntemle üretilen yapı malzemeleri şunlardır: ultra yüksek performanslı beton, faz değiştiren malzemeler, ısı yalıtım malzemeleri, kendi kendini temizleyen malzemeler, fotokatalitik malzemeler, ultraviyole ışınlar karşı koruyan malzemeler, yangına dayanıklı malzemeler ve karbon nano tüp malzemelerdir.

##### 3.2.1. Ultra yüksek performanslı beton (UHPC)

Ultra yüksek performanslı beton (UHPC), 300 MPa'ya kadar basınç dayanımına sahip betonları ifade etmektedir. Günümüzde UHPC'nin inşaat sektöründe yer almasıyla hem dayanıklı yapılar inşa edilmekte hem de farklı tasarımlara sahip yapılar yapılabilmektedir. Ayrıca bu malzemeyle yapıların depreme karşı dayanıklılığı artırılabilir. UHPC yüksek taşıma kapasitesine ve

yeterli sünekliğe sahip yapısal bir malzemedir [13]. Bununla birlikte UHPC'nin yüksek mukavemete sahip olması malzemenin yükünün azalmasını ve daha az malzeme kullanılmasını sağlamaktadır [14].

Ultra yüksek performanslı beton ile farklı tasarımlara sahip yapılar inşa edilmektedir. Bu malzeme dayanıklı, taşıma kapasitesi yüksek, hafif ve tekrar kullanılabilir olmasının yanı sıra çeşitli renklerde üretilebilmesi yapıların cephelerinde kullanılmasında katkısı olmaktadır. Ultra yüksek performanslı betonun cephelerde kullanılmasına Avrupa ve Akdeniz Uygarlıklar Müzesi (MuCEM) örnek olarak verilmektedir. Bu müze Fransa'nın Marsilya kentinde mimar Rudy Ricciotti tarafından tasarlanmıştır. Müzenin dış cephesinde betona dekoratif görünüm verilmiştir. Bu dekoratif beton cephe panelleri yapının güney ve batı bölümlerine yerleştirilmiştir. Bununla birlikte müzede kullanılan bu dekoratif beton cephe panelleri Akdeniz güneşinden korunmak amacıyla tasarlanmıştır. Ayrıca dekoratif beton cephe panelleri müzenin çatısına kadar devam ettirilmiş bu da çevredeki yürüyüş yolu boyunca ve çatı terasına gölge düşmesini sağlamıştır. Bu paneller, müzenin cephelerinde rüzgâra karşı dayanıklılığın artmasına katkısı olmuştur (Şekil 1) [15].



Şekil 1. Avrupa ve Akdeniz Uygarlıklar Müzesinde ultra yüksek performanslı betonun dekoratif cephe panelleri[15].

### 3.2.2. Faz değiştiren malzemeler

Faz değiştiren malzemeler, faz değişimini belirli sıcaklıkta tutmak için kullanılmaktadır. Malzemenin faz değişim sırasında çıkan enerjinin, yapının ısıtılmasında veya soğutulmasında kullanılarak iç mekân konforunda etkisi olmaktadır. Ayrıca faz değiştiren malzemeler kullanılarak, yapılarda ısı depolama kapasitesinin artması sağlanmaktadır. Bununla birlikte faz değiştiren malzemeler duvar panolarında, pencerelerde, yer karolarında ve havalandırma sistemlerinde kullanılmaktadır. Yapılarda kullanılan faz değişim malzemeleri organik, inorganik ve organik ile inorganik karışımlardan yapılmaktadır. Organik faz değiştiren malzemelerden olan parafinler yapılarda çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Parafinler, geniş bir sıcaklık aralığında, katı-sıvı geçişleri boyunca tekrarlanan döngülerden sonra faz ayrımı belirtisi göstermezler ve düşük buhar basıncına sahip özellikleri bulunmaktadır. Parafinler ısı izolasyonunda sağladığı avantajlar nedeniyle, yapılarda tercih edilmesinde etkili olmaktadır. Faz değiştiren malzemeler, yapılardaki uygulamalarında sıvı faza geçtiğinde malzemenin yüzeye sızmasını ve düşük viskoziteli sıvıların malzeme boyunca yayılması gibi problemlerin önlenmesi için kapsüllenme yapılmaktadır. Faz değiştiren malzemenin kapsüllenmeyle, ısı transferinin artırılmasının yanı sıra malzemenin hacmi etrafındaki yapıyı etkilemeden genişleyebilmektedir (Şekil 2 ve 3) [16].

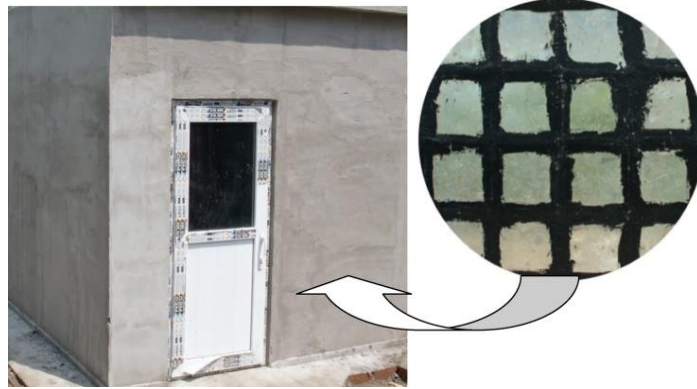


Şekil 2. Faz değıştiren malzemenin kapsüllü modeli [16].



Şekil 3. Sıvı ve toz halinde kapsüllü faz değıştiren malzeme [16].

Kong ve diğeri (2013) tarafından gerçekleştirilen bir araştırmada, faz değıştiren malzemelerin yaz aylarında yapıların performansına olan etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmayla faz değıştiren malzemelerin yapıların enerji tasarrufları elde etmeyi ve iç mekân ısı konforunu korumak için yaz aylarında bina ile bütünleşen sistemi geliştirmeyi amaçlamışlardır. Yapılan çalışma sonucuna göre, faz değıştiren malzemelerin sıcaklıkla dalgalanmayı azaltmaya yardımcı olduğu görülmüştür (Şekil 4) [17].



Şekil 4. Faz değıştiren malzemelerin yapıda enerji tasarrufuna etkisinin incelenmesi [17].

### 3.2.3. Isı yalıtım malzemeleri

Nanoteknolojiyle üretilen ısı yalıtım malzemelerini, vakumlu yalıtım panelleri ve aerogeller oluşturmaktadır. Vakumlu yalıtım panelleri, “yüksek performanslı termal yalıtım malzemesi olarak boşaltılmış folyo kapsüllü açık gözenekli malzeme” olarak açıklanmaktadır (Şekil 5). Bu yalıtım panelleri, yapılarda enerji tüketiminin azaltılmasında etkili olmaktadır [18]. Vakumlu yalıtım panellerinin ana bileşenleri iç çekirdek, bariyer zarfı, alıcılar ve kurutuculardan oluşmaktadır. Zarf, çevresel etmenlere karşı koruma sağlamak için kalın metal levhalardan veya metalize polimerik katmanların çok katmanlı bariyerden yapılmaktadır. Vakumlu yalıtım panellerinde, zarf bariyerinden geçecek gazları ve su buharlarını absorbe etmek için çekirdeğinin içine uygun bir alıcı veya bir kurutucu yerleştirilmektedir [19].



Şekil 5. Vakumlu yalıtım panelleri [18].

Almanya Münih’deki Seitzstrasse binasında, vakumlu yalıtım panelleri yapının cephesinde, çatı terası ve pencerelerde kullanılmıştır. Yapıda vakumlu yalıtım panellerinin kullanılmasıyla, geleneksel yalıtım türlerine göre 5 ile 10 kat daha iyi yalıtım sağlanmasının yanı sıra düşük enerjili binalara göre daha ince duvarlar yapılmaktadır. Bu binanın cephesinde vakumlu yalıtım panellerinin uygulanmasıyla, yapının yalıtım performansının artması ve enerji tasarrufu sağlanmaktadır (Şekil 6) [20].



Şekil 6. Seitzstrasse binasında vakumlu yalıtım panelleriyle yapının cephesinde kullanılması [20].

Aerojel ısı yalıtım malzemeleri 1931’de geliştirilmiştir. Bu malzeme; yalıtım kapasitesi yüksek, hafif, gözenekli yapıya sahiptir. Ayrıca aerojellerin gözenekli yapıya sahip olması hava moleküllerinin tutulmasını sağlamakta, bu da malzemeye ısı yalıtım özelliği vermektedir. Aerojel ısı yalıtım malzemeleri; cam paneller, U profilli cam veya akrilik cam duvarlı paneller arasında çeşitli boşluklarda yalıtım dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca aerojel ısı yalıtım malzemeleri yarı saydam ve ışık geçirgenliği iyi olduğundan dolayı yapıların dış cephesinde tercih edilmektedir. Bu yalıtım malzemeleri ısı izolasyonunu sağlamasıyla, yapılarda ısıtma ve soğutma maliyetlerinin azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Bununla birlikte aerojeller, ısı yalıtım özelliklerinin yanı sıra yapılarda ses yalıtımı olarak da kullanılmaktadır. Aerojellerin sağladığı ısı ve ses yalıtım özellikleriyle, yapıların enerji verimliliğine katkısı olmaktadır. Ayrıca bu malzemenin sağladığı diğer bir avantajda, yapıların cephe konstrüksiyonlarında estetik tasarımlarının yapılmasını mümkün kılmaktadır [21].

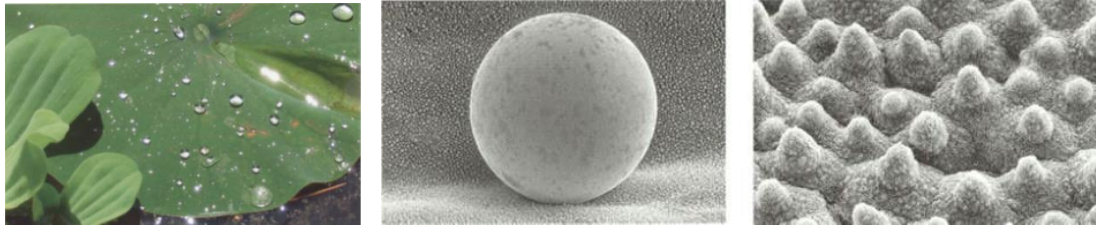
Aerojel ısı yalıtım malzemeleri İngiltere’nin Londra şehrinde okul eklentisi yapısında kullanılmıştır. Bu yapının mimari tasarımı Jacobs UK Ltd şirketi tarafından yapılmıştır. Yapının tasarımında gün ışığından iyi bir şekilde yararlanmak için toplantı salonunun, internet kafenin, sınıfların ve dans stüdyosu mekânlarının bulunduğu güney cephesi bölümünde yarı saydam 70 nm kalınlığında aerojel ısı yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Yapının tasarımında aerojel ısı yalıtım malzemelerinin kullanılmasıyla, okulun işletme maliyetlerinin azalmasında ve enerji tasarrufu sağlanmasında katkısı olmuştur (Şekil 7) [21].



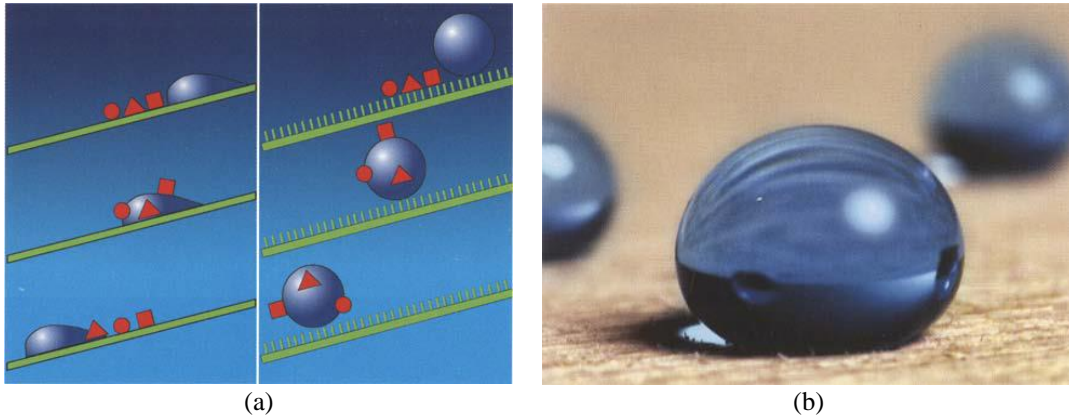
Şekil 7. Aerojel ısı yalıtım malzemesinin Londra'daki okul eklentisinin cephesinde kullanılması [22].

### 3.2.4. Kendi Kendini Temizleyen Malzemeler

Kendi kendini temizleyen malzemeler, 1970'li yıllarda Barthlott tarafından lotus yapraklarının kendi kendini temizleme etkisinin incelenmesiyle ortaya çıkarılmıştır. Bu tür malzemeler, mikroskobik olarak pürüzlü ve hidrofobik (su itici) bir yüzeye sahiptir. Bu yüzey, suyun uzaklaştırılması için temas yüzeyini azaltacak biçimde sivri uçlarla kaplıdır. Bu tür malzemelerin hidrofobik özelliği nedeniyle yüzeyler daha az ıslanmaktadır (Şekil 8 ve 9) [23].



Şekil 8. Su damlasının süper hidrofobik etkisinin mikroskobik görünüşü [22].



Şekil 9. a) Geleneksel yüzeylerin hidrofobik özelliği ile lotus etkisine sahip yüzeylerde hidrofobik özelliği b) Ahşabın yüzeyinin lotus bitkisinininkine benzer nanoyapılar oluşturularak, su ve ahşap arasındaki yüzeye yapışmasının azaltılması [22].

İtalya'nın Roma kentindeki Ara Pacis Müzesi cephesinde kendi kendini temizleyen malzemeler kullanılmıştır. Bu müzenin tasarımını Richard Meyer tarafından yapılmış ve yapı 2006 yılında açılmıştır. Bu müzenin tasarımı üç parçalı bir yapı kompleksinden oluşmuştur. Müzenin önündeki kentsel meydana; giriş galerisi, sergiler, konferans salonları ve restoranlar bulunmaktadır. Bununla birlikte bu müzenin yapımında, cepheler traverten bloklarıyla kaplanmıştır. Yapının cephelerindeki kendi kendini temizleyen kaplama özelliğiyle, şehrin oluşturduğu hava kirliliğinin etkisinin azalması sağlanarak cephelerin beyaz renklerinin belirginliğini uzun süre koruması mümkün hale gelmiştir (Şekil 10) [21].





Şekil 10. İtalya'nın Roma Kentindeki Ara Pacis Müzesinin dış ve iç cephesi [22].

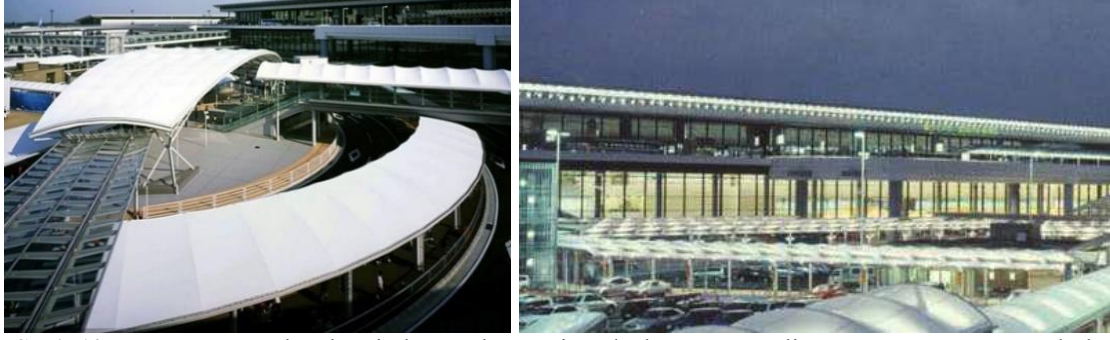
### 3.2.5. Fotokatalitik Malzemeler

Fotokatalitik yarı iletken malzemelerden oluşmaktadır. Ayrıca fotokatalitik inşaat endüstrisinde bina yapımında yaygın şekilde kullanılmaktadır. Titanyum dioksit ( $TiO_2$ ), çinko oksit ( $ZnO$ ), demir oksit ( $Fe_2O_3$ ), wolfram oksit ( $WO_3$ ) ve kadmiyum selenür ( $CdSe$ ) gibi çeşitli yarı iletken malzemeler fotokatalitik kapasiteye sahiptir. Ancak yapıların inşasında düşük toksitesi ve stabilitesi nedeniyle titanyum dioksit ( $TiO_2$ ) kullanımı tercih edilmektedir [24]. Fotokatalitik malzemeler yüzeylerdeki kir yapışma derecesini büyük ölçüde azaltmaktadır. Bu malzemelerin diğer bir avantajı, yüzeydeki kir azalması nedeniyle, yapının içerisine ışık iletiminin iyileştirilmesini sağlamakta ve bu da yapının aydınlatma için enerji maliyetlerinin azalmasına katkısı olmaktadır. Bu malzemeler yapıların cam veya seramikten yapılmış cephe sistemlerinde ve membranlarda uygulanmaktadır (Şekil 11) [21].



Şekil 11. Güneş ışığı fotokatalizi başlatmakta suyla birlikte yüzeydeki kirlerin temizlenmesini gösteren diyagram[22].

Japonya'nın Tokyo kentindeki Narita Uluslararası Havalimanı 2006 yılında kapsamlı tadilatından geçmiştir. Yapının çatısı, hava koşullarına karşı korunmasını sağlamak için membranla kaplanmıştır. Membranların, kendi kendini temizleyen özelliklere sahip olması nedeniyle, yapının temizlik ve bakım maliyetlerinin azalması sağlanmaktadır. Bu malzemelerin geleneksel yüzey kaplamalarına göre kir birikintisini engellemesi nedeniyle, yapılarda kullanılmasında etkili olmuştur (Şekil 12) [23].



Şekil 12. Japonya'nın Tokya kentinde yer alan Narita Uluslararası Havalimanının çatısının memranlarla kaplanması [22].

### 3.2.6. Ultraviyole Işınlara Karşı Koruyan Malzemeler

Ultraviyole ışınlarına karşı koruyan malzemeler, yapının cephesinde kullanılan kaplama malzemelerinin güneşin zararlı ışınlarına karşı korumak amacıyla, malzemenin kendisiyle temas etmeden önce filtreleyen ultraviyole emicilerin kullanımını içermektedir. Bu malzemelerin üstündeki katmanda koruyucu kaplamalar bulunmaktadır. Bu koruyucu kaplamalar, şeffaf yapılmasının yanı sıra alttaki malzemenin rengini ve yapısını korumaktadır. Bu malzemelerin diğer bir avantajı da güneşin zararlı ışınlarına karşı korumayı sağlarken enerjiye gereksinim duymamaktadır. Yapılardaki elektrokromatik cam, güneşin zararlı ışınlarına karşı korumak için elektrik akımına gerekli olurken, nanoteknolojik yöntemle üretilen ultraviyole ışınlarına karşı koruyan malzemelerde elektrik akımı gerekli olmamaktadır. Ayrıca ultraviyole ışınlarına karşı koruyan malzemelerde elektrik akımının gerekli olmaması, bu malzemelerin yapılarda kullanılmasıyla enerji tasarrufuna katkısı olmaktadır. Bununla birlikte nanoteknolojiyle üretilen camların yapılarda yer alması, binalarda enerjinin verimli kullanılmasını ve güneşin zararlı ışınlarına karşı korunmasını mümkün hale getirmektedir (Şekil 13) [21].



Şekil 13. a) Ultraviyole ışınlarına karşı koruyan malzemelerden olan çinko oksit parçacığının mikroskop görüntüsü b) Ultraviyole ışınlarına karşı koruyan kaplamaları içeren elektrokromatik cam [21].

### 3.2.7. Yangına Dayanıklı Malzemeler

Alman Degussa Firmasının ürettiği pirojenik silisik asit olan Aerosil malzemesi boya endüstrisi ve farklı alanlarda olmak üzere kullanılan yangına dayanıklı malzemelerden biridir. Pirojenik silisik nanoparçacıklar veya nano-silika 7 nm büyüklüğünde cam levha arasında dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bu malzemenin avantajları hafif ve ince yapısıyla birlikte optik görünüm sağlamanın yanı sıra uzun süreli yangına karşı dayanıklı olmaktadır. Bu malzemeyle inşa edilen yapılar, kullanıcıların ve itfaiyenin güvenliğini sağlamaktadır. Ayrıca bu malzeme, yangın sırasında koruyucu tabaka köpük şeklinde genişleyerek yangının yayılmasını önlemektedir. Bununla birlikte bu malzemenin sağladığı diğer avantaj, kullanıcılar

ve itfaiyeciler için yapıdan güvenli bir şekilde uzaklaşmasını mümkün kılmaktadır (Şekil 14) [23].



Şekil 14. a) Yangına dayanıklı kaplama malzemesi olan sandviç panel b) Jel dolgu malzemesinin cam boşluğunda kullanılması [22].

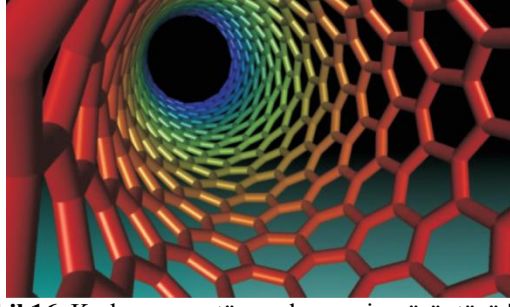
Almanya'nın Bonn kentinde 160 m yüksekliğinde ofis kulesi yangına karşı dayanıklı malzemeden inşa edilmiştir. Bu yapının oval dış cephesinde cam kaplama malzeme kullanılmıştır. Yapının cam kaplama malzemesi; iç mekânlarda, merdivenlerde ve bölme duvarlarda tasarım konsepti içinde uygulanmıştır. Yapının tasarımında kullanılan camlar yangına dayanıklı camlardan seçilmiştir. Bununla birlikte yapının tasarımında mekân, biçim ve malzemelerin uyumlu olmasına dikkat edilmiştir (Şekil 15) [21].



Şekil 15. Almanya'nın Bonn kentindeki Deutsche Post Hq binasının yangına dayanıklı cam malzemelerinin dış cephede ve iç mekânda kullanılması [22].

### 3.2.8. Karbon nano tüp malzemeler

Karbon nano tüp malzemeler mekanik, termal, elektriksel ve esnek molekülü özelliklere sahiptir. Bu malzemenin yapısı boru şeklinde haddelenmiş grafit levhalardan oluşmaktadır. Bununla birlikte bu malzemenin boyutları çapı 0,4 nm kadar nano tüpler içinde bulunabilmektedir. Karbon nano tüplerin grafit yapısının sarmal şekline bağlı olarak değişken elektrik iletkenlik özelliği bulunmaktadır. Bu nedenle karbon nano tüp malzemeler yalıtkan, yarı iletken veya iletken olabilmektedir. Karbon nano tüp malzemeler kompozit malzemelerin geliştirilmesine imkân sağlamaktadır. Karbon nano tüp malzemelerin içerisine takviye liflerin eklenmesiyle, mekanik özellikleri yüksek ve esnek modüllü kompozitler üretilmektedir. Bu malzemenin geniş yüzey alanlarına sahip olmasından dolayı elektrik enerjisi depolanması mümkün olmaktadır (Şekil 16) [25].



Şekil 16. Karbon nano tıp malzemenin görüntüsü [25].

Karbon nano tıp malzemeleri biçimsel açıdan yapının tasarımında kullanılmıştır. 1967 yılında Montreal Expo İçin Buckminster Fuller tarafından inşa edilen jeodezik kubbelerin tasarımında C60 karbon molekülünün biçimsel benzerliğinden türetilerek yapılmıştır (Şekil 17) [21]. Yapılarda kullanılan karbon nano tıp malzemeleri mukavemeti yüksek dayanıklı malzeme olmasının yanı sıra bu malzemelerin molekül görüntüsü yapıların tasarımında da yer verilmesine neden olmuştur.



Şekil 17. 1967'de Montreal Expo İçin Buckminster Fuller tarafından inşa edilen jeodezik kubbelerin tasarımında C60 karbon molekülünün biçimsel benzerliğinden türetilmesi [21].

### 3.3. Nanoteknolojik ve Çevre

Nanoteknolojiyi inşaat sektöründe kullanmanın enerji verimliliğine önemli katkısı olmaktadır. Ayrıca nanoteknoloji, küresel iklim değişikliğiyle mücadele edilmesinde ve atmosferde biriken sera gazının azaltılmasında yardımcı olacak teknolojik araç imkânı sunmaktadır. Bu nedenle nanoteknolojinin inşaat endüstrisinin CO<sub>2</sub> emisyonunun azaltılmasında ve enerji verimliliğini sağlamasında etkili olmaktadır. Yapıların tasarımında enerji verimliliği ve iklim değişikliğini yavaşlatmak için yenilikçi yöntemler önemli hale gelmektedir. Bu yenilikçi yöntemler olan nanoteknoloji malzemeler mimarlık, iç mimarlık ve ilgili diğer ilgili alanlarda kullanılmasıyla enerji verimliliğine katkısı olmaktadır [22]. Bununla birlikte nanoteknoloji üretilen vakumlu yalıtım panelleri ve arojel ısı yalıtım malzemeleri gibi yalıtım performansı yüksek malzemeler olması yapının ısıtması ve soğutması açısından harcanan enerji miktarının azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Nanoteknolojik malzemelerin yapılarda kullanarak enerji ihtiyacının azalmasıyla CO<sub>2</sub> emisyonu azalmakta bu da çevrenin ve doğanın korunmasında yarar sağlamaktadır.

## 4. SONUÇ

Teknolojide yaşanan ilerlemeler malzeme biliminin gelişmesini sağlamıştır. Malzemeler alanında önemli gelişmeler yaşanmasında etkisi olan nanoteknolojinin ortaya çıkmasıyla ve bu teknolojinin yapı malzemesi alanında kullanılmasıyla inşaat sektörüne katkısı olmuştur. Nanoteknolojiyle birlikte üretilen malzemenin standart malzemelere göre dayanıklılık, yalıtım,

termal ve optik gibi özelliklerinin yüksek olması inşaat sektöründe tercih edilmesini sağlamıştır. Bu çalışmada, nanoteknolojik yapı malzemelerinin inşaat sektöründe kullanımı ve bu malzemelerin sağladığı yararlar incelenmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar şunlardır:

Beton, cam, çelik ve plastik gibi geleneksel yapı malzemelerin içerisine nanomalzemelerin eklenmesiyle yapı malzemelerine yeni özellikler ve yetenekler kazandırılmıştır. Nanoteknolojik yöntemle; malzemelere hem mukavemeti yüksek ve dış etkilere karşı dayanıklı olma, hem de kendi kendini temizleme, güneş ışınlarının zararlı etkilerinden korunma ve yangına karşı dayanıklı olma gibi yeni özellikler verilmiştir. Bu malzemelerin özellikle yalıtım açısından yüksek olması, yapıların enerji ihtiyacının azalmasına katkısı olmuştur. Ayrıca nanoteknolojik malzemelerin enerji tasarrufu sağlamasındaki yararları; CO<sub>2</sub> emisyonunun azaltılmasında, çevrenin ve doğanın korunmasına yarar sağlamaktadır.

Nanoteknolojinin yapıların tasarımına önemli katkısı olmaktadır. Nanoteknoloji malzemelerin diğer malzemelere göre hafif ve dayanıklı olması bu malzemelerin farklı cephe düzenlerinin oluşturulmasını mümkün hale getirmektedir. Bununla birlikte bu malzemelerin yapılarda yer alması yeni sistemlerin geliştirilmesine ve yapıların tasarımında çeşitli formlarda üretilmesini sağlamaktadır.

## KAYNAKLAR

- [1] Akhnoukh, A. (2013). Overview of Nanotechnology Applications in Construction Industry in the United States. *Micro and Nanosystems Journal*, 5(2), 147-153.
- [2] Sanchez, F., & Sobolev, K. (2010). Nanotechnology in Concrete – a Review. *Construction and Building Materials*, 24(11), 2060- 2071.
- [3] Teizer, J., Venugopal, M., Teizer, W., & Felkl, J. (2011). Nanotechnology and its Impact on Construction: Bridging the Gap Between Researchers and Industry Professionals. *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(5), 594–604.
- [4] Hanus, M. J., & Harris, A. T. (2013). Nanotechnology Innovations for the Construction Industry. *Progress in Materials Science*, 58(7), 1056-1102.
- [5] Mukhopadhyay, A. K. (2011). Next-generation Nano-Based Concrete Construction Products: A Review. In: *Nanotechnology in Civil Infrastructure*, Berlin Heidelberg: Springer, 207-223.
- [6] Zhang, M. H., & Li, H. (2011). Pore structure and chloride permeability of concrete containing nano particles for pavement. *Construction and Building Materials*, 25(2), 608-616.
- [7] Shekari, A. H., & Razzaghi, M. S. (2011). Influence of nano particles on durability and mechanical properties of high performance concrete. *Procedia Engineering*, 14, 3036-3041.
- [8] Jo, B. W., Kim, C. H., & Lim, J. H. (2007). Investigations on the development of powder concrete with nano-SiO<sub>2</sub> particles. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 11(1), 37-42.
- [9] Wang, T., Xu, J., Meng, B., & Peng, G. (2020). Experimental study on the effect of carbon nanofiber content on the durability of concrete. *Construction and Building Materials*, 250, 118891.
- [10] Cwirzen, A., Habermehl-Cwirzen, K., & Penttala, V. (2008). Surface decoration of carbon nanotubes and mechanical properties of cement/carbon nanotube composites. *Advances in cement research*, 20(2), 65-73.

- [11] Gdoutos, E. E., Konsta-Gdoutos, M. S., & Danoglidis, P. A. (2016). Portland cement mortar nanocomposites at low carbon nanotube and carbon nanofiber content: A fracture mechanics experimental study. *Cement and Concrete Composites*, 70, 110-118.
- [12] Vigneshkumar, C. (2014). Study on Nanomaterials and Application of Nanotechnology and its Impacts in Construction. *Discovery*, 23(75), 8-12.
- [13] Tue, N., Küchler, M., Schenck, G., & Jürgen, R. (2004). Application of UHPC Filled Tubes in Buildings and Bridges, 807-817, Erişim Linki: <http://www.uni-kassel.de/upress/online/frei/978-3-89958-086-0.volltext.frei.pdf>. Erişim Tarihi: 07.07.2021.
- [14] Tang, M. C. (2004). High Performance Concrete – Past, Present and Future, 3-9, Erişim Linki: <http://www.uni-kassel.de/upress/online/frei/978-3-89958-086-0.volltext.frei.pdf>. Erişim Tarihi: 07.07.2021.
- [15] Ductal, Erişim Linki: <https://www.ductal.com/en/mucem>. Erişim Tarihi: 13.07.2021.
- [16] Kalnaes, S. E., & Jelle, B. P. (2015). Phase Change Materials and Products for Building Applications: A State-of-The-Art Review And Future Research Opportunities. *Energy and Buildings*, 94, 150-176.
- [17] Kong, X., Lu, S., Huang, J., Cai, Z., & Wei, S. (2013). Experimental Research on The Use of Phase Change Materials in Perforated Brick Rooms for Cooling Storage. *Energy and Buildings*, 62, 597–604.
- [18] Baetens, R., Jelle, B. P., Thue, J. V., Tenpierik, M. J., Grynning, S., Uvsløkk, S., & Gustavsen, A. (2010). Vacuum Insulation Panels for Building Applications: A review and Beyond. *Energy and Buildings*, 42(2), 147-172.
- [19] Alam, M., Singh, H., & Limbachiya, M. C. (2011). Vacuum Insulation Panels (VIPs) for Building Construction Industry—A review of The Contemporary Developments and Future Directions. *Applied Energy*, 88(11), 3592-3602.
- [20] Pool M. (17–18 September, 2009). Insulation of a Mixed Use Building with 7 storeys in Munich with VIP. In: *Proceedings of the 9th international vacuum insulation symposium (IVIS 2009)*, London, UK.
- [21] El-Samny, M.F. (2008). *Nanoarchitecture*. University Of Alexandria, Egypt.
- [22] Leydecker, S. (2008). *Nano Materials in Architecture, Interior Architecture and Design*. Germany: Birkhauser.
- [23] Atwa, M., Al-Kattan, A., & Elwan, A. (2015). Towards Nano Architecture: Nanomaterial in Architecture-A Review of Functions and Applications. *International Journal of Recent Scientific Research*, 6(4), 3551-3564.
- [24] 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.
- [25] McIntyre, R. A. (2012). Common Nano-Materials and Their Use in Real World Applications. *Science progress*, 95(1), 1-22.