

**T.C.  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MİMARLIK ANABİLİM DALI**



**NANOTEKNOLOJİK YAPI MALZEMELERİNİN TÜRK YAPI  
SEKTÖRÜNDE KULLANIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SEZGİ TURUNÇ**

**BALIKESİR, HAZİRAN - 2019**

**T.C.  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MİMARLIK ANABİLİM DALI**



**NANOTEKNOLOJİK YAPI MALZEMELERİNİN TÜRK YAPI  
SEKTÖRÜNDE KULLANIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SEZGİ TURUNÇ**

**Jüri Üyeleri : Dr. Öğr. Üyesi Yeliz TÜLÜBAŞ GÖKUÇ (Tez Danışmanı)**

**Doç. Dr. İlkey KOMAN**

**Dr. Öğr. Üyesi Nur ATAKUL**

**BALIKESİR, HAZİRAN - 2019**

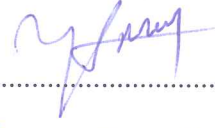
## KABUL VE ONAY SAYFASI

Sezgi TURUNÇ tarafından hazırlanan “NANOTEKNOLOJİK YAPI MALZEMELERİNİN TÜRK YAPI SEKTÖRÜNDE KULLANIMI” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 21.06.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

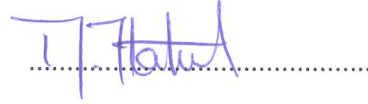
Danışman  
Dr. Öğr. Üyesi Yeliz TULÜBAŞ GÖKUÇ



Üye  
Doç. Dr. İlkay KOMAN



Üye  
Dr. Öğr. Üyesi Nur ATAKUL



Yedek Üye  
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Selim ÖKTEN

.....

Yedek Üye  
Dr. Öğr. Üyesi Hatice UÇAR

.....

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Necati ÖZDEMİR

.....

## ÖZET

**NANOTEKNOLOJİK YAPI MALZEMELERİNİN TÜRK YAPI  
SEKTÖRÜNDE KULLANIMI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
SEZGİ TURUNÇ  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MİMARLIK ANABİLİM DALI  
(TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ YELİZ TULUBAŞ GÖKÜÇ)  
BALIKESİR, HAZİRAN - 2019**

Mimarlık ve yapı sektörü, insanoğlunun varoluşundan itibaren hayatının vazgeçilmez bir parçası olmuştur. Yapı sektörü, her geçen gün artan nüfus, kullanıcı talepleri, gelişen ve değişen hayat standartları ışığında farklılaşmakta ve gelişmektedir. Günümüz teknolojisi olan nanoteknoloji, tüm sektörlerde olduğu gibi yapı sektöründe de yerini almış ve mimari anlamda nanomimarlık kavramı ile karşımıza çıkmaktadır. Nanoteknoloji; maddeleri nano boyutta inceleyen, varolan malzemenin istenen yönde gelişimini sağlayan ya da tamamen yeni bir malzeme üretimini gerçekleştiren teknolojidir. Nanoteknoloji kapsamında yapı sektöründe üretilen nanoteknolojik yapı malzemeleri günümüzde yapı sektöründe kullanılmakta ve büyük avantajlar sağlamaktadır. Enerji kaynaklarının tükenme tehdidi ve doğal döngünün gün geçtikçe bozulması, insanlarda farkındalık uyandırmış ve çevre dostu yeşil mimariye yöneltmiştir. Bu noktada nanomimarlık ve nanoteknolojik yapı malzemesi kavramı; gerek teknolojik açıdan gerekse çevre dostu tasarımları ile doğaya saygılı bir tutum sergilemektedir.

Nanoteknoloji, yapıda tasarım aşamasından, binanın ömrü dolduğunda yıkım aşamasına kadar geçen süreçte avantajlar sağlamaktadır. Çalışma kapsamında serbest faaliyet gösteren mimarlık firmalarına yönelik nanoteknolojik yapı malzemeleri ile ilgili bir anket düzenlenmiştir. Anketten elde edilen sonuçlara bakıldığında, nanoteknolojik yapı malzemeleri hakkında mimarların yeterli bilgiye sahip olmadıkları, nanoteknolojik yapı malzemelerinin yapılarda henüz yaygın şekilde kullanılmadığı, maliyetlerinin fazla olduğu, danışman ve teknik desteklerin yetersizliği ve gerekli yatırımların yapılmıyor olması gibi, nanomalzemelerin kullanımını olumsuz yönde etkileyen faktörler tespit edilmiştir. Bunun yanısıra; bu malzemelerin faydaları düşünüldüğünde, ileride nanoteknolojinin yapı sektöründe gereken yerini alacağı görüşüne ulaşılmıştır. Yapı sektöründe nanoteknolojik yapı malzemesi kullanımı ile enerji tüketimi ve maliyetler azalarak, doğa dostu sürdürülebilir yapı tasarımı kolaylaşacaktır. Yapı sektöründe nanoteknolojik malzeme kullanımının sağlayacağı faydalar ile gelişen ve değişen dünya standartlarına uyum sağlayarak gerekli olan çevresel korunum sağlanmış olacaktır.

**ANAHTAR KELİMELER:** Nanoteknoloji, nanomimarlık, nano yapı malzemeleri

## **ABSTRACT**

### **USAGE OF NANOTECHNOLOGICAL BUILDING MATERIALS IN TURKISH BUILDING SECTOR**

**MSC THESIS**

**SEZGI TURUNÇ**

**BALIKESIR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE**

**ARCHITECTURE**

**(SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. YELİZ TULUBAS GOKUC )**

**BALIKESİR, JUNE 2019**

The architecture and building sector has been an indispensable part of human life. The construction sector is evolving and developing in the light of the increasing population, user demands, developing and changing living standards. As a today's technology, nanotechnology has also taken its place in the construction sector, and it comes up with the concept of nanoarchitecture in the architectural sense. Nanotechnology; examines the materials in nano dimension, provides the development of the existing material in the desired direction or produces a completely new material. Within the scope of nanotechnology, the nanotechnological building materials produced in the construction sector are now used in the sector and provide great advantages. The threat of extinction of energy resources and the deterioration of the natural cycle day by day led to the awareness of people to environmentally friendly green architecture. At this point, the concept of nano architecture and nanotechnological building materials; has an attitude respecting to nature with its technological and environmentally friendly designs.

Nanotechnology provides several advantages for buildings from its design process to demolition process. Within the scope of the study, a survey was conducted on nanotechnological building materials to architectural firms which have independent activities. According to the results obtained from the survey, the factors that negatively affect the adaptation of these materials have been determined. The main factors are, the fact that architects do not have enough knowledge about nanotechnological materials, they are not widely used in constructions yet, high costs, the insufficiency of technical support and consultant and the lack of required investments. Besides; considering the benefits of these materials, it has been reached out that nanotechnology will take its place in the construction sector in the future. With the use of nanotechnological building materials in the construction sector, energy consumption and costs will be reduced and environmentally friendly sustainable building design will be facilitated. The necessary environmental protection will be ensured by adapting to the developing and changing world standards with the benefits of the use of nanotechnological materials in the construction sector.

**KEYWORDS:** Nanotechnology, nano architecture, nano building materials

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
TABLO LİSTESİ .....	vi
KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ÖNSÖZ.....	viii
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Çalışmanın Kapsamı ve Amacı .....	4
1.2 Çalışmanın Organizasyonu.....	4
<b>2. NANOTEKNOLOJİ .....</b>	<b>6</b>
2.1 Nanomalzemeler ve Kullanım Alanları.....	11
2.2 Yapı Sektöründe Nanoteknoloji ve Nanomimarlık .....	14
2.2.1 Nanomimarlık .....	16
2.2.2 Yapıda Nanomalzemeler .....	20
2.2.2.1 Yapısal Nanomalzemeler .....	22
2.2.2.2 Yapısal Olmayan Nanomalzemeler.....	26
2.2.2.3 Yalıtım – Koruma .....	29
2.3 Nanoteknolojik Yapı Malzemeleri ve Sürdürülebilirlik.....	55
<b>3. NANOTEKNOLOJİK YAPI MALZEMELERİNİN TÜRK YAPI</b>	
<b>SEKTÖRÜNDE KULLANIMI .....</b>	<b>62</b>
3.1 Araştırma Yöntemi .....	69
3.1.1 Anket Formunun Organizasyonu .....	70
3.1.2 Örneklem.....	70
3.2 Araştırma Bulguları ve Tartışma .....	70
<b>4. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>78</b>
<b>5. KAYNAKLAR.....</b>	<b>81</b>
<b>6. EKLER.....</b>	<b>92</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

<b>Şekil 2.1:</b> Nanoteknoloji ile gerçekleştirilen değer zinciri (Bozoğlu Demirdöven ve Karaçar 2015). ....	17
<b>Şekil 2.2:</b> Nanomalzemelerin mimaride kullanımı (Leydectet, 2008) .....	18
<b>Şekil 2.3:</b> Kendi kendini temizleyen çimento ile üretilmiş cephe kaplaması örneği (url-4). ....	24
<b>Şekil 2.4:</b> Su geçirmez ahşap yüzey (url-6). ....	25
<b>Şekil 2.5:</b> Gün ışığının etkisi ile kendi kendini temizleyen cephe (url-7). ....	27
<b>Şekil 2.6:</b> Nanoteknoloji sayesinde camda güneş ışığının yansımaları (url-8). ....	27
<b>Şekil 2.7:</b> Nanomalzeme kaplı yüzey ve nanomalzeme kaplı olmayan yüzey arasındaki fark (url-9). ....	28
<b>Şekil 2.8:</b> Nano boyutta yapılan kaplama ile geleneksel kaplama arasındaki fark (url-10). ....	30
<b>Şekil 2.9:</b> Lotus etkili ve normal yüzeydeki su damlasının etkisi – su damlasının lotus etkili kaplama ile kaplanmış bina cephesindeki temizleme etkisi (url-11). ....	32
<b>Şekil 2.10:</b> Lotus bitkisi yaprağının mikroskopik görüntüsü (url-13). ....	32
<b>Şekil 2.11:</b> Lotus bitkisi (url-14). ....	33
<b>Şekil 2.12:</b> Lotus bitkisinin kendi kendini temizleme özelliğinin çalışma prensibi. .	34
<b>Şekil 2.13:</b> Ara Pacis Müzesi (url-15). ....	35
<b>Şekil 2.14:</b> Luminart Binası ve Strucksberg Konutları (Orhon, 2014). ....	36
<b>Şekil 2.15:</b> Geleneksel cam ve yağmur suyu ile kendini temizlemiş nanocam (url-16). ....	36
<b>Şekil 2.16:</b> Cam elyaf tavraklı fibro T beton (kendi kendini temizleyen beton) ile üretilmiş yapı (url-4). ....	37
<b>Şekil 2.17:</b> Fotokataliz ile kendi kendini temizleme ve fotosentez olayının şematik gösterimi (url-45). ....	38
<b>Şekil 2.18:</b> Fotokataliz ile kendi kendini temizleme ve fotosentez olayının şematik gösterimi (url-45). ....	39
<b>Şekil 2.19:</b> Nano kaplamasız yüzey ile nano kaplamalı yüzeyde su damlasını (url-9). ....	40
<b>Şekil 2.20:</b> Jubilee Kilisesi (url-19). ....	42
<b>Şekil 2.21:</b> Fotokatalitik TiO <sub>2</sub> cam kaplama uygulaması öncesi ve sonrasında cephe görünümü (url-9). ....	43
<b>Şekil 2.22:</b> Duisburg, Almanya'daki MSV Arena Futbol Stadyumu (url-20). ....	44
<b>Şekil 2.23:</b> X-Terior cephe kaplama malzemesinin kullanıldığı örnekler (url-2). ....	44
<b>Şekil 2.24:</b> Omar Ivan Huerta Cardoso tarafından tasarlanan Işık Ağaç (url-23). ....	47
<b>Şekil 2.25:</b> NanoLED kullanılan deniz feneri kulesi (url-24). ....	47
<b>Şekil 2.26:</b> Smart Wrap cephe sisteminin kullanıldığı Pavilion Binası (url-25). ....	48
<b>Şekil 2.27:</b> Vakumlu izolasyon paneli iç ve dış görüntüsü (Kumlutaş ve Yılmaz, 2008). ....	49
<b>Şekil 2.28:</b> Nano Aerojel (url-26). ....	50
<b>Şekil 2.29:</b> Nanofotovoltaik güneş pili (url-27). ....	52
<b>Şekil 2.30:</b> Geko kertenkelelerinin ayaklarının nano boyutta görüntüsü (Sakarya Üniversitesi Ders Notları). ....	54
<b>Şekil 2.31:</b> Bertram ve Judith Kohl Binası (url-18). ....	60

<b>Şekil 2.32:</b> Nano arojel kullanımı (url-21).....	60
<b>Şekil 2.33:</b> Yale Üniversitesi nano arojel kaplamalı pencere kullanımı (Cengiz, 2016).....	61
<b>Şekil 2.34:</b> Nano duvar kullanımı (url-18). .....	61
<b>Şekil 3.1:</b> Firmaların kurumsal yaşlara göre dağılımı. ....	71
<b>Şekil 3.2:</b> Firmaların faaliyet gösterdikleri illere göre dağılımı. ....	71
<b>Şekil 3.3:</b> Anket katılımcılarının sektörde çalışma yıllarına göre dağılımı. ....	71
<b>Şekil 3.4:</b> Katılımcıların nanoteknoloji konusundaki bilgi düzeyleri. ....	72
<b>Şekil 3.5:</b> Sektörde kullanılan nanoteknolojik malzemeler. ....	73
<b>Şekil 3.6:</b> Nanoteknolojik malzemelerin yaygın kullanımını etkileyen faktörler.....	74
<b>Şekil 3.7:</b> Nanoteknoloji yatırımı. ....	75
<b>Şekil 3.8:</b> Firmalarda nanoteknoloji konusunda çalışan uzman/araştırma grubu. ....	75
<b>Şekil 3.9:</b> Nanoteknoloji ile ilgili sektörde yapılan çalışmaların yeterliliği. ....	76
<b>Şekil 3.10:</b> Nanoteknolojinin uluslararası pazardaki önemi. ....	76
<b>Şekil 3.11:</b> Katilimcilerin nanoteknolojinin sürdürülebilirlikle olan ilişkisine dair görüşleri.....	77



## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 2.1:</b> Yapılarda kullanılan nanomalzemelerden örnekler (Bozoğlu Demirdöven ve Arditi, 2012). .....	21
<b>Tablo 2.2:</b> Nanoteknolojinin inşaat sektöründe uygulama alanları (Candemir vd., 2012).....	55



## KISALTMALAR LİSTESİ

<b>TiO<sub>2</sub></b>	:	Titanyum Dioksit
<b>SiO<sub>2</sub></b>	:	Silikon Dioksit (Silisyum Dioksit)
<b>nm</b>	:	Nanometre
<b>ZnO</b>	:	Çinko Oksit
<b>Ag</b>	:	Gümüş
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	:	Alüminyum Oksit
<b>ZrO<sub>2</sub></b>	:	Zirkonyum Oksit
<b>NO<sub>3</sub></b>	:	Volfram Oksit
<b>W</b>	:	Tungsten
<b>WO<sub>3</sub></b>	:	Tungsten Oksit
<b>KNT</b>	:	Karbon Nanotüp
<b>TDKN</b>	:	Tek Duvarlı Karbon Nanotüp
<b>ÇDKN</b>	:	Çok Duvarlı Karbon Nanotüp
<b>TPa</b>	:	Tetra Pascal
<b>CO<sub>2</sub></b>	:	Karbondioksit
<b>NMI</b>	:	Nano Üretim Enstitüsü
<b>NanoPV</b>	:	Nano Fotovoltaik Güneş Pili
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	:	Demir III Oksit
<b>µm</b>	:	Mikrometre
<b>LEED</b>	:	Enerji ve Çevre Dostu Tasarımda Liderlik
<b>USGBC</b>	:	Amerikan Yeşil Binalar Konseyi
<b>AB</b>	:	Avrupa Birliği
<b>AR-GE</b>	:	Araştırma ve Geliştirme

## ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde ve yüksek lisans eğitim hayatım boyunca benden desteğini ve kıymetli bilgilerini esirgemeyen, her zaman ve her koşulda bana vakit ayırarak büyük bir fedakarlık gösteren, elinden gelenin fazlasını yapan başta değerli tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Yeliz TÛLÛBAŞ GÖKUÇ'a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca sevgi ve inançları ile yanımda olan, gösterdikleri sabırla akademik çalışmama destek olan ve bana güvenen aileme, bu süreçte yanımda olan tüm dostlarıma teşekkür ederim.

Balıkesir, 2019

Sezgi TURUNÇ

# 1. GİRİŞ

Yapı sektörü, hayatımızın en önemli parçalarından biridir. İlk insanlardan itibaren barınma ihtiyacı ile başlamış ve günümüzde farklı amaçla kullanılan yapıların tasarımları gerçekleşmektedir. Artan kullanıcı talepleri, gelişen hayat şartları sonucunda binalardan beklentiler artmıştır. Bu beklentilerin karşılanması için gerek kullanılan malzeme, gerekse yapım teknikleri gelişmekte ve değişmektedir. Artan teknolojik gelişmeler tüm alanlarda avantajlar sağladığı gibi, yapı sektöründe de kendini göstermektedir.

Çağımızın teknolojisi olan nanoteknoloji kavramı, her geçen gün hayatımıza bir adım daha girmekte ve kendini tüm alanlarda göstermektedir. Nano kelimesi bir büyüklüğün milyarda birine karşılık gelmektedir. Atomların büyüklüğünün yaklaşık olarak 0.1 nanometre büyüklüğünde, bir DNA molekülünün 2.5 nanometre büyüklüğünde, bir saç telinin ise yaklaşık olarak 100.000 nanometre kalınlığında olduğu bilinmektedir (Perker, 2010). Genel tanımı ile nanoteknoloji nano boyutta çalışma yapmaktadır. Maddeler nano boyutta, makro boyutlarına nazaran farklı özellikler göstermekte, bu sayede maddelerin nano boyutta üretimi ve var olan özelliklerinin iyileştirilmesi gerçekleştirilmektedir.

Günümüz teknolojisi olan nanoteknoloji, maddelere nano boyutta gerçekleşen çalışmaları ile farklı bir anlam kazandırmaktadır. Nanoteknoloji çalışmaları günümüzde önem kazanmaya başlamış çok yeni bir teknolojidir ve malzeme bilimi, matematik, fizik, kimya, biyoloji, eczacılık ve tıp, bilgisayar, elektronik bilimleri gibi birçok farklı alanı bir araya toplamaktadır. Yani nanoteknoloji farklı teknolojik yaklaşımların aksine sınırları net belli olan bir yaklaşım sergilememektedir.

Dünya geneline bakıldığında, birçok ülkede nanoteknoloji üzerine gerekli çalışmalar hız kazanmış durumdadır. Gereken sermaye desteği ile çalışmalar sürmektedir. Özellikle üniversitelerde kurulan nanoteknoloji araştırma merkezleri ile bağlantılı olarak, nanoteknoloji hakkında yeterli bilgiye sahip kalifiye eleman yetiştirme üzerine çalışmalar devam etmektedir.

Nanoteknoloji sayesinde daha hafif, daha sağlam, daha uzun ömürlü, fonksiyonel ve taşınması kolay madde üretimi gerçekleştirilebilir. Nanoteknoloji üretim aşamasında; minimum maliyet, minimum enerji tüketimi, minimum çevre kirliliği gibi sağladığı avantajlar ile gelecekte yaşamımızın her alanında önemli bir yer kaplayacağına sinyallerini bizlere vermektedir (Kaplan, Karafil ve Kitiş, 2007).

Nanoteknolojinin geçmişi 1950'lere dayanmakla birlikte henüz o tarihte nano boyutta çalışma yapmaya olanak sağlayan mikroskopların olmamasından dolayı ileri tarihlerde çalışmalar başlamıştır. Kavram olarak nanoteknoloji ilk kez 1959 yılında Richard Feynman'ın "Aşağıda Daha Çok Şey Var" adlı konferansına dayanmaktadır. 1991 yılında nanotüplerin keşfi ile nanoteknolojik çalışmalar hız kazanmıştır.

Nanoteknolojinin amacı daha az maliyet ile istenen özellikli madde üretimini gerçekleştirmektir. Nano boyutta malzeme üretimi ile daha dayanıklı, daha sağlam, daha uzun ömürlü malzemeler üretilmektedir. Yapı sektöründe nanoteknoloji ile üretilmiş malzeme kullanımı henüz çok yaygın olmamakla birlikte, sağladığı avantajlar oldukça fazladır. Nanoteknoloji hakkında yeterli bilgi sahibi olunmaması ve maliyetlerin yüksek olması, nanoteknolojik yapı malzemelerinin yapı sektöründe kullanımının önüne geçmektedir.

Nanoteknoloji ile madde üretiminde; nano boyutta, titanyum dioksit nanopartikülleri, silikon dioksit nanopartikülleri, gümüş nanopartikülleri vb. gibi nanopartiküllerin maddeye eklenmesi ile istenen özellikte malzeme üretimi sağlanır. Yapı sektöründe üretilen kendi kendini temizleyen cam, kirlenmeyi geciktiren kaplamalar, kendi kendini temizleyen boya vb. üretimler maddeye nano boyutta nanopartikül eklenmesi ile gerçekleştirilmektedir.

Nanoteknoloji ile hayatımıza girmiş olan nanomimarlık kavramı, malzemelerdeki değişim ile tasarım aşamasından, yapım aşamasına kadar yapıdaki anlayışı değiştirmiştir. Mimarlık kavramının pratiği ve anlayışı köklü bir değişim yaşamaktadır (Harman, 2011). Nanomimarlık, mimarlığın 21. Yüzyılda gerçekleşen nano devrimine dönüşümü olarak nitelendirilmekte ve El-Samny'e (2008) göre, nanoteknolojinin mimarlığa etkisi iki şekilde gerçekleşmektedir. Bunlar;

1.Ele alma biçimi

2.Nanoteknolojiyi binalarda uygulamak.

Nanoteknoloji ile binalarda tasarımda istenen formlara ulaşmak daha kolaydır. Nanomalzeme kullanımı ile yapılarda konfor artmış ve enerji tasarrufu sağlanmıştır. Nanoteknoloji ile yapılarda taşıyıcı sistemden başlayarak binada kullanılan diğer tüm alanlarda malzeme üretimi yapılmaktadır. Nanoteknolojik yapı malzemeleri; kendi kendini temizleyen nano-cam, nano-boya, nano-kaplama, iç hava kalitesini arttıran, enerji tasarrufu sağlayan, daha dayanıklı ve daha uzun ömürlü taşıyıcı nanomalzeme üretimi, tüm bunları denetleyen ve analizlerini çıkaran nanosensör üretimi ile yapı sektöründe önemli bir yer tutar.

Nanoteknolojinin sağladığı enerji tasarrufu ile çevre dostu yapı tasarımı gerçekleşmektedir. Nanoteknolojik yapı malzemesinin yapılarda kullanımı ile enerji ve doğal kaynak kullanımı minimum düzeye inerek, doğal çevreye en az tahribatla yapıyı çevre kurulacaktır. Dolayısıyla, nanoteknolojinin kullanımı giderek önem kazanan sürdürülebilir yapılaşmaya büyük ölçüde katkı sağlayacaktır. Fakat nanoteknoloji hakkında yeterli teknik bilgiye sahip olunmaması, nanoteknolojik yapı malzemelerinin maliyetlerinin şu an fazla olması, yüklenici firmaların nanoteknolojinin katma değerini günümüzde pek önemseme sebebiyle kullanımı ve üretimi oldukça sınırlıdır.

Yapı sektörünün bir ülke için önemi herkes tarafından bilinip, kabul edilmektedir. Ülkelerin gelişmişlik düzeyleri yapı sektörüne bakılarak tahmin edilebilmektedir. Nanoteknolojik gelişmeler ile yapı sektöründe önemli avantajlar sağlanacak ve ülkenin gelişmesi olumlu yönde etkilenecektir. Nanoteknolojik yapı malzemelerinin üretimi hız kazandığında, maliyetler düşecek ve büyük enerji tasarrufları sağlanacak, yapı konforları artacak, kullanıcı beklentilerine cevap verilmiş olacaktır.

Çalışma kapsamında nanoteknolojik yapı malzemeleri ve Türk yapı sektöründe kullanımı araştırılmış ve kullanımını etkileyen faktörler belirlenmiştir. Nanoteknolojik yapı malzemelerinin Türk yapı sektöründe kullanımını etkileyen faktörler ve önündeki engellerin tespiti amaçlı, serbest faaliyet gösteren mimarlık

firmaları ile anket çalışması yapılmıştır ve bulgular neticesinde anket sonuçları değerlendirilmiştir.

### **1.1 Çalışmanın Kapsamı ve Amacı**

Bu tez çalışması kapsamında, nanoteknolojik yapı malzemelerinin Türk yapı sektöründe kullanımını etkileyen faktörler incelenmiştir. Bu çerçevede tez çalışmasının amaçları;

- Yapı sektöründe faaliyet gösteren mimarlık firmalarının nanoteknoloji, nanomimarlık ve nanoteknolojik yapı malzemeleri hakkında bilgi düzeylerini belirlemek,
- Yapı sektöründe nanoteknolojik yapı malzemelerinin yaygın kullanılmama nedenleri belirlemek,
- Yapı sektöründe faaliyet gösteren mimarlık firmalarının nanoteknoloji hakkında yeterli teknik bilgiye sahip personel barındırma oranını belirlemek,
- Nanoteknolojinin gelişmesinin önündeki engelleri tespit etmektir.

### **1.2 Çalışmanın Organizasyonu**

Tez çalışmasında, nanomimarlık ve nanoteknolojik yapı malzemelerinin Türk yapı sektöründe kullanımı ve yaygın kullanımının önündeki engellerin incelenmesi hedeflenmiştir. Çalışma toplam beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, bu çalışmanın genel kapsamı ve amacı yer almaktadır. İkinci bölümde; nanoteknoloji kavramının genel tanımı, tarihsel gelişim süreci, uygulama alanları ve nanoteknoloji ile üretilmiş nanomalzemeler sunulmuştur. Bunun yanında; nanoteknolojinin yapı sektörüne etkileri sonucu ortaya çıkan nanomimarlık kavramı, yapı sektöründe kullanılan nanoteknolojik yapı malzemeleri ve nanoteknolojik yapı malzemeleri ile sürdürülebilirlik arasındaki ilişki hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde; nanoteknolojik yapı malzemelerinin Türk yapı sektöründe kullanımı ve kullanımını etkileyen faktörler belirlenmiştir. Ayrıca, çalışmada kullanılan araştırma yöntemi, araştırma bulguları ve tartışma kısmı da üçüncü bölümde yer almaktadır. Dördüncü

bölümde ise, çalışmaya ait anket sonuçları doğrultusunda elde edilen veriler ışığında genel sonuçlar özetlenmiştir.





## 2. NANOTEKNOLOJİ

Nanoteknoloji, Yunanca'dan dilimize geçmiş bir kelimedir. Köken olarak nano kelimesi cüce anlamına gelmekte ve bir büyüklüğün milyarda birine karşılık gelmektedir. Nanoteknoloji maddelerin 1-100 nano boyut aralığı ile ilgilenmektedir. Maddeler bu nano aralıkta normal özelliklerinden farklı özellik gösterirler ve bu da nanoteknolojinin bu yeni özellikleri fiziksel, kimyasal ve biyolojik yönden incelemesine ve çeşitli araştırmalar yapmasına olanak sağlar.

Nanoteknoloji en genel tanımı ile nano boyuttaki maddenin fiziksel, kimyasal ve her türlü özelliğini inceleyen ve bu özellikler doğrultusunda yeni maddelerin tasarımı, üretimi ve uygulanması alanında bize olanak sağlayan 20. yüzyıl teknolojisidir.

Nanoteknoloji, maddenin atom ve moleküler seviyede kontrolü ve üretimi anlamına gelmektedir. Bu sayede maddelere atomik düzeyde müdahale ile istenen özellikler eklenmiş ya da çıkarılmıştır. Maddelerin makro ölçekteki özellikleri ile nano ölçekteki özellikleri birbirinden farklılık göstermektedir. Nanoteknoloji sayesinde verimi yüksek, istenen özelliklere sahip, üstün performanslı malzeme ve sistemler geliştirilmektedir.

Nanoteknoloji günümüz teknolojisidir. İnsanlık, tarihi boyunca üç farklı devrime ev sahipliği yapmıştır. Bunun ilki, insanoğlunun yerleşik düzene geçmesi, ikincisi sanayi devrimi ve sonuncusu da nanoteknoloji devrimidir. Dünya çapında nanoteknoloji önemini korumaktadır. Dünyada nanoteknoloji için gerekli yatırımlar yapılmış, bütçeler ayrılmıştır. Başta Almanya, ABD, Japonya, Çin olmak üzere pek çok ülke son on yılda nanoteknoloji için bütçe ayırımını arttırmıştır.

Nanoteknoloji, farklı disiplinlerden oluşan bir teknolojik alandır. Bu yeni teknoloji, Malzeme Bilimi, Matematik, Fizik, Kimya, Biyoloji, Eczacılık ve Tıp, Bilgisayar, Elektronik bilimleri gibi birçok akademik çevreden insanı bir araya toplamaktadır. Nanoteknoloji de diğer teknolojik yaklaşımların aksine disiplinler arası ayrılıklar keskin şekilde belirgin değildir (Arnall, 2003).

Mimarlık kapsamında nanoteknoloji ile tasarım, üretim ve montaj gibi tüm aşamalarda büyük bir esneklik, kolaylık ve gelişmişlik sağlanmaktadır.

Daha hafif, sağlam, uzun ömürlü, fonksiyonel ve taşınması kolay materyaller üreten nanoteknoloji; bu üretimleri yaparken minimum maliyet ve minimum çevre kirliliği gibi faktörlere de önem verdiği için gelecekte yaşamımızın her anında önemli bir yer alacağını bizlere göstermektedir (Kaplan vd., 2007).

Nanoteknoloji kavramı son yıllarda önem kazanıp üzerinde yoğun çalışma yapılmasına rağmen tarihsel geçmişi 1950'lere dayanmaktadır. Nanometre ölçü birimini kullanan bu yeni teknolojinin ileriye yönelik teknolojik kazanımlar sağlayacağı öngörülmüştür. Mevcut teknolojiler, maddelerin bilinen fiziksel özelliklerine çalışmakla birlikte, nano boyutlara inildiğinde kuantum etkisi diye adlandırılan ve malzemenin büyüklüğü ile değişen yeni özellikler ortaya çıkmaktadır (Güvenç, 2008).

Nanoteknoloji kavramı ilk olarak 1959 yılında Richard Feynman'ın "Aşağıda Daha Çok Şey Var" adlı konferansına dayanmaktadır. Feynman aslında nano boyutta yapılabilecek çalışmalardan bu konferansta bahsetmiş ancak o tarihte kullanılan elektron mikroskobu nano boyutta çalışmaya yeterli gelmemiştir. Bu yüzden nano boyuttaki çalışmalar 1981 yılında Taramalı Tüneli Mikroskop'un bulunması ile başlamıştır. Dört yıl sonra bunu Atomik Kuvvet Mikroskop'unun bulunması izlemiştir ve çalışmalar hız kazanmaya başlamıştır.

Nanoteknoloji terimi ilk kez 1974 yılında Tokyo Bilim Üniversitesi'nde Norio Toniguchi tarafından bir makalede kullanılmıştır. Bu makalede Toniguchi, nanoteknolojiyi; "genel olarak malzemelerin atom – atom ya da molekül – molekül boyutunda işlenmesi, ayrılması, birleştirilmesi ve bozulması" olarak tanımlamaktadır (Perker, 2010).

Nanoteknoloji konusunda birçok çalışmaya imza atan bir diğer isim de Eric Drexler'dir. Drexler ilk kez 1980'lerde kullandığı nanoteknoloji terimi ile molekül boyutunda bir takım makinelerin, motorların, robot ve hatta bilgisayarların üretilme olanaklarından bahsetmiştir ve sonraki 10 yılını nano boyutta cihazların üretilmesi üzerine çalışarak geçirmiştir (Perker, 2010). Drexler'in "Yaratma Motorları: Nanoteknolojinin Yaklaşan Devri" ve "Nanosistemler: Molekül

Mekanizmalar, Üretim ve Hesaplama’’ isimli 1986’da yayınladığı iki kitabında nano boyutta üretimden bahsedilmiştir. Ayrıca Drexler’in ‘‘Yaratma Motorları: Nanoteknolojinin Yaklaşan Devri’’ adlı kitabı nanoteknoloji konusunda yazılan ilk kitap olma özelliği taşımaktadır (Perker, 2010).

Bunu 1981 yılında Taramalı Tünelli Mikroskop’un bulunması izlemiştir. 1986 yılında ise, Atomik Güç Mikroskop’u bulunmuş ve çalışmalar hız kazanmıştır. Sonrasında 1991 yılında nanotüplerin keşfi gerçekleşmiştir. Bunu 1999 senesinde Amerika Birleşik Devletleri’nde kurulan Ulusal Nanoteknoloji Adımı izlemiştir. Böylece nanoteknoloji üzerine resmi ülke içi çalışmalar başlamıştır. 2001 yılında Avrupa Birliği programına nanoteknoloji dahil edilmiştir ve bunun devamında çeşitli ülkeler çalışmalara başlamış ve gündemlerine nanoteknolojiyi dahil etmişlerdir.

Nanoteknolojinin genel amacı; maddeleri ve atomları nano boyutta inceleyerek, onlara istenen fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerin aktarılmasını sağlayıp, istenen özelliklerde yeni ürünler tasarlayıp, üretip, uygulanmasını sağlamaktır.

Nanoteknoloji çalışmaları ile maddenin nano boyuttaki ve makro boyuttaki özellikleri arasında bir bağ kurulup, her türlü alanda tasarlanan ve istenen özelliklerde üretimi sağlamak hedeflenmektedir.

Genel olarak nanoteknolojinin amaçları;

- Nanometre ölçekli yapıların analizi,
- Nanometre boyutunda yapıların fiziksel özelliklerinin anlaşılması,
- Alışıldandan farklı ve üstün malzeme özellikleri/üretim süreçlerinin elde edilmesi,
- Daha dayanıklı, daha hafif, daha hızlı yapılar elde edilmesi,
- Daha az malzeme ve enerji kullanımı,
- Nanometre ölçekli yapıların imalatı,
- Nano hassasiyetli cihazların geliştirilmesi,
- Nano ölçekli cihazların geliştirilmesi,

-Uygun yöntemler bulunarak nanoskopik ve makroskopik dünya arasındaki bağı kurulmasıdır (Bozkaya, 2006).

Mimarlık alanında da nanoteknoloji sayesinde yeni nano yapı malzemeleri ile yapıda hafiflik, dayanıklılık, üretimde hızlilik vb. gibi birçok özellik eklenmektedir. Daha az malzeme ve enerji kullanımı ile üretim hedeflenmektedir.

Nanoteknoloji temelde maddelerin yapı taşlarında değişiklikler yapılarak istenen yeni özellikte her türlü nanomalzemenin üretimidir. Birçok alanda çeşitli nanoteknoloji çalışmaları vardır. Nanoteknolojinin özellikle tıp alanında hücre tamiri, kanser tedavisi ve her türlü yaralanmalara karşı daha hızlı iyileşme gibi faydaları vardır. Bunun yanında, biyoloji, malzeme bilimi ve mühendislik, mimarlık, ulaşım, elektronik, bilgisayar, iletişim, kimya, fizik, tekstil, enerji-çevre, savunma-güvenlik, vb. alanlarda nano boyutta teknolojik gelişmeler ile olumlu sonuçlar elde edilmektedir.

Nanoteknoloji ile;

-Daha az maliyetle, daha fazla üretim sağlanır,

-Enerji kaynaklarından elde edilen tasarruf ile enerji maliyetleri düşürülür,

-Üretim süreçleri kısaltılarak zaman ve maliyet kaybını önleyerek, rekabet gücü artırılır,

-Teknolojik yarışta avantaj sağlar,

-Nanoteknoloji yaşam kalitesinin yükselmesini sağlar,

-Ürün kalitesini yükseltir,

-Nanoteknolojik üretimle, insanların yaşam standartlarını ve kalitesini yükselterek, daha sağlıklı ve daha güvenli bir yaşam sunulur,

-Ulusal gelir düzeyinin yükselmesinde önemli rol oynar,

-Nanoteknoloji ile yenilikçi, devrimci ve atılımcı üretim gerçekleştirilir (url-1).

Günümüzde ekolojik sistem bozulmakta ve doğal kaynaklar tükenmektedir. Nanoteknoloji ile enerji tasarrufu amaçlanmakta ve kaynakların kullanımı en aza indirgenmektedir. Çağımızın en önemli sorunlarından biri de enerjidir. Özellikle ortaya çıkan çevre sorunları bağlamında enerji ve teknoloji ilişkisi büyük önem kazanmaktadır (Ökmen, 1996). Nanoteknoloji alanındaki buluşlar; daha etkin, ucuz ve çevre dostu teknolojilerin girişimiyle günümüzdeki enerji tedarigine yönelik alternatif tekniklerin ötesine geçme imkânı tanımaktadır (Tırıs, 2008). Nanoteknoloji; enerji tüketiminin azaltılması, enerji üretim veriminin artırılması, çevre dostu enerji sistemleri ve pillerin geri dönüşümü gibi enerji kaynakları ve çevreyle ilgili alanlarda yeni uygulamaları beraberinde getirmektedir (Küçükyıldırım, 2011). Potansiyel nanoteknoloji uygulamaları sonucu geliştirilmiş tüketim ürünleri ve süreçleri insan sağlığı, çevre ve yaşam kalitesine önemli katkılarda bulunmayı vaat etmektedir (Nielsen, 2008).

Nanoteknoloji ile mevcut uygulamalarla günümüzde 800'ün üzerinde nano ürün pazarlanmakta ve her geçen gün bir yenisi eklenmektedir. Başlıca uygulamaları; güneş kremleri, kompozitler, bentonit kili, tekstil, yüzey kaplamalarıdır (Kayır ve Baççıl, 2010). Uygulama potansiyeli olup hala çalışmaları sürmekte olan ürünlerin de başlıcaları; boyalar, yakıt hücreleri, ekranlar, bataryalar, yağlayıcılar ve manyetik malzemelerdir (Kayır ve Baççıl, 2010).

Nanometre ölçeklerinde malzemelerin sahip oldukları üstün fiziksel özellikleri kullanarak çeşitli alanlarda (bilişim ve iletişim, elektronik, biyoteknoloji, farmakoloji, tıp, savunma, tekstil, makine ve inşaat sanayileri vb.) teknolojik devrim niteliğinde yeni ürünler elde edilebilmektedir ve bu ürünlerden ciddi gelirler sağlanmaktadır (Özdoğan, Demir ve Seventekin, 2006).

Uygulama alanlarında nanoteknolojinin kapsamı şu iki konu ile ilişkilendirilir (Güneşoğlu, 2006):

-Pozisyonel (moleküler) Kontrol: Ürün ve yan ürünlerin, moleküler düzeyde kontrolü esasına dayanır. Endüstriyel ya da doğal tüm ürünlerin özellikleri, atomların nasıl düzenlendiklerine bağlıdır. Günümüzün makroskobik üretim yöntemleri ise moleküler düzeyde çalışmaya oldukça yetersiz kalmaktadırlar. Moleküler nanoteknoloji, moleküler kimya ve fizik ile mekaniksel tasarım, yapısal analiz, bilgisayar bilimi, elektrik mühendisliği ve sistem mühendisliğinin mühendislik

temellerini birleştiren, yeni gelişen disiplinler arası bir sahadır. Moleküler üretim, istenen ürünlerin elde edilmesi için atomların düzen ve dizimini amaçlayan bir metottur.

-Kolay Tekrarlanabilirlik: Nanoteknolojinin kritik bir diğer özelliği ürünlerin teminini ucuzlatması olmaktadır. Düşük maliyetli üretimin gerçekleşmesi için nanoteknoloji uygulamasının kolay tasarlanması ve kolay tekrarlanması gerekmektedir. Atomik özellikli ürünler, mukavemet, sertlik, hız ve verimlilikte yüksek oranlar gösterirler, yüksek kaliteli ve düşük maliyetlidirler.

Nanoteknolojinin insan hayatını kolaylaştırdığı herkes tarafından kabul edilmiştir. Fakat bunun yanında etkileri henüz ortaya çıkmamış olumsuz özellikleri de vardır. Her gün nanoteknolojik malzemelerin üretimi hızlanmakta ve piyasaya sürülmektedir. Gerek bu ürünlerin üretim aşamasında gerekse kullanırken insan vücuduna olumsuz etkileri henüz büyük çaplı sonuçlarını göstermemiştir. Çok küçük yapıda olan nano tanecikler insan vücuduna nüfus ederek zarar vermektedir. İnsan vücuduna deriden nüfus ederek akciğerlere ve sindirim sistemine ulaşmaktadır. Nanoteknoloji ile üretilen ürünlerin yaydığı zararlı partiküllerden, insanlar ve hayvanların iç organları zarar görmektedir. İlerleyen yıllarda nanoteknolojinin etkilerinin sonuçları daha net anlaşılacak ve gözle görülmeye başlanacaktır.

## **2.1 Nanomalzemeler ve Kullanım Alanları**

Nanomalzemeler doğada serbest halde bulunduğu gibi insan üretimi olan çeşitleri de mevcuttur ve sayıları oldukça fazladır. Günümüzde nanoteknolojinin adını duymanın yanında nanoteknoloji ile üretilmiş ürünleri görmekte ve kullanılmaktadır. Malzeme bilimindeki boyutta küçülme üretim aşamasında ve tasarımda bize kolaylık ve esneklik sağlarken maliyet anlamında fazla gelmektedir. Pek çok farklı alanda nanoteknoloji ile malzeme üretimi için çeşitli deneyler ve projeler yürütülmektedir. Dünyada ve Türkiye’de nano ürünler ile ilgili AR-GE çalışmaları yapılmaktadır.

Nanomalzemeleri geleneksel malzemelerden ayıran en önemli özellik, tanecik yapılarındaki ebatlarıdır.

Nanomalzemelerden doğada çevresel etkilerle doğal olarak kendiliğinden oluşan nano ölçekli parçacıklar; mineral kaynaklı demiroksit, silikat ve karbon grubudur. Ayrıca laboratuvar ortamında üretilen metal oksitler, karbon nanotüpler gibi malzemeler vardır.

Yapılan çalışmalar sonucunda, kusursuz özelliğe sahip olmalarının yanında istenen kullanıma cevap verebilmek adına değiştirilebilen atom dizilimleri ile hem endüstriyel hem de bilimsel açıdan günümüzün en önemli teknolojik parçaları haline gelmişlerdir (Kökdemir Ünşar, 2013).

### **Titanyum Dioksit Nanopartiküller (TiO<sub>2</sub>)**

Titanyum oksit, yeryüzünde doğal olarak bulunan, işlenmiş ve rafine edilmiş mineraldir. Toz halde, beyaz renkli, parlak bir görünüme sahiptir ve nanoteknolojide en çok kullanılan maddelerin başında gelir. TiO<sub>2</sub> nanopartiküllerinin, düşük maliyetli oluşu, kolay kullanılabilmesi, toksik özellik göstermemesi gibi özellikleri sayesinde tercih edilen bir maddedir.

TiO<sub>2</sub> nanopartikülleri ile kendi kendini temizleyen, kir tutmayan ve parlak yüzeyli malzemelerin elde edilmesi sağlanmaktadır. Yapı sektöründe; yansıtıcı özellikli betonlar, kir tutmayan ve kendi kendini temizleyen boya ve pencere camı üretiminde kullanılır.

### **Silikon Dioksit Nanopartiküller (SiO<sub>2</sub>)**

Silisyum elementi doğada en bol bulunan 2. elementtir ve toz halde bulunur. Silisyum dioksit düşük termal genleşme katsayısına sahiptir ve yüksek erime sıcaklığı nedeniyle ısıya karşı dayanıklı bir malzemedir.

Yapı sektöründe; SiO<sub>2</sub> nanopartikülleri beton, çimento, seramik ve pencere camının yapılmasında önemli rol oynamaktadır. Cam, beton ve çimentonun en temel maddesidir. Beton ve çimentonun mekanik dayanımının artırılması, yangına dayanıklı ve alev geçirmeyen yapı malzemelerinin üretilmesi, yansıma özellikli pencere camlarının yapılması SiO<sub>2</sub> nanopartiküllerinin takviyesi ile sağlanmaktadır.

### **Çinko Oksit Nanopartikülleri (ZnO)**

Çinko oksit doğada nadir bulunan beyaz pudra görünümlü bir maddedir. ZnO nanopartikülleri betonun işlem süresini ve suya karşı direncini arttırmakta ayrıca seramik ve cam sanayisinde direncin artmasını sağlamaktadır.

ZnO nanopartikülleri yapı sektöründe; plastik, seramik, cam, çimento, kauçuk, boya, yapıştırıcı, sızdırmazlık malzemeleri, pigmentler ve yangın geciktiricilerde kullanılmaktadır.

### **Gümüş Nanopartiküller (Ag)**

Gümüş elementi beyaz, parlak ve metalik bir elementtir. Gümüşün en önemli özelliği, antibakteriyel olmasıdır. Bu sayede yapı sektöründe antibakteriyel yüzeylerin elde edilmesi gümüş nanopartiküllerinin ilavesi ile sağlanır. Gümüş iyonları nanoteknoloji ile birleştiğinde, yüksek yüzey alanı/hacim oranını sağlamaktadır.

### **Alüminyum Oksit Nanopartikülleri (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)**

Alüminyum oksit nanopartikülleri metal nanopartiküllerin grubundandır, beyaz renkli toz şeklinde bulunur.

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanopartikülleri metal ürünlerde parlatma ve cam malzemelerde kullanılmaktadır. Alüminyum oksit nanopartikülleri yüksek mukavemet ve yüksek sertlik gösterir, bu sayede yapı sektöründe seramiğin sertleştirilmesi için kullanılır. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanopartikülleri ayrıca yüksek çekme ve mukavemete sahip beton üretiminde kullanılmaktadır.

### **Zirkonyum Oksit Nanopartikülleri (ZrO<sub>2</sub>)**

Zirkonyum oksit nanopartikülleri beyaz renkli ve yüksek saflıkta toz haldedir. ZrO<sub>2</sub> nanopartikülleri saydamlık gibi ürün estetiği, sertlik, esneklik, dayanıklılık gibi üstün fiziksel özelliklere, üstün kimyasal özelliklere ve güçlü yalıtkanlık özelliğine sahiptir. (Discovery, Volume 23, Number75 September 1, 2014).

### **Volfram Oksit Nanopartiküller (WO<sub>3</sub>)**

Volfram oksit nanopartikülleri sarı renkli toz halde bulunur ve kristal yapıdadır. Diğer adı ile Tungsten (W) nanopartiküller, radyasyon kalkanları, ısıtıcı



elemanlar, denge ağırlıkları gibi birçok parçada ana bileşen olarak kullanılmaktadır.

WO<sub>3</sub> nanopartikülleri; züccaciye renklendirici ve analiz reaktifinde, metal tungsten malzemesi, gaz sensörünün, yangına dayanıklı kumaşların, geniş alanlı ekranların, katalizörlerin, seramik pigmentinin, nem sensörlerinin, kızılötesi anahtarlama cihazlarının, yüksek yoğunluklu hafıza cihazlarının, sıcaklık sensörlerinin, X-ray ekranların ve yanmaz tekstil malzemelerinin üretiminde kullanılır.

### **Karbon Nanotüpler**

Karbon nanotüp (KNT), nanoteknoloji için bir diğer yapıtaşdır. Karbon nanotüpler iyi derecede mekanik ve elektronik özelliklere sahip ve en sağlam malzemedir. Karbon nanotüpler, diğer tüm nanopartiküller arasında en büyük öneme sahip olduğu söylenebilir, en temel anlamı ile nanometre çaplı, µm boylu borusal yapılar olarak tanımlanabilir (Dresselhaus, Dresselhaus ve Jorio, 2004; Charlier, Blase ve Roche, 2007).

Karbon nanotüpler üstün özellikleri sayesinde pek çok alanda kullanılmaktadır. Türkiye’de ve Dünyada karbon nanotüplere gereken önem verilmekte ve önemli araştırmalar yapılmaktadır. İnşaat sektöründe de karbon nanotüplerin önemi büyük ve kullanım alanları geniştir. Karbon nanotüplerin takvitesi ile inşaat sektöründe beklenen olumlu özellikler; mekanik dayanıklılık ve betonda çatlak önleme, mekanik ve ısı özelliklerinde gelişmiş seramik üretimi ve gerçek zamanlı yapısal sağlık izleme kapasitesidir (Mann, 2006).

## **2.2 Yapı Sektöründe Nanoteknoloji ve Nanomimarlık**

Nanoteknoloji kavramı, içinde yaşadığımız yüzyılın teknolojisi olmuş ve tüm alanlarda nanoteknolojinin faydaları kullanılmaya başlanmıştır. Nanoteknoloji üzerine çalışmalar gerek Türkiye gerekse Dünya’da önemini korumakta ve gerekli maddi yatırımlar sağlanmaktadır. Çünkü daha öncede bahsettiğimiz gibi maddelerin nano ölçekteki özellikleri makro ölçektekinden farklılık göstermekte nano boyutta yapılan çalışmalar ile istenen özellikli madde üretimi sağlanmaktadır. Nanoteknoloji

uygulamalarının sunduğu imkanlar yapı sektöründe de gerek tasarım aşamasında gerekse üretim aşamasında kullanılmakta ve çalışmalar devam etmektedir.

Sanayi Devrimi ile birlikte 19. ve 20. yüzyıllarda kentlerdeki geniş nüfus artış sebebi, kullanıcı ihtiyaçlarının da göz önüne alınması ile bina inşaat yapım ve yıkım teknikleri, büyük ölçüde gelişmiştir (Atik ve Bilgin, 2018). Geleneksel ve doğal yapım yöntemleri yerini betonlaşmaya bırakmıştır. Bu da doğal dengenin bozulmasına ve enerji kaynaklarının bilinçsizce kullanımı ve tükenme tehlikesini doğurmuştur. Ne yazık ki bunun farkına 20 yüzyılın ikinci yarısında varılmıştır.

Nanoteknoloji ile, yapı sektöründe çevre ile uyumlu, artan ekolojik problemlere karşı çözüm üretebilen binalar yapılması hedeflenmektedir. Nanoteknolojik yapı malzemelerinin üretimi ile yüksek performanslı binaların elde edilmesi amaçlanmaktadır. Nanoteknoloji yapı sektörü için yeni bir çağ açmaktadır.

Yapı sektöründe, nanoteknolojinin kullanılması 1990'lı yıllara dayanmaktadır. 1990'ların başında İngiltere'de yapılan Delphi araştırması, benzer şekilde İngiltere ve İsveç'te inşaat sektörü ile ilgili yapılan öngörü çalışmaları, nanoteknolojinin sektör için önemine vurgu yapmıştır (Zhu vd., 2004). Nanoteknolojinin yapı sektörüne öneminin büyük olmasına rağmen kullanılan malzeme ve ürün pahalılığı sebebiyle istenen düzeyde değildir. Ancak binalarda enerji verimliliğinin artırılması ve CO<sub>2</sub> salınımı sıfıra düşmüş binalar tasarlanması, bunun yanında kendi enerjisini üretebilen çevre dostu akıllı binaların tasarımı, gelecek için önem arz etmekte buda nanoteknolojinin önemini bir kez daha vurgulamaktadır (Candemir, Beyhan ve Karaata, 2012).

Nanoteknoloji ile;

-İnşaat malzemelerinin dayanımını ve gücünü arttırmak,

-İnşaat sektöründen kaynaklı çevre kirliliğini azaltmak,

-Taşıyıcı malzemenin maliyetini azaltmak,

-Yüksek performanslı ve ısı yalıtımlı malzeme üretimini sağlamak,

-Kendi kendini temizleyen, kirliliği ve enerji tüketimini en aza indirgeyen ayrıca renk değiştirme yeteneği olan malzeme, ince filmleri üretmek,

- Nano boyutlu sensör ve malzeme üretimini sağlamak,
- Doğal dengeye uyumlu çevre dostu yapı üretimini sağlamak,
- Daha güvenilir ve kendi kendini onarma kabiliyeti olan bina üretimi hedeflenmektedir (Sev ve Ezel, 2014).

### 2.2.1 Nanomimarlık

Mimarlık kavramı hayatımız en temel parçalarından biridir. Tüm çevresel etmenlerle etkileşim halinde ve tüm canlıları etkileyen bir unsurdur. Çünkü en basiti, herkes en temel ihtiyaçlardan biri olan barınma ihtiyacını karşılamak için mimariyle etkileşime girmektedir. Günümüzde gerçekleşen teknolojik ve bilimsel gelişmeler mimariyi yakından etkilemektedir. Yapılan bilimsel çalışmalar yapım teknikleri, malzeme bilimi, üretim yöntemleri, tasarım ilkelerini değiştirmekte ve mimari anlayışımız bundan etkilenmektedir. Günümüz teknolojisi olan nanoteknoloji kavramı da mimarlığı yakından ilgilendirmekte ve nanomimarlık kavramını ortaya çıkarmaktadır.

Nanoteknoloji temelde mimari tasarımı şekillendirir. Tasarımı şekillendiren malzemelerdeki değişim mimari anlayışı da değiştirmiştir. Moleküler olarak üretilen nanomalzemelerle üretilmiş bir yapıda, yapının içindeki fonksiyonlar kadar tasarlanma ve yapım aşamaları da değişikliğe uğrar. Böylece mimarlık pratiği ve anlayışı kökten bir değişim yaşamaktadır (Harman, 2011).

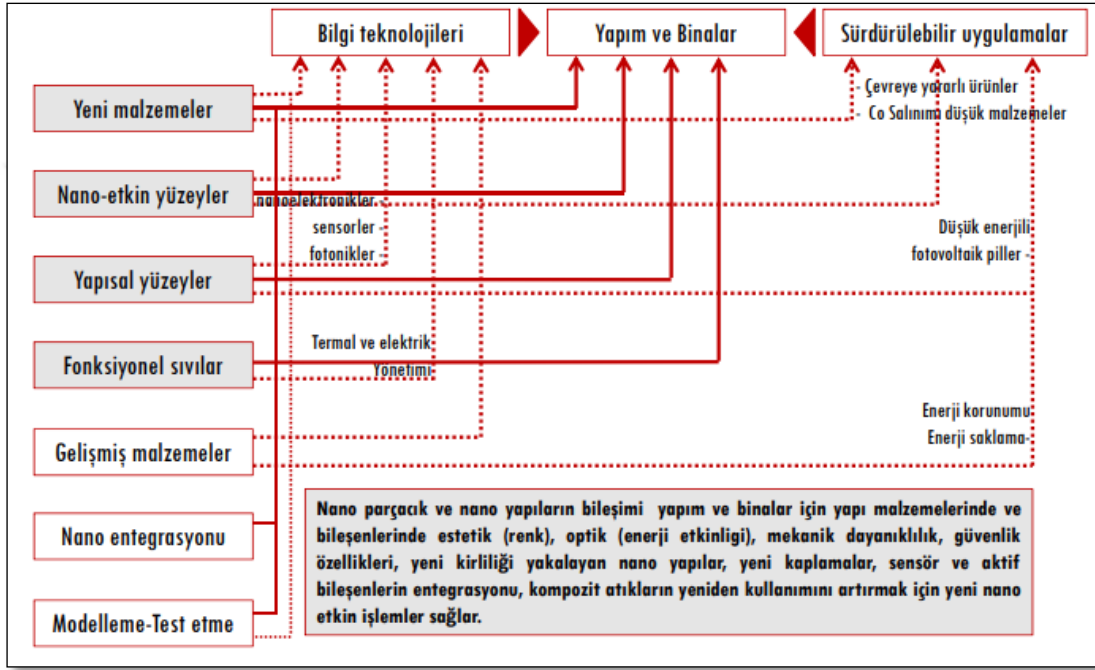
Nanomimarlık, mimarlığın 21. Yüzyılda gerçekleşen nano devrimine dönüşümü olarak nitelendirilebilir (El-Samny, 2008). El-Samny'e göre nanoteknolojinin mimarlığa etkisi iki şekilde olmaktadır. Bunlar;

- 1.Ele alma biçimi
- 2.Nanoteknolojiyi binalarda uygulamak

El alma biçimini değiştirmekten kasıt, mimaride yeni formlar oluşturmaktır. Nanoteknolojiyi binalarda uygulamak ise nanoteknoloji ile üretilen malzemelerin binalarda kullanılması ve gelişen teknoloji ile üretilen cihazların bina tasarım ve yapım aşamasında görev almasıdır.

Mimari yapıyı nanoteknoloji bağlamında yeniden ele alma çerçevesinde konuya bakıldığında, dayanıklılık, hafiflik, yapım sistemi, kabuğun sürekliliği, geçirgenlik, değişen, gelişen formlar gibi bina karakteristiklerinde nanoteknolojinin yapma çevreyi yeniden biçimlendireceği açıktır (Johansen, 2002).

Nanoteknoloji ile yapı sektöründe malzeme çeşitliliği, dayanıklılığı, güvenliği, çevre dostu gibi birçok olumlu özelliği barındıran malzeme üretimi gerçekleştirilir.

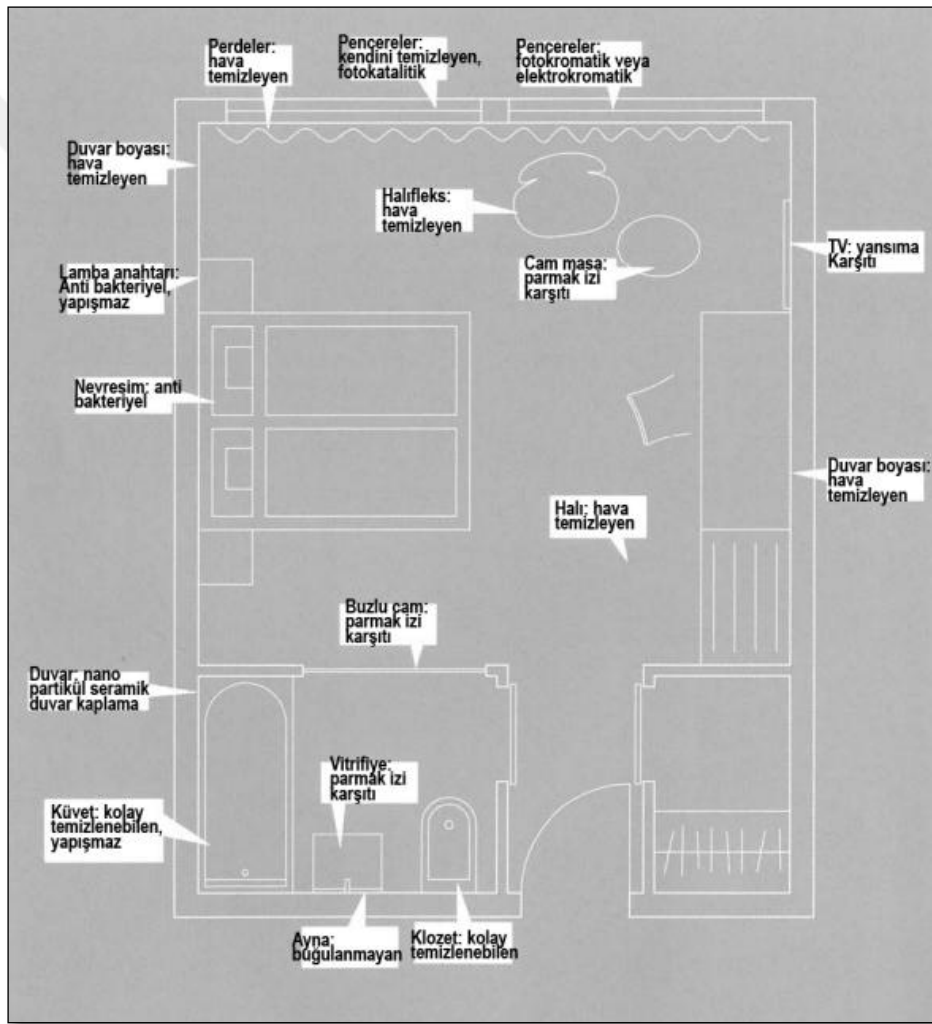


Şekil 2.1: Nanoteknoloji ile gerçekleştirilen değer zinciri (Bozoğlu Demirdöven ve Karaçar 2015).

Günümüzde en temel problemlerden biri doğal kaynakların tükenmekte olmasıdır. Mimariden beklenti ise, doğa ile uyumlu, kendi enerjisini üretebilen, yenilenebilir malzemeler ile yapılmış, ekolojik ve sürdürülebilir yapıların tasarlanması ve uygulanmasıdır. Bu nedenle, mimari tasarımda sürdürülebilirliğin uyarlanması, tasarımın ve tasarlanan çevrenin geleceği için en önemli sorun haline gelmiştir (Naschie, 2006).

Nanoteknoloji her geçen gün gelişen ve değişen çalışmaları ile, mimariyi malzeme anlamında çok etkilemektedir. Nanomalzemeler, mimarlık alanında oldukça yaygın bir kullanım alanı geliştirmiştir.

Nanoteknolojinin malzeme bilimindeki çalışmaları sonucu artan malzeme çeşidi mimariyi doğrudan etkilemektedir. Nanomimarlık ile mimaride yeni form arayışları cevaplanabilmekte üretilen yeni malzemelerin binalarda kullanımı ile beklentiler karşılanmaktadır. Nanomalzemeler ile mimarlık yeni bir biçim kazanmış ve binalar yaşayan birer canlıya dönüşmüştür. Binalara kendi kendini temizleme, kendi kendini onarma, hava kalitesini artırma vb. gibi özellikler yüklenmiş, büyük bir değişim gerçekleşmiştir. Nanoteknolojinin mimariye etkisinin, malzeme bilimlerindeki gelişmelere bağlı olarak artacağı beklenmektedir (Atik ve Bilgin, 2018).



Şekil 2.2: Nanomalzemelerin mimaride kullanımı (Leydecker, 2008)

AB tarafından hazırlanan yapı sektörünün Avrupa'daki 2030 vizyon çalışmasında, yapı ve yapı malzemeleri sektörünün geleceğini belirleyecek iki unsur vardır (ECTP, 2005). Bunlar;

-Sürdürülebilir yapılanma

-Müşterilerin ihtiyaç ve beklentilerine uygun binaların üretilmesidir.

Nanomimarlık ile kişilerin binalardan beklentileri karşılanmaktadır. Nanoteknoloji yapı sektöründe beton, çelik, ahşap gibi yapısal malzeme üretiminde, cam, plastik, seramik gibi taşıyıcı olmayan malzeme üretiminde bunun yanında yalıtım malzemelerinin, kaplama ve boya malzemelerinin, yapıştırıcı malzemelerin ve aydınlatma malzemelerin üretiminde kullanılır. Nanomimarlık ile binalarda enerji verimliliği sağlanmakta değişen iklim koşullarına kolaylıkla uyum sağlanmaktadır.

Nanoteknolojinin yapı sektöründe uygulamalarını etkileyen piyasa faktörleri incelendiğinde, nanoteknolojiye olan talebin;

-Hükümetlerin enerji verimliliği, düşük karbon ekonomisine geçiş ve sürdürülebilir kalkınmaya yönelik düzenlemelerinin yapılması,

-Tüm Dünyadaki nanoteknoloji AR-GE yatırımlarındaki artışın hızlı olması,

-Bunun sonucunda nanomalzemelerin ve nanoteknolojik ürünlerin çoğalması,

-Bu tür ürün ve malzemelerin fiyatlarının düşmeye başlaması ile birlikte artacağı tahmin edilmektedir (Elvin, 2007).

Harman, 2011 yılında nano yapıları iki kategoride incelemiştir. Bunlar;

-Etkileşimli Nano Yapılar

-Yaşayan Nano Yapılar

Etkileşimli nano yapılarda yapı strüktürü geleneksel yapım yöntemiyle oluşturulur. Yapının çeşitli bölümlerinde etkileşimli, kendi özörgütlenmesi ile çalışan, çeşitli fonksiyonları gerçekleştiren nanomalzemeler kullanılır.

Yaşayan nano yapı, moleküler olarak nanomalzemedan üretilen yapılardır. Yapının tasarımı kod yazılarak yapılır. Bu kod doğrultusunda malzemeler kendi öz örgütlenmesi ve özkurgusu ile üretilir. Yapı ortam koşullarına ve kullanıcı isteklerine göre alternatif biçimlerde üretilebilir. Yapı tüm özellikleri ile yaşayan bir sistem gibi çalışır (Harman, 2011).

### 2.2.2 Yapıda Nanomalzemeler

Mimarinin temel taşlarından biri de yapıda kullanılan malzemelerdir. Mimari tasarımın şekillenmesinde kullanılan malzemeler ve yapım teknikleri etkilidir. Nanoteknoloji ile birlikte malzeme bilimi gelişmiş ve değişmiştir. Değişen dünya ile mimari tasarımdan beklentiler artmış ve daha esnek, değişebilir, hareket yeteneğine sahip, doğayla uyumlu, ekolojik, çevreci ve sürdürülebilir binalar istenmektedir. Bunlara cevap verebilmek için teknolojik araştırmalar ile mimaride tasarımdan itibaren yapım süreci dahil olmak üzere kullanılan her türlü materyal değişime uğramaktadır. Bu yeni beklentilerin temelinde yeşil binalar, sürdürülebilirlik ilkeleri yatmaktadır. Doğal kaynakların tükenme tehdidi insanları ekolojik binalara yöneltmiştir. Nanomimarlıktan beklenen doğa ile uyumlu, doğal yaşam döngüsü içinde kendine yer bulmuş yaşayan birer canlı gibi yapıların tasarlanmasıdır.

Nanoteknoloji, yapı malzemelerinin mevcut özellikleri geliştirilip bunun yanında yeni malzeme üretimi gerçekleştirilmektedir. Taşıyıcı sistemde kullanılan dayanımı artırılmış kendini onarabilen beton, maliyeti düşürülmüş ve özellikleri geliştirilmiş çelik, bunun yanında kendi kendini temizleyen, kir tutmayan ve ışığı emen pencere camları, kirli havayı absorbe eden iç hava kalitesini yükselten kaplama malzemeleri, yanma geciktirici nanomalzemeler ayrıca tüm bu nanomalzemelerin kontrolünü gerçekleştiren nanosensörlerin üretimi nanoteknoloji sayesinde olmaktadır.

Nanomalzemeler ile ilgili ilk araştırmalar Ball State ve Surrey Üniversiteleri'nde yapılmıştır. Ball State Üniversitesi'nde görev alan George Elvin nanomalzemelerin araştırılması üzerine çalışmalarında görev almıştır, “Yeşil Binalar İçin Nanoteknoloji” adlı raporu yayınlanmıştır. Surrey Üniversitesi'nde yapılan çalışmalarda insan psikolojisine bağlı olarak renk değiştiren duvar ve tavan tasarımları yapılmıştır (Perker, 2010).

Yapıların yaşam sürelerini önceden tahmin etmek kullanılan malzemeler ile mümkündür. Nanomalzemeler yapılarda öz-izleme teknikleri geliştirmiştir bu sayede yapı ömürleri tahmin edilmektedir. Nanoteknoloji ile üretilmiş malzemelerin hacimlerine oranla yüzey alanları yüksek kalmaktadır bu da yüzeysel tepkimelere karşı duyarlı malzeme elde etmeyi sağlamaktadır (Mukhopadhyay, 2011)

Günümüzde kullandığımız yapılar, birçok yeni sistemle donatılmış karmaşık yapıları binalardır. Böyle olunca artan bina maliyetleri, yapıların performans beklentilerindeki artış, hizmet süresi ve yaşam sürelerinin önceden bilinmek istenmesi yapı malzemeleri üzerine yapılan çalışmaların önem kazanmasına neden olmuştur. Bütünleşik bakış açısıyla tasarım ve teknoloji entegrasyonunun yapım süreçlerindeki önemli rolü sayesinde nanoteknoloji, inşaat alanını etkinleştiren bir araştırma sahasına dönüşür (Bozoğlu Demirdöven ve Arditi, 2012). Yapılarda kullanılan nanomalzemeler ve sağladıkları faydaları Bozoğlu Demirdöven ve Arditi tarafınan tablo 2.1. de gösterilmiştir.

**Tablo 2.1:** Yapılarda kullanılan nanomalzemelerden örnekler (Bozoğlu Demirdöven ve Arditi, 2012).

<i>Nanomalzemeler</i>	<i>Yapı Malzemeleri</i>	<i>Beklenen Faydalar</i>
<b>Karbon Nanotüpler CNT</b>	Beton Seramik Cihazlar (NEMs/Nano elektro mekanik, MEMs/Mikro elektro mekanik) Güneş pili	Sağlamlık, Çatlamayı önleme Geliştirilmiş mekanik ve temel özellikler Sağlık izleme Öz-algılama Etkili elektron iletimi
<b>SiO<sub>2</sub> (silisyum dioksit) nano parçacıklar</b>	Beton Seramik Cam	Mekanik mukavemete katkı Soğutma Işık iletimi Ateşe dayanıklılık ve tutuşmazlık Yansıma önleme
<b>TiO<sub>2</sub> (titanyum dioksit) nano parçacıklar</b>	Beton Cam Güneş pili	Hızlı hidrasyon Hidrasyon düzeyini arttırma Kendi kendini temizleme Süper su emicilik Buğulanma önleme Kirlenmeye direnci Elektrik üretimi
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (demir III oksit) nano parçacıklar</b>	Beton	Kompresif gücü arttırma Aşınmaya dayanıklılık

Nanoteknoloji binanın tasarımından, yapım aşamasına ve sonrasında binadan beklenen davranışlarda son derece etkilidir. Özellikle kullanılan malzemelerden yapım sektörü çok etkilenmektedir. Nanomalzemelerin yapımda yeri ve önemi büyüktür. Yapıda kullanılan nanoteknolojik malzemeler sayesinde bina kalitesi yükselir, form arayışında mimara olanaklar sağlanır, kullanıcı ihtiyaçları karşılanır, maliyet ve doğal kaynak kullanımı azalır. Bunun yanında alt yapı uygulamalarında da nanomalzemelerin önemi büyüktür.



### 2.2.2.1 Yapısal Nanomalzemeler

Nanoteknoloji ile binalarda yapısal malzemelerin özelliklerinin iyileştirilmesi sağlanmaktadır. Yapılarda taşıyıcı özellikli malzeme kalitesi nanoteknoloji ile arttırılmaktadır.

İnşaat sektörünü en temel malzemesi tartışmasız betondur. Şimdiye kadar betonun özelliklerinin iyileştirilmesinde kullanılan kimyasal katkı maddeleri betonun vazgeçilmezleri olmuştur. Günümüz teknolojisi bu kimyasal katkı maddelerinin etkilerini tam olarak incelemek için bizlere fırsat sunmaktadır. Nanoteknoloji sayesinde performans analizleri daha doğru yapılmakta; gerekli inceleme, araştırma ve üretim aşamaları çok daha kolay olmaktadır.

Makro boyutta beton üzerine çok araştırma ve çalışmalar yapılmış olsa da mikro ve nano boyutta çimento esaslı malzemelerin özellikleri bilinmemektedir. Günümüzde nanoteknoloji sayesinde başta beton olmak üzere çeşitli yapı malzemelerinin özellikleri mikro ve nano boyutta incelenmekte davranışları belirlenmekte ayrıca istenen özellikler geliştirilmekte ve eklenmektedir (Mukhopadhyay, 2011).

Nanoteknoloji ile betonda genel performansın iyileştirilmesi, daha yüksek dayanım ve mekanik özellik elde edilmesi sağlanır. Nanoteknoloji betonun geçirimsizlik özelliğini iyileştirir ayrıca ömrünü uzatır

Beton ve çimento esaslı malzemelerde kullanılan nanomalzemeler; karbon nanotüpler (CNT), nanosilika, polikarboksilat, titanyumdioksit ( $TiO_2$ ) dir.

Nanosilikalar betona eklendiğinde; betonun dayanım aşımını gibi mekanik özelliklerini arttırır ve geçirimsizlik özelliğini iyileştirir. Kimyasal bozulmalara karşı daha dayanımlı beton üretimini sağlar, enerji tüketimini azaltır. Bunun yanında çimento hidratasyonunu hızlandırmaktadır. Titanyum dioksit sayesinde betona kendi kendini temizleme özelliği eklenmektedir (url-3).

Beton ve çimento esaslı malzemelerin geliştirilme çalışmalarından biri; karbon nanotüp (CNT) ile güçlendirilmiş çimento esaslı malzemelerin üretim yöntemleri, mekanik, elektrik ve basınçla direnç değiştirme, ısı iletkenlik ve sönümlenme özellikleri ile yapısal uygulama olanaklarının geliştirilmesi gösterilebilir

(Han, Yu ve Ou, 2011). Bunun yanında tek duvarlı karbon nanotüpler çimento hidrasyonunu sağlamaktadır (Makar, 2011). Nano killer sayesinde asfalt bağlayıcı sistemler ve mekanik özellikler geliştirilmektedir (Beale ve You, 2011).

Nanoteknoloji sayesinde ileride hedeflenen çalışmalar;

-Fireyi azaltan, gerilme gücünü artıran, mikro-çatlakları kendi kendine onarabilen yüksek performanslı nanomalzemeler üretilmesi,

-Hidrasyon ısısını, nem hareketini, elektrik iletkenliği ve sert etkileri kontrol edebilen sürdürülebilir ve güvenli beton üretilmesi,

-Otoyol ve köprüler üzerindeki yükleri kaydeden sensörler ve erken uyarı sistemi geliştiren kimyasal sensörlerle bilişim sistemleri sayesinde akıllı beton malzemeler üretilmesi,

-Akışkanlığı kontrol altında tutabilen işlevsel nanoparçacıklar ve kompozitlerden oluşturulmuş yeni beton malzemeler üretilmesi,

-Beton davranışının çözümlenmesi ile nano ölçekte betonun yeniden modellenmesi, sayılabilir (Bozoğlu Demirdöven ve Arditi, 2012).

Betonun günümüzdeki önemine bakıldığında yapı sektöründe kullanılan malzemelerin başında gelir. Betonun özelliklerinin iyileştirilmesi için günümüze kadar farklı birçok çalışma yapılmıştır. Son yıllarda nanoteknoloji sayesinde, nano boyutta yapılan çalışmalar ve takviyeler sonucu, betonun performansında artış görülmektedir. Betona nanoteknoloji ile;

-Karbon nanotüp,

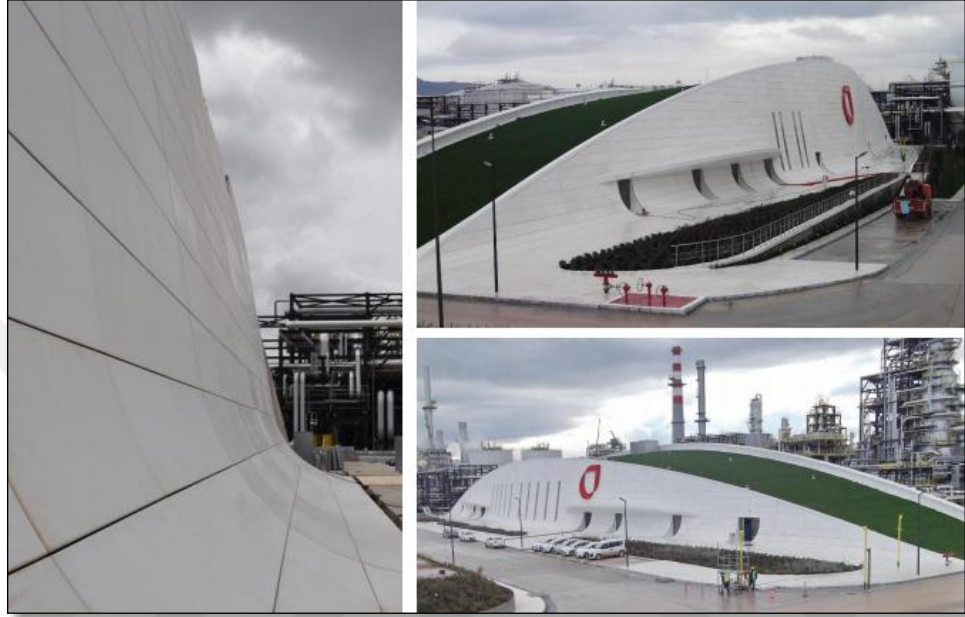
-Silikon dioksit,

-Titanyum dioksit ilavesi yapılır.

Nanoteknoloji sayesinde beton ve çimento esaslı malzemelerden beklenen performans sağlanır ve üstün özellikli malzeme üretimi yapılır. Bu performansı ölçmek için de nanosensörler geliştirilmiştir. Yapıya zarar vermeden durum değerlendirmesi yapılabilmektedir.

Bunun yanında kendi kendini temizleyen beton üretimi de gerçekleşmektedir. Fotokatalik çimento ile üretilmiş panellerin kullanımı yaygın şekilde görülmektedir.

Şekil 2.3' de kendi kendini temizleyen fibrabeton adıyla piyasada halihazırda kullanılan ürünün kullanıldığı görsel mevcuttur. Fibrobeton sayesinde yapılar uzun yıllar beyazlığını korumakta ve boya gereksinimi duymamaktadır.



Şekil 2.3: Kendi kendini temizleyen çimento ile üretilmiş cephe kaplaması örneği (url-4).

Nanoteknoloji betonda olduğu gibi çelik üretiminde de bizlere büyük avantajlar sağlamaktadır. Daha dayanımlı ve güçlü üretimin yanında azalan maliyetle birlikte, sürenin kısılması nanoteknoloji sayesinde gerçekleşmiştir. Nanoteknoloji ile uzun ömürlü paslanmaz çelik üretimi yapılmaktadır.

Nanoteknoloji ile üretilmiş günümüzde pazarlanmakta olan Mikro-Kozmetik olarak bilinen çelik takviye çubuğu geleneksel çeliğe göre 3 kat daha fazla dayanıma sahip, 5 defa daha da korozyona karşı dayanımlı bir nanomalzemedir (url-5).

Bakır nanopartikülleri sayesinde çeliğe istenen şeklin verilmesi kolaylaşmaktadır, bunun yanında bakır nanopartikülleri çelikte korozyon direncini artırır ve kaynaklanabilirliğini kolaylaştırır. Magnezyum ve kalsiyum nanopartikülleri çelik kaynaklarının dayanıklılığını artırır (Vigneshkumar, 2014).

Karbon nanotüplerin çelik de uygulama alanı oldukça azdır, çünkü karbon nanotüplerin kaygan yapısı ve grafitik şekli sebebiyle dökme malzemeye bağlamak zordur (Mann, 2006).

Yapı sektöründe kullanılan diğer bir yapısal malzeme olan ahşap doğası gereği doğal nanotüplerden oluşmaktadır. Ahşap malzemeler doğal aşınımlara maruz kalıp kısa sürede yıpranmaktadırlar. Nano katkılı malzemeler sayesinde ahşap malzemelerde su geçirmeyen, kendi kendini onaran ve temizleyen yüzeyler elde etmek mümkündür. Ahşap ürün performansını ölçmede ve geri bildirimleri tespit etmede bitkisel nano yüzeyler etkilidir (Mann, 2006).

Günümüzde ahşap malzeme bir ev için en çok kullanılan malzemedir. Ahşap malzemenin yenilenebilir özellikte olması ekoloji açısından büyük önem taşımaktadır. Ahşap doğal liflerden oluşmaktadır, nano düzeyde liflerin bağlanması istenen şekilde kontrol edilebilmekte, bu da ahşap malzemenin nano boyutta istenen özelliklerde olması demektir.

Silika ve alümina içeren nano katkılı yüzeyler su geçirmezlik özelliğine sahiptir, böylelikle ahşap malzeme ömürleri uzamış ve çürümenin önüne geçilmiştir. Dış ortam koşullarından su itici yüzey kaplama malzemeleri ile korunan ahşap, inşaat sektöründe büyük imkanlar sağlamaktadır. Şekil 2.4' de su geçirmez özellikli nano kaplama malzemesinin kullanıldığı ahşap yüzeyde su damlacıklarının şekli görmektediriz.



**Şekil 2.4:** Su geçirmez ahşap yüzey (url-6).

Michigan Üniversite'sinde gerçekleştirilen bir çalışma ile nano boyutta plastik kapsüllerin içine konulan organik bileşenlerin ağaç içine yerleştirilmesi başarılmıştır. Binada da ahşap malzemeleri termal pillere dönüştüren bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu sayede ahşabın nano boyutta yapısını değiştirilerek güneş enerjisini depolama aracına dönüştürülmüştür (Candemir vd., 2012).

### 2.2.2.2 Yapısal Olmayan Nanomalzemeler

Nanoteknoloji yapısal malzemelerde olduğu gibi yapısal olmayan cam, plastik, alçıpan kaplamalar gibi yapı malzemelerinde önemi büyüktür. Artan kullanıcı istekleri, nanoteknoloji sayesinde yeniden üretilen tasarlanan nano yapı malzemeleri ile karşılanmaktadır.

Nanopartikül katkılı cam malzemeler yapılarında büyük kolaylık ve konfor sağlamaktadır. Bunun yanında, enerji kullanımını azaltarak sürdürülebilirlik fonksiyonu için yardımcı elemanlardır.

Genel olarak nanoteknoloji ile cam malzemesinde; kendi kendini temizleme, kapalı ortam iklim kontrolü, ısı ve yangına dayanıklılık, güneş yansıma problemlerinin çözülmesi sağlanmaktadır.

TiO<sub>2</sub> nanopartikülleri hidrofobik (su sevmez) özelliği sayesinde, kendi kendini temizleyen camlar ve kir tutmayan kaplamalar ile kirlenme geciktirici cam malzeme üretimi gerçekleştirmektedir. TiO<sub>2</sub> nanopartiküllerinin işlevlerini yerine getirmesi için UV ışını, oksijen ve hava nemi gereklidir. Malzeme üzerinde biriken kirler TiO<sub>2</sub> katalizörü yardımı ile yüzeyden uzaklaştırılmaktadır (Leydecker, 2008). Bu sayede cam cephe kaplı yapılarda bakım aralıklarının süresi uzayıp, maliyetler düşmektedir. Cephelerde yağmur sonrası su izi kalmaz ve küf oluşmaz.

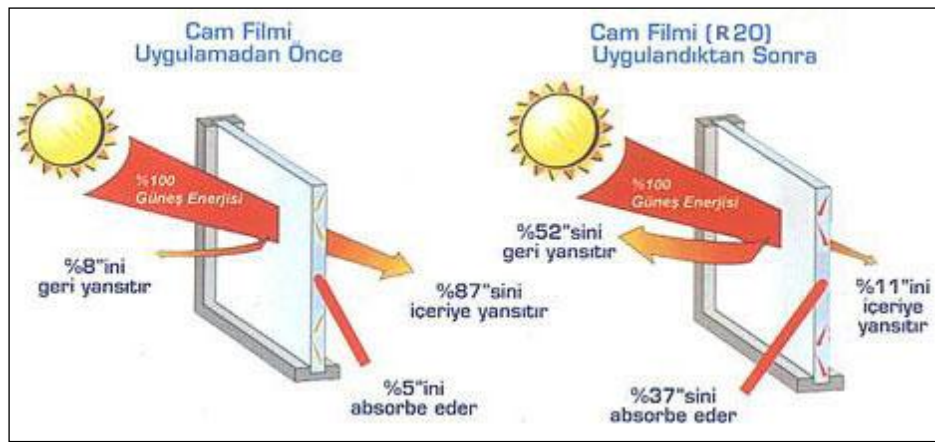
Süperhidrofobik bir yüzeyin suyla kendini temizleme özelliği ilk defa 1977'de Barthlott ve Ehler tarafından lotus (nilüfer çiçeği) yaprakları üzerinde elektron mikroskopuyla gözlenerek 'Lotus Etkisi' olarak adlandırılmıştır (Barthlott ve Ehler, 1977). Günümüzde bu uygulama dış cephelerde boya ve camda kullanılmakta yağmur suyu ile temizleme gerçekleşmektedir ve Şekil 2.5'de bunun görsel anlatımı mevcuttur.



Şekil 2.5: Gün ışığının etkisi ile kendi kendini temizleyen cephe (url-7).

SiO<sub>2</sub> nanopartikülleri ile yangına dayanımlı cam üretimi yapılmaktadır. Cam paneller arasına sıkıştırılmış dolgu malzemesi ile yangın esnasında 120 dakikadan fazla dayanma sağlanmaktadır. Silika nanopartikülleri ısıtıldığında şişerek sert ve opak bir yangın kalkanına dönüşür (Mann, S. 2006).

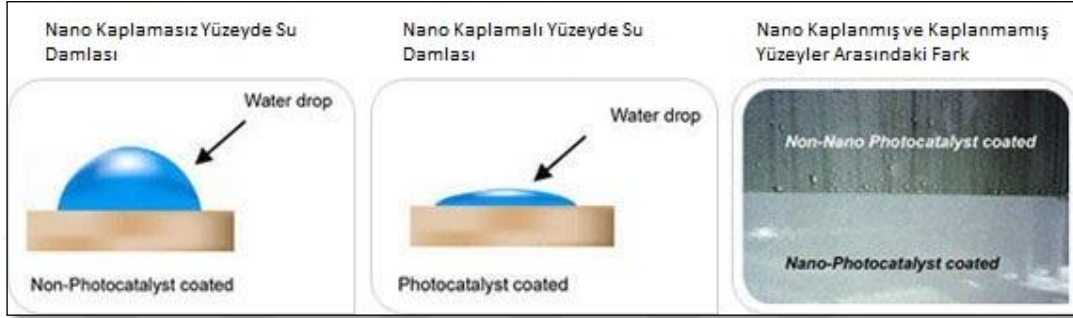
Nanoteknoloji sayesinde elektrokromik kaplamalar geliştirilerek cam yüzeylerde opaklık, solma ve parlama bunun yanında dış mekandan gelen ısı ve ışık istenildiği gibi ayarlanmaktadır. Nanoteknoloji ile geliştirilmiş ince film kaplamalar sayesinde ışığın filtrasyonu kolaylıkla istene düzeyde ayarlanabilmektedir (Mann, 2006).



Şekil 2.6: Nanoteknoloji sayesinde camda güneş ışığının yansımaları (url-8).

Nanoteknoloji ile geliştirilen fotokromik teknoloji camda ışık yoğunluğundaki artışta emilim göre değişiklik göstermektedir (Mann, 2006).

Nanoteknoloji ile SiO<sub>2</sub> nanopatikülleri sayesinde yansımaya problemi de çözülmüştür. 150 nm kalınlığındaki SiO<sub>2</sub> kaplaması yansımaya önlemede ideal kalınlık olara kabul edilmektedir (Mohamed, 2015).



Şekil 2.7: Nanomalzeme kaplı yüzey ve nanomalzeme kaplı olmayan yüzey arasındaki fark (url-9).

Nanoteknoloji tüm malzemelerde olduğu gibi plastik için de gelecek vaat eden bir teknolojidir. Nanoteknoloji ile geleneksel plastiğe göre basınca daha dayanımlı, buna karşın düşük yoğunluklu plastik malzeme üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Isı ve çizilmeye dayanıklı, daha güçlü plastik üretimi günümüz teknolojisinin bize sunduğu imkanlardandır.

Nanoteknoloji ile plastik üzerine yapılan araştırmalar;

- Hafif, şeffaf ve sağlam plastikler elde etmek,
- Çizilme ve ısı dayanımlı plastik üretmek,
- Çizilme ve çatlak gerçekleşse bile kendini onaran plastik üretmek,
- Biyo esaslı polimer üretmektir (Candemir vd.,2012).

Nano takviyeli polimerler ısı ve elektrik yalıtımında çok daha etkilidirler. Polimer nanokompozitleri ile daha düşük su hassasiyeti, daha düşük ısıl genleşme ve daha düşük gaz geçirgenliği elde edilir (Candemir vd., 2012).

Nanoteknoloji ile seramik yüzeylerin geliştirilmesi ve istenen özelliklerde seramik elde edilmesinde bize imkanlar sunmaktadır. Özellikle seramik yüzeylerde

antibakteriyel özellikli üretim hedeflenmektedir. Kalabalık kullanıma açık alanlarda bakteri oluşumu çok daha fazladır. Gümüş, kalsiyum fosfat, titanyum dioksit antibakteriyel özellik taşıyan nanopartiküleri seramik sırlama işleminde sırlara eklenerek antibakteriyel özellikli seramik elde edilmektedir (Candemir vd., 2012).

Ayrıca üzerinde su tutmayan, kendi kendini onarabilen, kolay temizlenme özellikli yüzeye sahip seramiklerin üretimi nanoteknoloji ile uygulanmaktadır. Nano seramiklerden genel beklentiler; antibakteriyel, nefes alabilen, dayanıklı, kir tutmayan, kolay temizlenebilen, yanmaz, darbeye dayanıklı, çizilmez, su geçirmez, çevre dostu ve esnek olmasıdır. Yapılarda kullanımı ile büyük kolaylıklar sağlamaktadır.

Bunların yanında seramik üretimi için harcanan enerjinin minimuma indirilmesi hedeflenmektedir. Gelecek günlerde pişirimsiz mukavemetle elde edilen seramiklerin üretilmesi hedeflenmekte ve enerji tüketiminin azalması sağlanmaktadır (Candemir vd., 2012). Nanoteknoloji ile malzeme üretiminde dünyanın genel problem olan enerji kaynaklarının tükenme tehdidi sorununun bir adım önüne geçilmiş olmaktadır.

### **2.2.2.3 Yalıtım – Koruma**

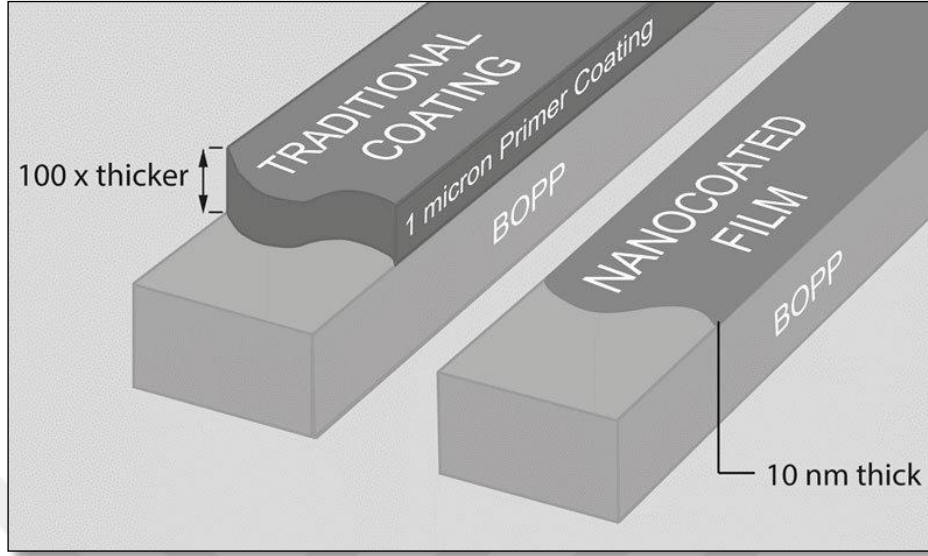
Yapılarda kullanılan nanomalzemeler ile genel olarak kendi kendini temizleyen, hava kalitesini arttıran, ısı yalıtımını sağlayan, uzun ömürlü, üzerinde kir ve su tutmayan, güneşe karşı dayanımlı, yangın geciktirici, antibakteriyel, çizilmeyen ve aşınmayan, çevre dostu yapı tasarımları sağlanmış olur ayrıca sürdürülebilirlik ve yenilenebilirlik etkin şekilde sağlanmış olur.

Yapısal ve yapısal olmayan malzemelerin dışında nanoteknolojinin binalarda kullanım alanı çok geniştir. Binalarda kullanılan çeşitli malzemenin nanoteknoloji ile üretimi gerçekleştirilmektedir.

Nanoteknoloji de kaplamalar her alanda fazlasıyla kullanılmakta ve farklı birçok işleve ev sahipliği yapmaktadır. Mantık olarak en basit tanımı ile nano boyutta kimyasal bileşenlerin malzemelerin yüzeylerine kaplanması ile gerçekleşir. Kalınlıkları nano boyutta olan kaplamalar malzemelerin yüzeyine uygulanır ve



yüzeylerin istenen özelliklerde olması sağlanır, Şekil 2.8’de geleneksel ve nano kaplamaların kalınlık farkları gösterilmektedir.



Şekil 2.8: Nano boyutta yapılan kaplama ile geleneksel kaplama arasındaki fark (url-10).

Nanoteknoloji kaplama ve boya sektöründe oldukça başarılıdır. Çünkü; nano kaplamalar üst katmanlara daha iyi nüfus eder. Alan olarak daha geniş bir kaplama yüzey alanına sahiptir. Bunun yanında nano kaplamalar şeffaf olduğu için alt yüzey kaplamalarında bizlere çok büyük kolaylıklar sağlar (Candemir vd., 2012).

Nano kaplamalar ile malzemelere ek birçok özellik eklenmektedir. Bunlar;

- Hava geçirgenliğinin sağlanması,
- Bakteri oluşumunun engellenmesi,
- Çizik, leke ve küflenmelere karşı dayanıklılığın sağlanması,
- UV/IR ışınlarının geçiminin engellenmesi,
- Yüzeyle su itici, su emici, yağ itici gibi özelliklerin eklenmesi,
- Çabuk aşınmanın önlenmesi,
- Kendi kendini onarabilen yüzeylerin elde edilmesi,
- Kendi kendini temizleyen yüzeylerin elde edilmesidir.

Boya ve kaplamalarda kullanılan nanomalzemeler ve gerçekleştirilen özellikler aşağıdaki belirtilmiştir (Candemir vd., 2012).

***Titanyum Dioksit (TiO<sub>2</sub>)*** : Kendini kendini temizleme özelliği, kirlenme önleme özelliği, UV koruyuculuğu, buğu önleme özelliği,

***Alüminyum Oksit (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)*** : Aşınma ve çizilme önleme özelliği,

***Karbon Nanotüpler*** : Çizilme önleme özelliği, çatlak önleme özelliği, elektrik iletkenliği, mekanik dayanımının artması özelliği,

***Çinko Oksit (ZnO)*** : Antiperspirant, antibakteriyel, UV koruyuculuğu,

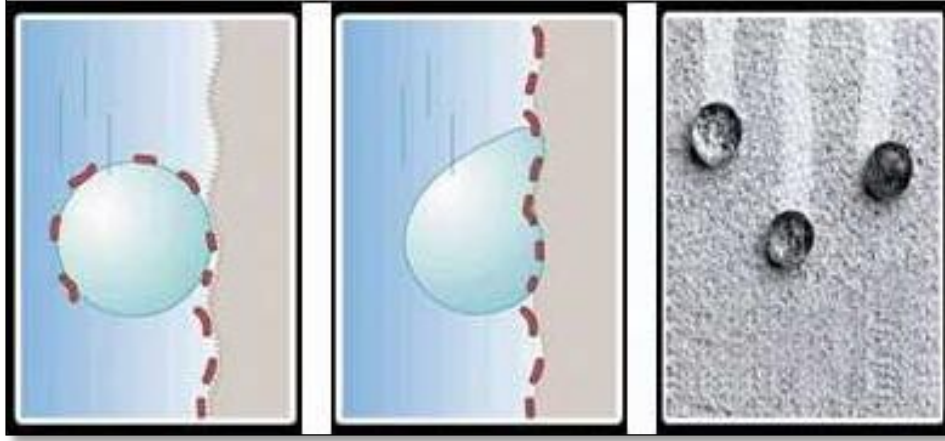
***Silikon Dioksit (SiO<sub>2</sub>)*** : Çizilme önleme özelliği, şeffaflık özelliği, mekanik dayanımının artması özelliği, yansıma önleme özelliği, yangına dayanıklılık özelliği,

***Gümüş (Ag)*** : Antimikrobiyel özelliği sağlanmaktadır.

Boyalarda da tıpkı kaplama malzemeleri gibi nanoteknoloji ile üretilen, nano boyalar üzerine yapılan çalışmalar devam etmekte ve çevre dostu, tortu ve kir tutmayan boya üretimleri gerçekleşmektedir.

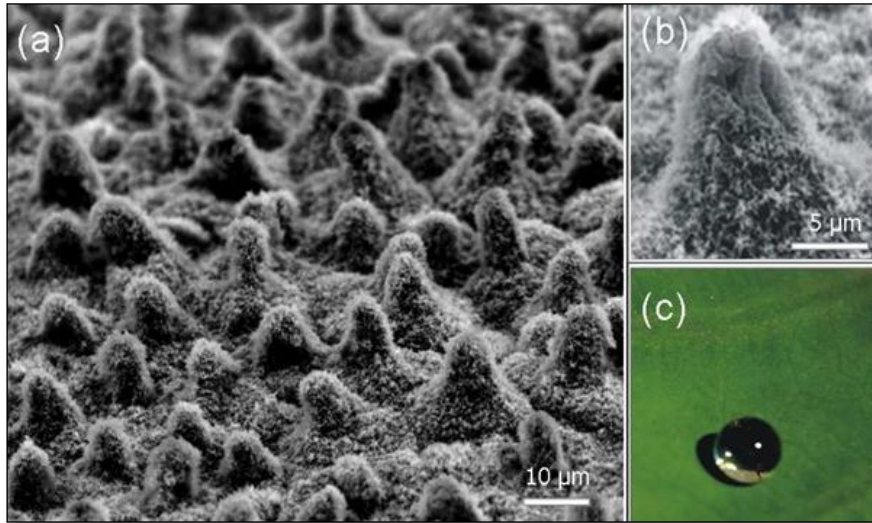
### ***Kendi Kendini Temizleme (Lotus Etkisi)***

Kendi kendini temizleme olayı (lotus etkisi) ile temizlik, güneş ışınlarına maruz kalan kir taneciklerinin yağmur suyu ile temizlenip akması ile gerçekleşir. Fotokataliz ile kendi kendini temizleme işleminde doğal gün ışığının UV ışınları yeterlidir, katalizör desteği ile kir yüzeyden uzaklaşmaktadır. Bu yapılarda ince bir nano kaplama ya da nano boyalar ile cephelerde uygulanmaktadır. Burada kullanılan katalizör genelde titanyum dioksittir. Saydam olması kullanımını kolaylaştırmakta ve cam, cephe panelleri, boya, seramik ve membranlarda kullanılmaktadır (El-Samny, 2008; Leydecker, 2008).



**Şekil 2.9:** Lotus etkili ve normal yüzeydeki su damlasının etkisi – su damlasının lotus etkili kaplama ile kaplanmış bina cephesindeki temizleme etkisi (url-11).

Kendi kendini temizleyen malzeme üretiminin çıkış noktası Wilhelm Barthlott tarafından keşfedilen ‘lotus etkisi’ ile olmuştur (Forbes, 2008; Fürstner, Barthlott, Neinhuis ve Walzel, 2005). Lotus bitkisinin yaprakları 5-10 mikrometre (milimetrenin binde biri) yüksekliğinde ve birbirinden 10-15 mikrometre mesafede olan çok küçük tümseklere sahiptir dolayısıyla ortaya 0.1 mikrometre genişliğinde, tellerden oluşan engebeli bir yüzey çıkmaktadır. Bu tepeler balmumuyla kaplıdır ve bu bozuk yüzey şekline sahip olması sayesinde su damlacıkları yüzeyle tam bir temas haline geçmemekte ve kendi ağırlıklarıyla aşağıya doğru akmaktadır (url-12). Lotus bitkisinin yaprak yüzeylerinin mikroskopik görüntüsü Şekil 2.10’da gösterilmiştir.



**Şekil 2.10:** Lotus bitkisi yaprağının mikroskopik görüntüsü (url-13).

Lotus özellikli yüzeyler, suyun hareketiyle temizlenebilen bir nano yapıya sahiptir. Temizlenmesi kolay yüzeyler yıllardan beri çok iyi bilinen hidrofob ve pürüzsüz yüzeylerdir. Bu tip yüzeylerden kiri uzaklaştırmak zor değildir. “Lotus etkisi”, “kendi kendini temizleme etkisi”, kirlenen yüzeyin temizlenmesi için insanlar tarafından yapılacak herhangi bir etkiye gereksinim duymamaktadır (Özdoğan vd., 2006).

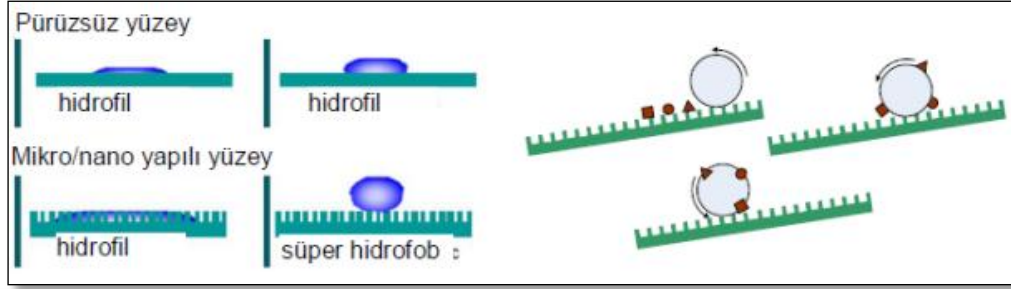


Şekil 2.11: Lotus bitkisi (url-14).

Nanoteknoloji sayesinde yapay lotus yüzeyler elde edilmekte ve farklı birçok sektörde kullanılmaktadır. Mimari alanda, tekstil sektöründe, boya sanayinde lotus etkili nanoteknoloji ile üretilmiş malzemelere ince film kaplamaları kullanılmaktadır. Lotus bitkisinin yüzeyindeki engebeler nanomalzemeler (nano kaplamalar) ile elde edilip, yüzey kaplaması yapılmaktadır. Kirin yağmur suyu gibi az miktarda su ile temizlenmesi sağlanmaktadır. İnsan gücüne ya da başka bir etmene ihtiyaç duymadan temizleme işlemi belli aralıklarla kendiliğinden gerçekleşmektedir. Böylelikle enerjide tasarruf edilmiş olunmakta ve maddi olarak büyük kazançlar sağlanmaktadır. Özellikle bina cephelerinin temizlenme işlemi nanoteknoloji sayesinde çözülmüş olup dünya ekonomisine büyük katkı sağlanmaktadır. Dünya çapında yılda 150 milyar dolar harcandığı tahmin edilen temizlik hizmetleri içinde yapı cephelerinin temizliğine dönük harcamaların önemli bir pay aldığı düşünülmektedir (Pauli, 2010).

Lotus bitkisinin çalışma prensibi; yaprakların süperhidrofob yüzey olduğu kabul edildiğinde yağmur gibi su damlaları yüzey üzerinde kaymamakta yuvarlanarak hareket etmektedir. Su damlalarının hareketi sırasında yüzeyde bulunan

kirler su damlaları ile yüzeyden uzaklaşmaktadır. Su damlası üzerinde kirlilik taşıdığına partikül ve yüzey arasındaki absorpsiyon kuvveti statik sürtünme kuvvetinden büyük ise kir yüzeyden uzaklaştırılmaktadır (Bozoğlu Demirdöven ve Karaçar, 2013). Şekil 2.12’de lotus özelliği yüzeylerde su damlasının hareketini şematik olarak göstermektedir.



Şekil 2.12: Lotus bitkisinin kendi kendini temizleme özelliğinin çalışma prensibi.

Lotus yapraklarının benzersiz yaprak özellikleri fark edikten sonra birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Bunlara örnek olarak cephe kaplamaları, boyalar, laminantlar, koruyucu filmler, trafik işaretleri, pencere çerçeveleri, çadırlar ve muşamba üretimi, tekstil, seramik, vb. verilebilir.

Lotus etkisi ile kendi kendini temizleme özelliğinin; temizleme ve bakım kolaylığı, çevreye olumsuz bir etkisinin olmaması, zaman kazandırması, enerji tasarrufu sağlaması, lotus etkisi özelliğine sahip malzemelerin daha uzun ömürlü olması, bazı zararlı kimyasal maddelerin yerine kullanıldığı için sağlık ve çevre açısından daha güvenilir olması, daha düşük maliyetlerle çalışılması gibi avantajları vardır. Tüm bu avantajları nedeniyle birçok alanda uygulamasının yaygınlaşacağı ön görülmektedir (Özdoğan vd., 2006).

Lotus etkisi kullanılan silikon reçine esaslı, mikro-ölçek tanecikler içeren bir dış cephe boyası günümüzde kullanılmaktadır, boya kaplandığı yüzeyde nano ölçekte dalgalı bir yüzey oluşturarak lotus etkisi yaratmaktadır. Yüzey ile üzerine düşen su damlası arasında  $140^\circ$  temas açısı oluşturarak kapladığı yüzeyi süperhidrofobik yapar. Kâğıt yüzeylere (beton, yığma vb.) fırça, rulo veya havasız spreyle uygulanabilen mat renkli boya, ahşap ve metal yüzeye uygulanamamaktadır (STO, 2005).

Bu boyanın kullanıldığı en bilindik yapı Şekil 2.13’de görseli bulunan Ara Pacis Müze’sidir. 2006 yılında mimar Richard Meier tarafından tasarlanan yapı Roma’da bulunmaktadır. Yapı, ‘‘Ara Pacis Augustae’’ sunağını korumak ve sergilemek üzere şehrin tarihi merkezinde çelik, traverten ve cam ile inşa edilmiştir ve sergilediği sunağın önüne geçmemek ve etkili ışık alımını sağlamak için yapıda sadece beyaz renk kullanılmıştır (Orhon, 2014). Yapı bulunduğu yer itibari ile oldukça fazla hava kirliliğine maruz kalmaktadır. Nano boya sayesinde yapının beyaz rengi olumsuz hava kirliliğine rağmen ilk günkü beyazlığını korumaktadır.



Şekil 2.13: Ara Pacis Müzesi (url-15).

Bunun dışında mimar Andrija Rusan tarafından 2006 yılında Hırvatistan’da tasarlanan Luminart Binası ve mimar Renner Hainke Wirth tarafından 2007 yılında Almaya’da tasarlanan Strucksbarg Konutları da lotus etkili boya kullanımı ile beyaz cephelerinde herhangi bir bakım ve temizlik ihtiyacı duymadan günümüze kadar gelmiştir. Şekil 2.14’de görselleri bulunan yapılar, lotus etkili boya kullanımı sayesinde cephelerini belirli aralıklarla kendi kendilerine temizlemiştir. Bu sayede yapıların günümüze kadar gelmesi ve herhangi bir onarım olmaması mimarlık tarihi açısından oldukça önemlidir.



**Şekil 2.14:** Luminart Binası ve Strucksberg Konutları (Orhon, 2014).

Özellikle cam cepheli yapılarda nanoteknoloji sayesinde kendi kendini temizleyen cam üreten firmaların sayısı günümüzde oldukça fazladır. Şekil 2.15’de yağmur suyu ile ilk günkü temizliğine kavuşan pencerelerin görünümü mevcuttur ve bu durum çok fazla talep görmektedir.



**Şekil 2.15:** Geleneksel cam ve yağmur suyu ile kendini temizlemiş nanocam (url-16).

Lotus etkili kendi kendini temizleyen yapı malzemeleri, betonlar, paneller, cam, vb. gibi etki ettiği ve yeni malzeme üretimine ışık tuttuğu alanlar oldukça fazladır. Lotus etkisinden esinlenilip üretilen fibro T beton ve kullanıldığı bina Şekil 2.16’da gösterilmiştir, yağmur suyu yardımıyla bakım ve onarım gerektirmeden kullanıma hazırdır.



**Şekil 2.16:** Cam elyaf tavkviyeli fibro T beton (kendi kendini temizleyen beton) ile üretilmiş yapı

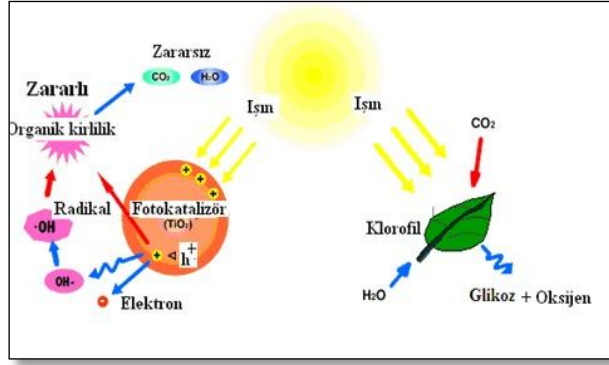
(url-4).

Nanoteknoloji sayesinde lotus bitkisinden esinlenilerek birçok farklı sektör ve malzemede kendi kendini temizleme özellikli ürün ve materyal üretimi ve tasarımı yapılmaktadır. Yapı sektöründe bu yaklaşım cephe temizliğinde önemli ölçüde kullanılmaktadır. Bu sayede temizlik maliyeti ortadan kalkmış, çevre dostu sürdürülebilir özellikli yapı yaklaşımı ortaya çıkmıştır. Ayrıca geleneksel yöntemle cephe temizliği sırasında yaşanan iskele kurulması ve can güvenliği tehdidi de bu sayede ortadan kalkmış olmaktadır.

### **Kendi Kendini Temizleme (Fotokataliz ile)**

Fotokataliz ile kendi kendini temizleme olayı Şekil 2.17’de gösterildiği gibi, fotosentez olayına benzer ve gün ışığı ile tepkimeye girerek reaksiyonların oluşmasını sağlar. Kendi kendini temizleyen süperhidrofilik yüzeyler ile ilgili araştırmalar oldukça yeni olmakla beraber, aslında çalışmaları 1960’lara dayanmaktadır (Fujishima ve Zhang, 2006).  $TiO_2$  (titanyum dioksit) bilinen, doğada serbest halde bulunan, en ucuz, en verimli, en stabil fotokatalizördür

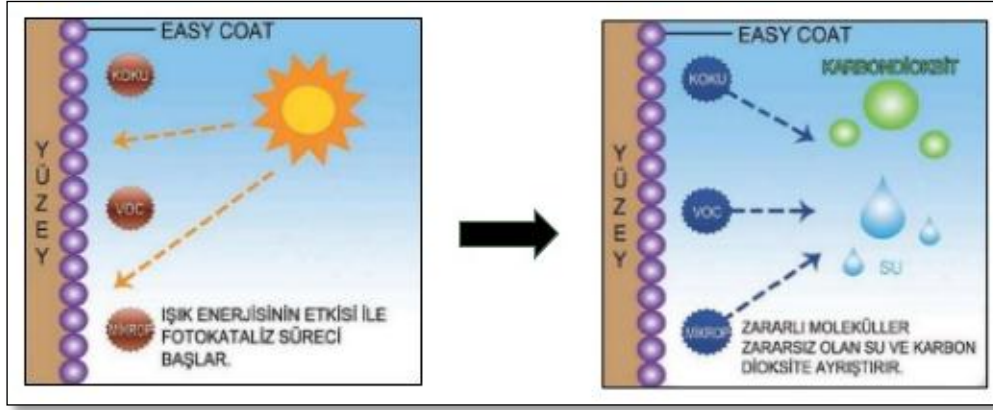




**Şekil 2.17:** Fotokataliz ile kendi kendini temizleme ve fotosentez olayının şematik gösterimi (url-45).

Fotokataliz ile kendi kendini temizleyen nano yapı malzemeleri yüzeydeki kirlilik temizleme işleminde normal gün ışığı içindeki UV ışınları fotokataliz tepkimesinin oluşması için yeterlidir (Perker, 2010). Fotokataliz ile temizleme işleminde genellikle titanyum dioksit ( $\text{TiO}_2$ ) kullanılır. Yarıiletkenler ( $\text{ZnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnO}$  vb.), elektronik yapılarına bağlı olarak, fotokatalitik aktivite uygulamalarında katalizör olarak davranabilirler (Hoffmann, Martin, Wonyong Choi ve Bahnemann, 1995). Yarıiletkenler arasında  $\text{TiO}_2$ 'nin anataz formu, en iyi fotokatalitik aktivite özelliğini göstermektedir (Fujishima ve Zhang, 2006).

Fotokatalitik tepkimede Şekil 2.18'de şematik gösterilimi mevcut olan, yüzeyde bulunan kir parçaları güneş ışınları ile girdiği tepkime sonucu parçalanır ve sonrasında su ile akarak temizlenir. Genelde yapılarda yağmur suyu bu görevi üstlenir. Titanyum dioksit nano boyutlarda transparan özellik gösterir ayrıca su emici özelliği de mevcuttur (Perker, 2010). Titanyum dioksit, içindeki bazı oksijen atomları, azot atomları ile değiştirildiğinde lamba ışığında da aktivite olmakta bu sayede gün ışığı olmasa bile istenildiği an lamba ışığı sağlanarak, malzemeni kendi kendini temizleyebilmesi sağlanmaktadır (Özgür, Gemici ve Bayındır, 2007).

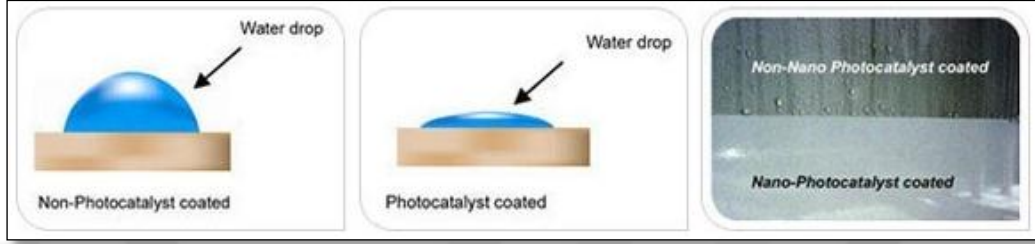


**Şekil 2.18:** Fotokataliz ile kendi kendini temizleme ve fotosentez olayının şematik gösterimi (url-45).

TiO<sub>2</sub>' in fotokatalitik aktivite özelliğinin farkına varılması ve çalışmalar yapılması 1970'lere dayanmaktadır. Frank ve Bard 1977'de TiO<sub>2</sub> tozları ile su içerisindeki siyanürü parçalayarak çevresel arıtma konusundaki ilk çalışmayı gerçekleştirmişlerdir (Şam, Ürgen ve Tepehan, 2007). Sonrasında çevresel su kirliliklerinin temizlenmesi konusunda çalışmalar devam etmiştir. TiO<sub>2</sub>'nin fotokatalitik oksitleme özelliğinin yanında diğer özelliğide ışık etkisi ile yüzeyinin süperhidrofilik özellik kazanmasıdır. TiO<sub>2</sub>'nin bu özelliği, buğulanmayan ve kendi kendisini temizleyebilen yüzeyler elde edilmesini sağlamaktadır (Wang vd., 1997). Buhar giderici özellikle su ve nem karşılaştığında, TiO<sub>2</sub> sayesinde yüzeydeki su ve nem ince bir film tabakasına dönüşmekte ve buharın gözükmemesinin önüne geçilmektedir (Yağlı, 2019). Bu sistem araç aynalarında buğulanmayı önlemede kullanılmaktadır. Çok ince bir film tabakası olarak üretilen nanomalzeme en yaygın ıslak hacim, duvar ve döşemelerde, aynalarda, cam ve plastik kaplamalarında kullanılır (Kasap, 2012).

Özellikle son on yılda çok sayıda firma, fotokataliz ile kendi kendini temizlemeyle ilgili çalışmalarda ve üretimde boy göstermektedir. Titanyum dioksit eski çağlardan beri kullanılmakta, doğada çok miktarda bulunmakta ve maliyeti oldukça düşüktür. Bu yüzden birçok sektörde nanoteknoloji ile kendi kendini fotokataliz ile temizleyen malzeme üretimi gerçekleştirilmektedir. Yapı sektöründe geleneksel yapı malzemelerine TiO<sub>2</sub> eklenerek nanomalzeme üretim sağlanmakta; TiO<sub>2</sub>-cam, TiO<sub>2</sub>-fayans, TiO<sub>2</sub>-boya, TiO<sub>2</sub>- duvar kağıdı ve TiO<sub>2</sub>-beton üretimi son yıllarda çok popülerdir. Fotokataliz ile kendi kendini temizleme, inşaat sektöründe en yaygın kullanılan sistemdir (Gür, 2010).

Nano kaplı yüzeylerde su ile teması sonrası su şeklini koruyamaz, ince bir tabakası halini alır ve böylece yağmur sonrası su lekesi oluşumu engellenmiş olur. Ayrıca su yüzeyde damlacık halinde kalamadığı için yüzeyde bulunan kiri de yanında götürür. Şekil 2.19'da su damlacığının yüzeydeki formu görülmektedir. Suyun damlacık değil tabaka halinde yüzeye yayılması, tozun yüzeye temasını azaltır böylece kirlenmeyi geciktirir.



Şekil 2.19: Nano kaplamasız yüzey ile nano kaplamalı yüzeyde su damlasını (url-9).

Fotokatalitik malzemenin geleneksel yapısal malzemelere eklenerek kullanılmasında  $TiO_2$ 'nin özellikleri etkili olmuştur, örneğin; dış cephe inşaat malzemesi, dış cephe fayansları, iç mekan mobilya malzemeleri, kaldırım taşları, camlar ve PVC kumaşları gibi farklı uygulama alanları mevcuttur (Chen ve Poon, 2009). Ayrıca  $TiO_2$ 'nin hidrofilik özelliği de bu sistemde bize yardımcı olmaktadır.  $TiO_2$  malzeme yüzeyine nano boyutta ince bir film şeklinde kaplanarak malzemenin fotokatalitik özellikte olmasını sağlar. Bina yapımında nanoteknolojinin en yaygın kullanıldığı alan fotokataliz ile kendi kendini temizleyen yapı malzemeleridir. Özellikle cam yapı malzemeleri arasında cephe kaplamasında çok fazla kullanılmaktadır. Cam üzerine yapılan kaplama ile; yüksek katlı ve cam binalarda dış cephe temizliği fotokataliz ile gün ışığı yardımıyla gerçekleşmektedir. Yalıtımlı camın,  $TiO_2$  kaplaması uygulanarak fotokataliz ile kendi kendini temizleme özellikli üretilmesi ilk kez 2002 yılında Avrupa'da gerçekleşmiş ve günümüze kadar gelmiştir (Yağlı, 2019).

Nanoteknoloji ile yeni bir boyut kazanan ve kendi kendini temizleme özelliği eklenmiş yapı malzemelerinin genel özellikleri;

-Yüzeylerinin sürekli temiz ve ilk günkü kadar yeni gözükmesi,

-Dış cephe ile temas halinde olan yüzeylerin tozdan, hava kirliliğinden ve asit yağmurlarından etkilenmemesi,

- Dış cephe malzemelerinde yağmur sonrası yüzeyde su izi kalmaması,
- Binalarda soğutma masraflarının azalması,
- Malzeme üzerinde küf ve yosun oluşmaması,
- Malzeme yüzeyindeki kaplanmış yüzey etrafındaki virüs ve bakterilerin yok edilmesi,
- UV ışınlarını absorbe eder ve yüzeyi UV ışınlarının zararlarından koruması,
- Elektriklenmeye engel olur ve Anti-statik özelliklidir (url-20).

Nano kaplama ile kendi kendini temizleyen malzeme üretimi yapılarda büyük enerji tasarrufu sağlamakta, maliyet ve zamandan kazanmamızı sağlamaktadır. Sadece yapılarda değil kullanıldığı farklı sektörlerde de insan gücüne ihtiyaç duymadan temizleme işleminin belli aralıklarla doğal kaynaklar yardımı ile (güneş, yağmur suyu, oksijen) gerçekleşmesini sağlar. Bunun yanında fotokatalitik titanyum dioksit kaplama ile kendini temizleme özellikli yapı malzeme üretilmesi ve kullanılması sürdürülebilirlik açısından son derece önemlidir. İngiltere’de 2006 yılında yapılan bir çalışmada fotokatalitik titanyum dioksit kaplama ile kendini temizleme özellikli camlar sürdürülebilirlik açısından incelenmiştir. Bu camların kullanıldığı 12 adet yapının gerçek yapım ve bakım maliyetleri doğrultusunda yapılan çalışmada yatırımın geri dönüş süreleri; okul binası için 5-6 yıl, apartman yapısı için 9-11 yıl ve ofis yapısı için 3-4 yıl olarak hesaplanmış, bunun yanında 12 katlı bir ofis yapısında camlar sayesinde hizmet ömrü süresince 100,000 litre su tasarrufu sağlanacağı da öngörülmüştür (Orhon, 2013).

Nanomalzemelerin yapı sektöründe kullanılması tasarım ve form da beklentilerin karşılanmasına yardımcı olur. Kullanıcı taleplerinin karşılanması, son yılların popüler kavramı ‘akıllı bina’ üretimi nanoteknoloji sayesinde üretilen nano yapı malzemeleri ile gerçekleşmektedir.

Yapılan bilimsel çalışmalar sonucunda fotokatalik malzeme ile kendi kendini temizleme işleminde yüzeyde oluşan serbest elektronların aktive ettiği oksijen sayesinde, fotokatalik özelliğe sahip yüzey etrafındaki havasında temizlendiği

görülmektedir, 1000 m<sup>2</sup> fotokatalitik cephe kaplamasının hava temizleyici etkisinin 70 orta boy ağaçta karşılık gelmektedir (Vuceljic, 2009; Orhon, 2013).

Titanyum dioksit katkılı çimento ile yapılan fotokatalitik beton ilk kez Roma’da, Richard Meier tarafından, 2003 yılında Jubilee Kilisesi’nde kullanılmıştır. Bu betonlar havadaki kirletici partikülleri güneş ışığı ile parçalayarak yok etmelerinden dolayı “kirlilik yiyici beton” olarak da anılmaktadır (Altın ve Orhon, 2012). Jubilee Kilisesi’ndeki Kutsal Üçleme, üçgen bir alanda omurga görevi yapan bir duvar ile üç beton kabuk kullanılarak temsil edilmiş. Yapıda kullanılan malzeme seçimleri yapıyı karakterize etmekte ve beyaz renkli beton ve cam kullanımı ile yapıya bir şeffaflık katmaktadır. Yapının tamamında Şekil 2.20’de görüldüğü gibi beyaz renkli beton kullanılmıştır. Bu beton fotokatalitik özelliği sayesinde günümüze kadar ilk günkü temizliğini, rengini ve orijinalliğini korumuş, yıllarca maruz kaldığı kir partiküllerini etkisiz hale getirmiştir (Yağlı, 2019).



Şekil 2.20: Jubilee Kilisesi (url-19).

Jubilee Kilisesi'nde olduğu gibi fotokatalist malzeme kullanımı yapı ömrünü uzatmakta ve yıpranmasını önlemektedir. Bu sayede yapılar uzun yıllar kullanılmaktadır. Korunma altına alınması gereken yapılarda kendi kendini temizleme özelliğine sahip nanomalzemelerin kullanımı ile yapıların korunması sağlanabilmektedir (Yağlı, 2019). Ayrıca nanoteknolojinin beton, tuğla, kum taşı gibi geçirgen ve emici özelliğe sahip malzemelere de uygulanabilmesinin yanı sıra, malzemenin gözeneklerini kapatmayarak nefes almasını sağlaması oldukça olumlu bir özelliktir (Kasap, 2012).



**Şekil 2.21:** Fotokatalik TiO<sub>2</sub> cam kaplama uygulaması öncesi ve sonrasında cephe görünümü (url-9).

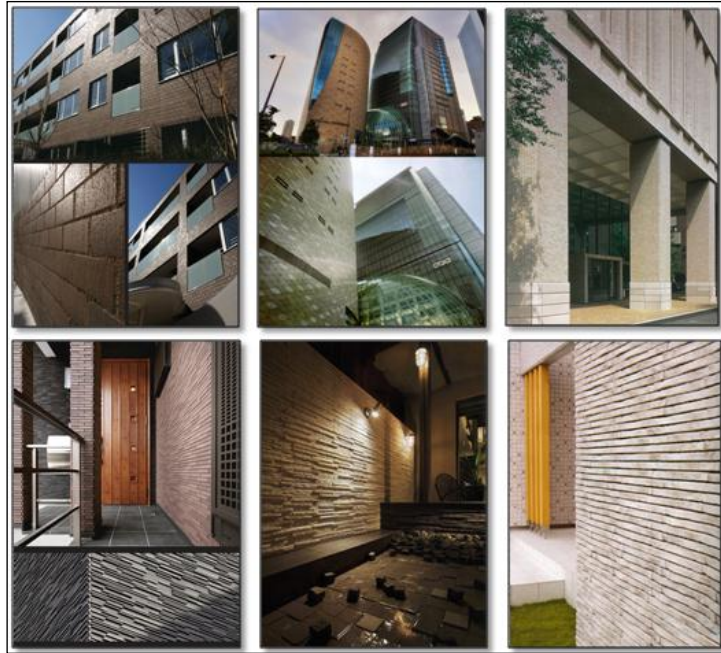
Fotokatalizle kendi kendini temizleyen malzemelerin kullanıldığı en önemli örneklerden biri, 2004 yılında yapılmış olan Şekil 2.22'de görseli bulunan, Almanya'daki MSV Arena Futbol Stadyumu'dur. Yapının sadece ön cephesi için 1500 m<sup>2</sup> cam kullanılmıştır. Kullanılan cam nanoteknoloji ile üretilmiş olan kendi kendini temizleme özelliğine sahiptir. Bunun yanında güneş ışınlarından koruma ve

ses yalıtımı da sağlamaktadır. Yapıda kullanılan nano cam ile temizlik maliyeti oldukça azalmış ve süre aralıkları uzamıştır (Gür, 2010).



Şekil 2.22: Duisburg, Almanya'daki MSV Arena Futbol Stadyumu (url-20).

Günümüzde birçok firma fotokatalik özellikli yapı malzemesi üretimi yapmakta ve bu malzemeler yapılarda kullanılmaktadır. Bina dışında ve iç mekanda kullanılabilen yeşil sertifikalı çevre dostu X- Terior kaplama malzemeleri günümüzde birçok yapıda kullanılmaktadır. Kir tutmayan, kendi kendini oksijen, gün ışığı ve yağmur suyuyla temizleyen, hafif, yanmayan ve buz tutmayan X-Terior cephe kaplama malzemesi yapıştırma olarak da uygulanabildiği için montaj maliyetini de ortadan kaldırmıştır, ayrıca 1700 den fazla renk ve model seçeneği ile yapılarda istenen görselin sağlanmasına katkı sağlar (url-2). Aşağıdaki Şekil 2.23'de X-terior cephe kaplama malzemesinin dış ve iç mekanda kullanılmış örnekleri mevcuttur.



Şekil 2.23: X-Terior cephe kaplama malzemesinin kullanıldığı örnekler (url-2).

### **Kolay Temizlenebilen Nano Kaplamalar**

Kolay temizlenebilme özelliğine sahip yüzeyler kendi kendini temizleme özelliğine sahip değildir, sadece temizlik işleminin daha kolay ve kısa sürede olmasını sağlar. Bu malzemelerin yüzeyleri pürüzlü değildir, aksine düz bir forma sahiptir, daha düşüfobik bir çekim kuvvetine sahip bu yüzeyler suyun damlalar halinde yüzeyden uzaklaşmasını sağlar (El-Samny, 2008).

Kolay temizlenme özelliğine sahip nanomalzemeler yapılarda iç ve dış mekanlarda sıklıkla kullanılmaktadır. Özellikle ıslak hacimlerde bu nanomalzeme kullanılmaktadır. Kolay temizlenebilir yüzeyler, su iten ve yağ iten özelliğe sahiptirler.

### **Filtrasyon (İç Hava Kalitesi ve Temizliği)**

İnsanların en temel gereksinimi barınma ve kapalı alana ihtiyaçtır. Yapılar, bu ihtiyaçları karşılarken olumlu şartları sağlamalıdır. Çağımızda insanlar zamanın büyük bir kısmını kapalı alanlarda geçirmektedirler. Yoğun hava kirliliği, yapıların maruz kaldığı ısı, artan nüfus, yeşil alanların yok edilip betonlaşmanın artması, bozulan ekolojik sistem, kullanılan yapı malzemeleri ve daha birçok etken yapıların hava kalitesini olumsuz etkilemektedir. Günümüzde sürdürülebilir yapılar, nanoteknoloji ile üretilmiş nano yapı malzemeleri, yeşil mimari ile yapılara birçok olumlu özellik eklenmektedir, bunların biri de iç mekan hava kalitesini arttırmak ve temizlemektir.

İç hava kalitesi yapı için önemli faktörlerde biridir ve malzeme emisyonlarıyla yakından ilişkilidir. Yapılarda iç hava kalitesini etkileyen faktörlerin başında; bina yapı malzemeleri, halılar, döşemeler, boyalar, mobilyalar vb.'dir (Darçın, 2008). Özellikle kalabalık kullanıma hizmet veren okul, hastane, alışveriş merkezi gibi yapılarda çok daha önemli olmaktadır. Kapalı alanlarda hava kalitesi insan sağlığı için çok önemlidir. Birçok bulaşıcı hastalık hava yolu ile geçmektedir. Kalabalık mekanlarda özellikle hava kalitesi çok önemlidir. Çeşitli havalandırma ve klima sistemleri kullanılmakta ancak yetersiz gelmektedir Nanoteknoloji sayesinde geliştirilen nanomalzemeler yardımıyla kapalı alan iç ortam hava kalitesi artırılmakta ve hatta temizlenmektedir.



Nanomalzemeler sayesinde iç ortam koşullarının konfor seviyesi oldukça yükselmektedir. Kapalı alan da iç ortam hava kalitesi iki şekilde gerçekleşir bunlardan ilki; nanomalzemelerin kullanımı ile havanın içeriğinde bulunan kirleri ve kötü kokuları kimyasal bileşenlerine ayırarak parçalanması ve iç ortam kalitesinin yükseltmesidir. Diğer şekli ise; nanomalzemelerin havanın içeriğinde bulunan kirleri, kötü kokuları vb. partikülleri hapsederek iç ortam kalitesini yükseltmesidir (Perker, 2010).

Nanoteknoloji sayesinde bina konforları yüksek oranda artmaktadır. İç mekan hava kalitesini arttırmak ve nem dengesini sağlamak, yapılarda kullanılan nanoteknoloji ile üretilmiş kaplama malzemeleri, boyalar ve daha farklı geliştirilmiş sistemlerle gerçekleşmektedir (Gür, 2010). Hava temizleme çalışmaları en çok üzerinde durulan fotokatalitik etki konusu olmuştur ve  $TiO_2$  bu çalışmalarda en çok kullanılan malzeme olmuştur (Yağlı, 2019).

### **Enerji**

Günümüzün en büyük sorunlarından biri enerji kaynaklarının tükenmekte olmasıdır. Yapılan çalışmalar sonucu yenilenebilir enerjinin önemi artmış ve her geçen gün kullanım oranı fazlaşmaktadır. Özellikle yapı sektöründe kendi enerjisini üretebilen binalar günümüzün akıllı binaları olmuştur. Sürdürülebilirlik kavramı yapı sektöründe sıkça duyduğumuz ve enerji tasarrufu konusunda oldukça önemli bir kavramdır. Çağımızın teknolojisi olan nanoteknoloji sayesinde üretilen yapı malzemeleri ile enerji tasarrufu sağlanmakta ve kendi enerjisini üreten binaların yapımı gerçekleşmektedir.

Nanomalzemelerin kullanımı ile çeşitli aydınlatma araçları gelişmektedir. Gelecekte kullanılacak aydınlatma araçlarının tümünün nanoteknoloji ile üretileceği düşünülmektedir. NanoLED gelişmiş özellikleri sayesinde geleneksel aydınlatma araçlarına göre çok daha avantajlıdır.

Amerika Birleşik Devletleri'nde Şekil 2.24'de görseli bulunan, Omar Ivan Huerta Cardoso tarafından yol ve kamusal mekanlar için NanoLED ve nano güneş hücresi kullanılarak tasarlanan ışık ağaç, ultra parlak ışık yayar. Buna rağmen geleneksel led kullanımına çevreye göre oldukça az ısı yayımı gerçekleştirir. Bunun yanında sera gazı oluşumunu azaltır ve enerji tasarrufu sağlar.



Şekil 2.24: Omar Ivan Huerta Cardoso tarafından tasarlanan Işık Ağaç (url-23).

NanoLED kullanılarak tasarlanan bir yapı da Şekil 2.25’de mevcut olan, Mikou tasarım ofisi tarafından Brezil’ya tasarlanmış olan deniz feneri kulesidir. Bu yapıda da olağanüstü ışık yayılımı vardır. Isı yayılımı oldukça azdır (Bang, 2015).



Şekil 2.25: NanoLED kullanılan deniz feneri kulesi (url-24).

Nanoteknoloji sayesinde enerji tüketimi büyük ölçüde azalmaktadır. Nanoteknoloji ile üretilen OLED’ler sayesinde geleneksel aydınlatma araçlarına göre enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Daha az enerji harcayarak daha verimli aydınlatma sağlanması nano aydınlatmalar ile gerçekleşmektedir. Enerji tüketimindeki azalma

ile karbondioksit salınımını azaltarak doğal çevrenin daha sağlıklı olmasını sağlayacaktır.

OLED'ler çok ince ve esnek bir yapıya sahiptirler. Bu özelliği sayesinde her türlü yüzeye kolaylıkla uygulanabilmektedir. Çoklu renk yelpazesine sahip olmaları tüketici ve üreticilerin ilgisini çekmektedir (Elvin, 2007).

Kieran ve Timberlake ortaklarının tasarladığı Smart Wrap cephe sisteminin kullanıldığı Pavilion Binası yenilikçi cephe sistemi ile karşımıza çıkmaktadır (Cengiz, 2016). Şekil 2.26'da görseli bulunan bina, kaplamasında ışık emen ve ısı depolayan akıllı malzemeler; film ve organik ışık emen diotlar (OLED) ile organik fotovoltaiik hücreler (OPV); film ile faz değiştiren malzemeler (PCM) birlikte kullanılmıştır (Ritter, 2007).



Şekil 2.26: Smart Wrap cephe sisteminin kullanıldığı Pavilion Binası (url-25).

Günümüzde yapılan araştırmalar elektrik enerjisinin %20'sinin binalarda aydınlatma için kullanıldığını göstermektedir. Bunun yanında binaların kullandığı, diğer konfor koşullarını sağlamak için ısıtma, soğutma vb. gibi enerji de dünyada tüketilen enerjinin büyük bir oranını kaplamaktadır. Nanoteknoloji ile üretilmiş malzeme kullanımı ile binaların tükettiği enerji düşürülmeye çalışılmaktadır. Akıllı nanomalzemeler, akıllı binalar, sürdürülebilir ve kendi enerjisini üreten yapılar günümüzde önemini korumakta ve mimari tasarımları etkilemektedir.

Aydınlatma üzerine yapılan çalışmalarda kullanıcı konforunu değiştirmeden, enerji tüketimini azaltmak nanoteknolojinin geliştirdiği aydınlatma ürünleri ile gerçekleşmektedir. Kullanılan nanomalzemeler enerji tüketimini oldukça azaltmaktadır. Yapılar tasarım aşamasında buna dikkat ederek ve pasif sistemler olarak tasarlanmalıdır, bunun için;

-Yer seçimi; binaların birbirine göre konumu,

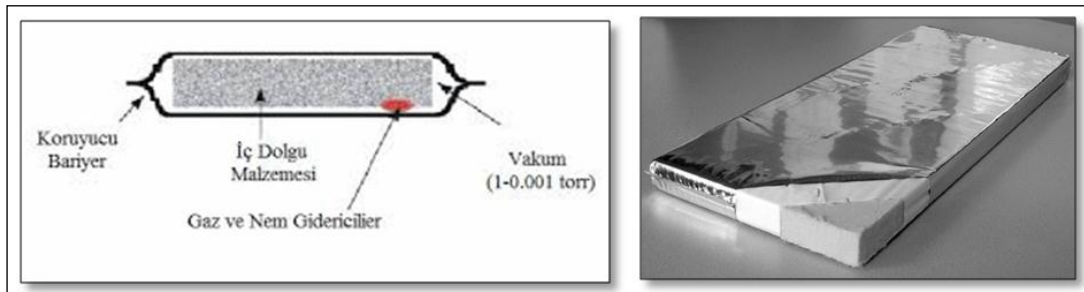
-Bina ölçeğinde; bina formu, binanın baktığı yönler,

-Hacim ölçeğinde; hacim boyutları, biçimi ve yüzey özellikleri,

-Yapı elemanı ölçeğinde; bina kabuğu, cephenin sahip olduğu saydamlık oranı, doluluk-boşluk ilişkisi, pencerelerin konumu ve biçimi, pencerelerin ışık geçirgenliği, yansıtıcılığı, doğrama çarpanı ve bakım faktörleri hacimde elde edilen günışığı miktarları ve dağılımı önemlidir (Kutlu ve Manav, 2010).

Nanoteknoloji ile üretilmiş nano aydınlatmalar bina kalitesini artırarak kullanıcı beklentilerini karşılamaktadır.

Nanoteknoloji ile enerji verimliliğinin bir diğer kolu da yalıtım malzemelerinin nanoteknoloji ile üretilmesidir. Nanoteknoloji ile üretilmiş vakumlu izolasyon panelleri aerogel ve faz değiştiren yapı malzemeleri yapılar da enerji korunumu açısından son derece önemlidir (Perker, 2010). Vakumlu izolasyon panellerinde SiO<sub>2</sub> nanopartiküllerinin kullanım ile ısı yalıtımı daha iyi sağlanmaktadır.



**Şekil 2.27:** Vakumlu izolasyon paneli iç ve dış görüntüsü (Kumlutaş ve Yılmaz, 2008).

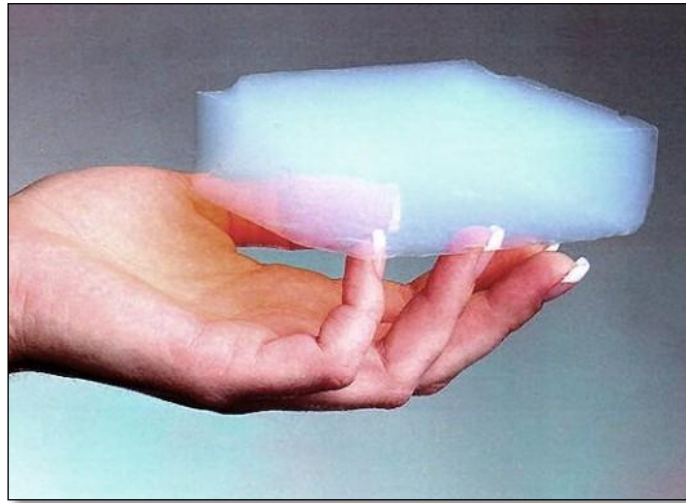
Uzun yıllar binalarda 10 cm kalınlığında ekstrüde polistren köpük kullanılmıştır ancak yapılan çalışmalarda bu kalınlığın 30-50 cm arasında olması gerektiği saptanmıştır (Kumlutaş ve Yılmaz, 2008). Nanoteknoloji sayesinde üretilen Şekil 2.27'de görseli mevcut olan vakumlu izolasyon panelleri çok daha ince üretilmekte ve geleneksel ısı yalıtım malzemelerine göre çok daha üstün ısı performans göstermektedir (Perker, 2010). Nanoteknoloji maksimum ısı yalıtımını minimum et kalınlığı ile sağlamıştır (Gür, 2010).

Nanoteknoloji ile üretilen yalıtım malzemeleri geleneksel malzemelere göre %30 daha fazla enerji tasarrufu sağlar. Bu yalıtım malzemeleri katı paneller arasına sıkılarak veya ince film olarak her türlü yüzeye yapıştırılarak kullanılır (Candemir vd., 2012).

Vakumlu ısı yalıtım panelleri binalarda; tavan, taban ve yan duvarlar uygulamalarında, dış cephe uygulamalarında, çatı ve tavan arası uygulamalarında, teras zemini uygulamalarında, pencere yalıtımı uygulamaları, hazır prefabrik beton panel uygulamalarında, hazır kompozit panel uygulamalarında kullanılmaktadır (Kumlutaş ve Yılmaz, 2008).

Nanoteknoloji tarafından üretilmiş son derece gözenekli ve yüksek yüzey alanına sahip olan aerojeller, çok hafif katı malzemelerdir. Aerojellerin gözenekli yapısının yanında, yüksek yüzey alanına sahip olmaları ve düşük termal iletkenliği sayesinde yalıtım malzemesi olarak kullanılır bunun yanında, katalizörlerde ve sensör teknolojilerinde kullanılmaktadır (Gurav, Jung, Park, Kang, ve Nadargi, 2010).

Aerojel içerisindeki sıvı bileşeni hava ile değiştirilmiş olan silikon tabanlı katı malzemelerdir ve yüksek termal yalıtım sağlar (Bozoğlu Demirdöven ve Karaçar, 2013). Silika aerojeller nanometre boyutundaki gözenekleri sayesinde çok iyi ısı yalıtım sağlarlar. Bunun yanında Şekil 2.28'de görüldüğü gibi, silika aerojeller, gözenekli yapıdaki malzemelerde görülmeyen şeffaf olma özelliğine sahiptir. Bu özellik sayesinde kullanım alanı çok geniştir ve çift katmanlı cam yapımında kullanılması hedeflenmektedir.



Şekil 2.28: Nano Aerojel (url-26).

Aerogeller ayrıca, duvar ve çatı panellerinde kullanılmaktadır. Estetik açıdan çekici ve mimari tasarımlarda şeffaf ve hafif olmasından dolayı özgürlük sağlar. UV ışınlarına dayanıklıdır ve renk değiştirme yapmaz.

Aerogel'in yapı sektöründe; yapısal ve inşaat çözümleri, daha önce mümkün olmayan yerlerde yalıtım sağlayarak binaların enerji verimliliğini arttırmaktadır. Nano aerogeller binalarda hiçbir konfordan fedakarlık etmeden ısı verimliliği olağanüstü korur ve bina estetiğinde ve yapımında mimara ve yapı sahiplerine çok kolaylık sağlar. Özellikle çatı ve cephe sistemlerinde şeffaf ve hafif olması çok büyük avantajdır (Mohammed, 2015).

Aerogellerin yapı sektöründe kullanımının sürdürülebilirliğe katkısı oldukça fazladır. Bunlar:

-Malzeme ve Kaynak Korunumu: Aynı işlevi daha ince malzemeyle sağlamaktadır,

-Aydınlık İç Mekan: Gündüz saatlerinde aydınlatma masraflarını düşürmektedir,

-Hafiflik: Deprem yüklerini azalttığı için depreme daha dayanıklıdır,

-Alandan Tasarruf: Kısıtlı m<sup>2</sup> kullanımında ısı yalıtımı açısından alan kaybını engeller, üstelik yarı-şeffaf olarak engellemektedir,

-Karbon salınımını azaltarak çevreye zararı önlemektedir,

-Modüler kullanımı mümkün olduğu için daha ekonomik ve montaj sürelerini çok kısaltmaktadır,

-Konutlarda çok ince cidarlarla akustik konforu sağlamaktadır (Altın ve Orhon, 2014).

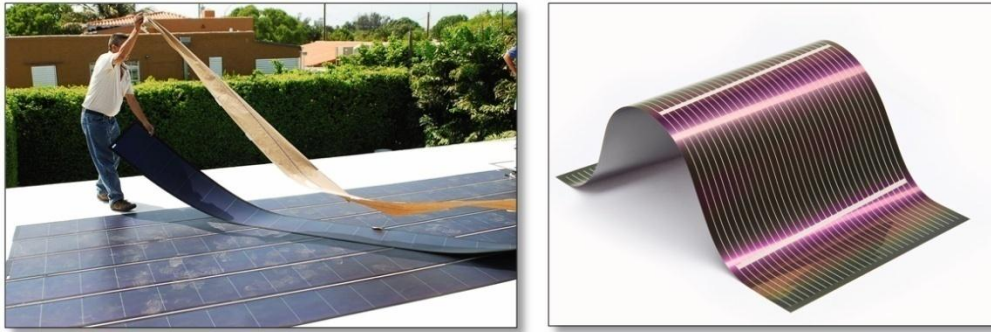
Nanoteknoloji ile üretilmiş ince film kaplamalar geleneksel malzemelere oranla çok incedir bu da yüzeylere kullanımda büyük avantaj sağlar. Binalarda özellikle camlara uygulanan ince film kaplamalar ısı kontrolünü sağlar. İnce film kaplamalar ile yapılarda güneş ışığının etkisi sönümlendirilerek geleneksel yöntemlere göre bina içince 2-3 derece daha soğuk bir hava elde edilir ve yaz

aylarında soğutma masrafı azaltılmış olur (Sev ve Ezel, 2014). Ayrıca ince film kaplamalar yansımaya engellemekte çok başarılıdırlar.

Yapılarda nano ince film kaplamalar; yalıtım, boya ve püskürtme şeklinde uygulanabilir. Geleneksel yöntemlere göre oldukça yüksek performans gösterirler ve enerji tasarrufu sağlarlar.

Enerji tüketiminin fazla olması ve doğal kaynakların tükenme tehdidi yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini ve kullanımını arttırmıştır. Enerji verimli, kendi enerjisini üretebilen çevre dostu yapılar günümüzün binalarının özellikleridir.

Nanoteknoloji sayesinde üretilen güneş enerjisini kullanan ve depolayan malzeme üretimi gerçekleşmektedir. Nanoteknoloji ile silikon tabanlı fotovoltaiik piller, ince film ve organik güneş pilleri geliştirilmiştir, bu ürünler kullanım alanları ve maliyet açısından çok avantajlıdır (Candemir vd., 2012).



Şekil 2.29: Nanofotovoltaik güneş pili (url-27).

Nanoteknoloji ile üretilmiş nano güneş pilleri geleneksel güneş pilinden oldukça küçük, enerji verimi açısından oldukça fazla ve güneş ışınlarını elektrik enerjisine döndüren bir sistemdir (Ayçam ve Kanan, 2009). Hafif olması binaya ekstra bir yük eklemediği gibi, nano boyutta olduğu için mimara tasarım anlamında herhangi bir kısıtlama getirmemektedir (Ayçam ve Kanan, 2009). Silikon tabanlı güneş pilleri maliyeti oldukça düşük verimliliği yüksek olduğu için kullanımı oldukça rahattır.

Nano fotovoltaiik güneş pillerinin (NanoPV) avantajları ve dezavantajları aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir;

-NanoPv teknolojisi ile mimarlar esnek güneş pillerini rahatlıkla kullanarak tasarımda istenen formu oluşturabilmektedir,

-Kendi kendisini yenileyebilecek ve temizleyebilecek ve böylece bakım-işletim maliyeti ortadan kalkacaktır,

-NanoPV teknolojisi sayesinde güneş pili verimi en az %8-10 artmaktadır,

-Nanoteknoloji ile üretilen güneş panelleri çok hafif olacağı için binaya olan statik yükünün neredeyse ihmal edilecek noktada olmaktadır,

-İşsizliği azaltacak ve yeni iş sahaları oluşmaktadır,

-Nanometrik boyutlarda üretim yapmak ve bu ölçeği gözlemlemek çok zor olduğundan, özel üretim yöntemleri gerekmektedir,

-Bu teknoloji ile üretilen güneş panellerinin ilk yatırım maliyeti diğer güneş panellerine göre oldukça fazladır,

-Bu alanda çalışabilecek teknik elemanların yetişmesi için uzun yıllar gerekmektedir (url-28).

Güneş enerjisinin yapılarda kullanımı her geçen gün artmakta ve ilerleyen teknoloji sayesinde kolaylaşmaktadır. Çatı, pencere, duvar gibi tüm yüzeylere güneş enerjisi kullanabilen ve depolayabilen nanomalzemeler üretilmekte ve geliştirilmektedir.

### **Yapıştırıcılar**

Günümüzde inşaat sektörünün vazgeçilmez malzemelerinden biri yapıştırıcılardır. Geleneksel yapıştırıcı malzemeler içeriğindeki zararlı bileşenlerle insan sağlığına ve çevreye zarar vermektedir, nanoteknoloji ile geliştirilmiş yapışkan yüzeyli malzemeler özellikle artık malzeme üretmeyerek çevreye zarar vermemektedir.

Daha önce lotus yaprağından esinlenerek yapılan kendi kendini temizleyen nanomalzemelere örnek olarak şimdide yine doğadan esinlenilerek yapıştırıcı malzeme geliştirilmiştir. Geko kertenkelesinin ayaklarının üstün tutunma yeteneği nano yapıştırıcı üretiminde ilham kaynağı olmuştur. Şekil 2.30'da Gekoların istedikleri yüzeyde asılı kamasını sağlayan ayak yapısının mikroskobik görüntüsü mevcuttur ve bunu örnek alarak Rensselaer Polytechnic Enstitüsü'ndeki araştırmacılar Geko nanotüp bandı üretmişlerdir (Candemir vd., 2012).





**Şekil 2.30:** Geko kertenkelelerinin ayaklarının nano boyutta görüntüsü (Sakarya Üniversitesi Ders Notları).

Almanya Max Planck Enstitüsü araştırmacıları ise yapıştırıcı malzeme olmaksızın, malzemenin kendiliğinden yapışma özelliğinin olduğu ürün geliştirmişlerdir. Geliştirilen malzemeler nano boyutta kıllar sayesinde herhangi bir zemin üzerine yapıştırıcıya gerek kalmadan tutunmaktadır.

### **Nanosensörler**

Nanosensörler geleneksel kullanılan sensörlere göre çok daha küçük olması nedeni ile kullanım alanı oldukça geniştir. Daha hızlı ve daha doğru verilere kaydeder. Nanosensörler malzeme içlerine gömülerek kullanılır. Boyutları oldukça küçük olduğu için kullanımı çok rahattır. Bunun yanında yapıyı etkileyen nem, sıcaklık, titreşim, çürüme gibi faktörler rahatlıkla izlenebilecek ve yapının bakım ve güvenliği rahatlıkla sağlanabilecektir (Mohamed, 2015). Esnek ve nano boyutta oluşu kullanımını kolaylaştırmaktadır.

Nanosensörler yapıların inşaat sürecinden itibaren kullanılmakta; malzeme performanslarını, kullanıcı etkilerini, çevrenin etkilerini vb. gibi farklı birçok konu hakkında bizlere bilgiler toplar. Nanosensörler ile; kullanılan taşıyıcı sistem performans ölçümü, ısıtma ve soğutma sistemi, pencerelerin otomatik açılıp kapanması, uzaktan yapıları kontrol edip yapıda herhangi işlevi açıp kapatma fonksiyonları gerçekleşir.

Nanoteknolojinin yapı sektöründe tasarım aşamasından itibaren uygulama alanları oldukça geniştir. Tasarım aşamasında nanomalzemelerin kullanımı mimarları rahatlatmakta ve özgürleştirmektedir. Yapım aşamasında nanomalzemeler sayesinde hız, maliyet ve enerjiden tasarruf sağlanmakta insan gücüne olan bağımlılık azalmaktadır. Yapı sektöründe özellikleri geliştirilmiş nanomalzemeler, sağladığı özellikleriyle birlikte tablo 2.2’de genel olarak belirtilmiştir.

**Tablo 2.2:** Nanoteknolojinin inşaat sektöründe uygulama alanları (Candemir vd., 2012).

<i>Başlıca alanlar</i>	<i>Nanoteknolojik ürünlerin özellikleri</i>	<i>Ürünler</i>
Yalıtım	<ul style="list-style-type: none"><li>▪Oldukça yüksek yüzey-hacim oranı nedeniyle verimli yalıtım sağlaması.</li><li>▪Geleneksel ürünlere göre %30 daha verimli.</li><li>▪Toksik etkisi düşük ve yenilenemeyen kaynaklara bağımlılığı az.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪Aerogel</li><li>▪İnce film yalıtımı</li><li>▪Yalıtım amaçlı kaplamalar</li><li>▪Yalıtımlı seramik yüzeyler</li></ul>
Kaplamalar / Boyalar	Nanopartiküller farklı yöntemler kullanılarak malzemelerin üzerine bazı fonksiyonel özellikler kazandırmak amacıyla uygulanmaktadır.	<ul style="list-style-type: none"><li>▪Kendi kendini temizleyen kaplamalar</li><li>▪Leke tutmayan kaplamalar</li><li>▪Kirlenmeyen yüzeyler</li><li>▪Sis ve buzlanma karşıtı kaplamalar</li><li>▪Anti mikrobiyel kaplamalar</li><li>▪UV filtresi</li><li>▪Korozyon karşıtı kaplamalar</li><li>▪UV koruyucu</li><li>▪Nem direnci</li></ul>
Yapıştırıcılar	Yapışkan yüzeyli malzemeler, geleneksel kimyasal yapıştırıcıların yerini almaktadır. Bunlar kullanılmayan / artık malzeme sorununu ortadan kaldırmaktadır. Aynı zamanda daha güçlü yapıştırıcılardır.	<ul style="list-style-type: none"><li>▪Sentetik geko (nano kıllar)</li></ul>
Güneş enerjisi	Enerji üretimini verimli hale getirirken malzeme ve maliyet kullanımını azaltır.	<ul style="list-style-type: none"><li>▪İnce film güneş enerjisi nano teknolojisi</li><li>▪Yeni güneş enerjisi nano teknolojisi</li></ul>
Hava temizleme	İstenmeyen kokuları ve havada uçan zararlı elementlerin ortadan kaldırılması için filtre edici nanopartiküller.	
Su temizleme	Suyun atıklardan, tuzdan arındırılması, saflaştırılması ve içindeki zararlı maddelerden temizlenmesi.	
Aydınlatma	N ve P tipi yarı iletken katmanlar arasını sandviç edilmiş aktif katman tabakasında ve bunların elektriksel bağlantılarından oluşan opto elektronik eleman.	<ul style="list-style-type: none"><li>▪OLED'ler</li><li>▪Aydınlatma, görüntü teknolojileri</li></ul>
Yapısal malzemeler	Malzemelerin direncinin, esnekliğinin, dayanıklılığının ve ömrünün artırılması bunun yanında yıpranma oranının, kullanılan malzemenin hacim ve ağırlığının azaltılması.	<ul style="list-style-type: none"><li>▪Beton</li><li>▪Çelik</li><li>▪Ahşap</li><li>▪Yeni yapısal malzemeler.</li></ul>
Yapısal olmayan malzemeler	Isı ve su kayıplarının azaltılması, dayanıklılığın artırılması.	<ul style="list-style-type: none"><li>▪Cam</li><li>▪Plastik ve polimerler</li><li>▪Taşıyıcı olmayan duvarlar</li><li>▪Çatı penceresi</li><li>▪Çatı</li><li>▪Seramik</li></ul>

### 2.3 Nanoteknolojik Yapı Malzemeleri ve Sürdürülebilirlik

Sürdürülebilirlik, güncel ihtiyaçlarımızı karşılarken gelecek kuşakların kendi ihtiyaçlarını haklarına zarar vermeden yaşamak olarak açıklanabilir. Sürdürülebilirlik

değişen ve gelişen hayat standartlarına kolaylıkla uyum sağlayarak ana fikri olan insanın gereksinimlerini her zaman karşılayabilen ve doğaya saygı duyan bir eylemdir (Plessis, 2002).

İnsanlar sanayi devrimi ve sonrası artan nüfus, gelişen teknoloji, kentleşme ve sanayileşmenin artması, yaşam tarzlarının değişmesi, doğal kaynakların gereksiz ve bilinçsiz şekilde kullanılması gibi nedenlerden dolayı, doğal kaynakların tükenme tehdidi ile karşı karşıya kalmışlardır. Özellikle sanayi devrimi sonrası fabrikaların artması, yeşil alanların azalıp yerini betonlaşmaya bırakması ekolojik sistemi olumsuz etkilemiştir.

Sürdürülebilirlik temelinde var olan düşünce; ekolojik döngüyü bozmadan, insanların ihtiyaçlarını karşılarken gelecek nesillerin hakkına girmeden, kaynak kullanımında en verimli ve tüketmeden kullanmayı hedefler. Artan nüfusun etkisi enerji kullanımında çok önemlidir. İnsanlar belli bir dönem teknolojinin verdiği güç ile doğayı tahrip ederek yapay bir yaşam alanı oluşturmuş ve bunun adına modernizm, lüks hayat vb. sıfatlarla gösterişli hale getirmişlerdir. Kaynak kullanımına dikkat etmeksizin, beton, çimento, çelik gibi yapım sistemlerini kullanarak sadece popüler olan yaşam tarzında yaşamışlardır. Geçmişte tamamen doğa dostu kerpiç, yığma gibi yapım sistemleri kullanılmaktaydı. Sanayi Devrimi ile gelişen teknoloji doğayı katletmeye başlamıştır. Binalar çok fazla kaynak kullanırlar ve atık üretirler, bunun yanında binayı oluşturan her türlü malzemenin imalatı sırasında büyük ölçüde kirlilik ve atıklar oluşur (Civan, 2006). Binalar ve binaları destekleyen altyapı açık alanları tüketir ve canlıların yaşam alanlarının yerlerini değiştirir (Mendler ve Odell, 2000).

Değişen iklim şartları, küresel ısınma, su kaynaklarının azalmakta olması, buzulların erimesi vb. gibi birçok doğal olayı insanların çevre konusunda bilinçlenip önlem almak için gerekli çalışmalar başlatmasına neden olmuştur. Sürdürülebilirlik tüm bunları kapsayan ve doğanın tahribatını engelleyen bir kavram olarak yüzyılın konusu haline gelmiştir. Sürdürülebilirlik ülkelerin ekonomik ve teknolojik gelişmelerine paralel olsada hemen her sektöre girmiştir.

Enerji kullanımını açısından bakıldığında inşaat sektörü ülke bazında kullanılan enerjinin büyük bir kısmını kaplamaktadır. Sürdürülebilirlik kavramının inşaat sektörü ile birlikte ele alınması yakın geçmişe dayanmaktadır. Özellikle

nanoteknolojinin gelişmesi ile yapı malzemelerindeki değişim, enerji tüketimi ve korunumu açısından önemlidir.

Günümüzde iklimsel olaylardaki bozukluğun en büyük sorumlusu modern inşaat malzemesi olan beton ve çeliktir (Civan, 2006). Bina malzeme ve ürünlerinin üretim ve yapım aşamasında büyük enerji kullanımı ve çevresel kirlilik ortaya çıkmaktadır. Nanoteknolojinin gelişmesi ile inşaat malzemelerindeki nano üretim sayesinde bu dezavantajlarda ortadan kaldırılmaktadır.

Selman, 1995 yılında, sürdürülebilirliği; ürün ve sürecin etkilediğini söylemiş ve ona göre sürdürülebilirliği etkileyen 3 temel maddeyi belirtmiştir. Bunlar;

- Kaynak kullanımının verimli şekilde yapılması gerektiği,
- Yenilenebilir kaynak kullanımının önemi ve insan ile doğanın uyumunun gerekliliği,
- Her türlü tutum ve davranışlarda radikal değişiklikleri uygulamaya geçilmesidir (Hoşkara, 2007).

Nanoteknolojik yapı malzemelerinin kullanımı ile sürdürülebilirliği etkileyen faktörler olumlu yönde etkilenmektedir. Nanoteknoloji sayesinde yapı sektöründe daha az enerji harcayarak, daha az doğal kaynak kullanımı ile daha verimli malzeme üretimi ve kullanılması gerçekleşmektedir.

Nanoteknolojik yapı malzemelerinin gelişmesi ile nanomimarlık kavramı ortaya çıkmış ve sürdürülebilirlik kapsamında ele alınmaktadır. Mimarlıkta sürdürülebilirlik yapının tasarım aşamasından başlanarak yapım sürecine kadar kullanılan malzeme ve üretim yolları, yapım teknikleri, ve kabul edilen prensipler ile etkileşim içindedir. Bu prensipler;

- Yapı yeri ve yapı üretim kaynakların etkin kullanımı,
- Enerjinin etkin kullanımı,
- Suyun etkin kullanımı,
- Malzemenin etkin kullanımı,
- Yapı içi konforu ve insan sağlığının gözetilmesi,

-Atık yönetimi olarak sıralanabilir (Kaya, 2012).

Nanomimarlık kavramı da tıpkı sürdürülebilirlik gibi çevre dostu yapı üretimi görüşünü savunmaktadır. Nano boyutta malzeme içeriğini değiştirerek enerji, maliyet, insan gücü gibi farklı birçok konuda tasarruf sağlamaktadır.

Sürdürülebilir yapı; sürdürülebilirlik kavramının başlıca ilkerinin, binanın tasarım evresinden itibaren inşasına kadar, ayrıca inşa edilmesiyle hammaddelerin çıkarılmasından yararlı hale getirilmesine, yıkım ve yıkım sonucu ortaya çıkan atıkların yönetimine kadar geçen süreçte kapsamlı ve sistemli bir inşaat döngüsüne uygulanmasıdır (Civan, 2006). Sürdürülebilir binanın karşılığı olarak; yapı malzemelerinin kalitesini arttırmak, inşaat işlemlerinin güvenliğini arttırmak, kaynakların kullanımını azaltmaktır ve bu hedefleri gerçekleştirmek dolaylı ya da doğrudan yapılıdır (Plessis, 2002). Bunlar;

-Bina malzemesi israfının azaltılması,

-Bina malzemesi olarak geri dönüştürülmüş atıkların kullanımının artırılması,

-Binalarda enerji verimliliğinin sağlanması,

-Suyun idareli kullanımının sağlanması,

-Bina dayanıklılığının artırılması ve bakım aralıklarının uzamasıdır (Plessis, 2002).

Nanoteknolojik yapı malzemelerinin kullanımının yaygınlaşması temelde temelde yatan sürdürülebilirlik ilkelerini de karşılamaktadır.

Ülke ekonomisinde, yapı sektörünün önemi büyüktür. Gelişmekte olan ülkeler ihtiyaçlarını karşılamak için inşaat sektörüne yönelmişlerdir. Artan ve gelişen ülke ihtiyaçları için ulaşım, enerji santralleri, havalimanları, barajlar, köprüler, yerleşim alanları vb. alanlarında projelere ihtiyaç duyarlar ve bu ekonomik anlamda büyük bir paya karşılık gelir (Pamuk ve Kuruoğlu, 2016). Günümüzde de ülkelerin kalkınması konusunda en önemli etmenlerden biri olan inşaat sektörü bünyesinde bulundurduğu ekonomik, toplumsal ve çevresel birçok etmen nedeniyle

sürdürülebilirlik kavramı açısından oldukça önemli bir anlam teşkil etmektedir (Tekin, Eşit ve Varınca, 2014).

Sürdürülebilir yeşil binalar geleneksel yapılara göre daha verimli, daha dayanıklı ve daha kullanışlıdır. Yeşil bina üretiminin geleneksel yapıya göre maliyeti, ilk etapta %2 oranında daha fazladır ancak bina ömrü boyunca 10 kat daha fazla kazanç sağlar (Kats, 2008).

Kendi kendini temizleyen malzeme kullanımı, daha az ısı yayan ve ışık kalitesi daha iyi olan nanoLED kullanımı, ömrü uzun malzeme kullanımı gibi daha birçok geniş malzeme yelpazesi ile nanomalzemeler yeşil nanomimarlıkta insan ve çevre için birçok olumlu özelliği üzerinde barındırır.

Nanomalzemeler sayesinde binaların onarımını ve yükselmesini kolaylaştırmıştır, bunun yanında sökülüp takılabilen ve geri dönüştürülüp yeniden kullanılabilen nanomalzemeler ile yeşil nanomimarlığın temel bileşenlerindedir (Bozoğlu Demirdöven ve Karaçar, 2015).

Ülke ekonomilerini belirleyen büyük dilim inşaat sektörüne aittir ve nanomalzeme kullanımı ile dünyada kabul edilmiş çeşitli kurumlar tarafından, yapı sertifikaları verilmektedir. Bu sertifikalara sahip yapılarda nano yapı malzemesi kullanımı oldukça yaygındır. Bunlardan biri olan LEED sertifikası (Enerji ve Çevre Dostu Tasarımda Liderlik), Amerikan Yeşil Binalar Konseyi (USGBC) tarafından oluşturulmuş ve geliştirilmiş Dünyada ve Türkiyede’de geçerliliği kabul edilen ve tüm yapı türleri için geçerli olan yeşil bina sertifikasyon sistemidir (url-17). LEED sertifikasına sahip, yeşil nanomimari tasarımına örnek yapı örnekleri aşağıda belirtilmiştir.

### ***The Bertram ve Judith Kohl Binası***

The Bertram ve Judith Kohl Binası 2010 yılında Amerika’da inşa edilmiştir. Mimar Westlake Reed Leskosky’nin tasarımı olan bina konservatuarın müzik bölümüne hizmet vermektedir. Bina LEED gold sertifikasına sahiptir ve yeşil nanomimarlık örneği sergilemektedir. Kullanılan akustik yalıtımlı sıva sayesinde ses yalıtımı sağlanmakta, dış cephede kullanılan TiO<sub>2</sub> nanoparçacık katkılı alüminyum kaplama fotokatalitik özelliğidir (Orhon, 2014). Kendi kendini temizleme özelliği sayesinde enerji ve su tasarrufu sağlayarak temizlik maliyetini düşürmüştür.



Şekil 2.31: Bertram ve Judith Kohl Binası (url-18).

### *Süpermarket, Augusta, Maine*

Amerika’da bulunan yapı Mimar Rick Ames tarafından tasarlanmıştır. LEED platin sertifikasına sahiptir. Yapıda aydınlatma için kullanılan Wasco Lumira Aerojel termal panelleri ses yalıtımının %25-70 arasında ısı kaybını %61-71 arasında azalmaktadır ve suya dayanıklıdır (Cengiz, 2016).



Şekil 2.32: Nano aerojel kullanımı (url-21).

### *Yale Üniversitesi Heykel Binası*

Amerikada 2007 yılında inşa edilen yapının pencerelerinde nano aerojel kullanımı ile enerji korunumunu sağlamaktadır. Doğal ışık kullanımı ile sera gazı azaltılmıştır ve bina LEED platin sertifikasına sahiptir (Cengiz, 2016).



**Şekil 2.33:** Yale Üniversitesi nano aerojel kaplamalı pencere kullanımı (Cengiz, 2016).

### *Omena Evi, Abd*

Mimar Danny Foster tarafından 2009 yılında yapılan konut LEED gold sertifikasına sahiptir. Yapıda kullanılan nano duvar sayesinde serin hava pasif olarak bütün evin içine alınmaktadır, döşemelerde yenilenebilir bambu kullanılmış ve üst plakalar geri dönüşüm ile elde edilmiş gazetelerden yapılmıştır (Cengiz, 2016).



**Şekil 2.34:** Nano duvar kullanımı (url-18).



### 3. NANOTEKNOLOJİK YAPI MALZEMELERİNİN TÜRK YAPI SEKTÖRÜNDE KULLANIMI

Geçmişte düşük verimlilik ve ucuz işçilik ile özdeşleşmiş olan inşaat sektörü 21. yüzyılda kentleşme ve kentsel dönüşüm, inovasyon kapasitesi, enerji verimliliği, bölgesel kalkınma ve yeşil büyüme kavramları ile sürdürülebilir ekonomik kalkınmanın başta gelen sektörlerinden biri haline gelmiştir (Aksoylu ve Medetoğlu, 2018). Günümüzde yapı sektörü bilim ve teknoloji ile ilintilidir ve nanoteknolojik yapı malzemelerinin kullanımı bu bağlamda önemlidir.

Ülke vizyonu ve ekonomisi için kullanılan nano yapı malzemelerinin çeşitliliği ve sürekliliği önemlidir. Yapılarda nanoteknolojik malzeme kullanımı 1990'lı yılların ortalarında görülmeye başlanmıştır (Bozoğlu Demirdöven ve Arditi, 2012). Günümüzde küçük ve büyük ölçekli firmalarda nanoteknolojik malzeme üretimi gerçekleşmekte ve tüm sektörlerde kullanılmaktadır.

İnşaat sektörü geliştirmekte olan ülkelerde ülke ekonomisini doğrudan etkiler. 2025 yılına gelindiğinde yapı sektörünün toplam ekonomideki payının gelişmiş ülkelerde yüzde 10, geliştirmekte olan ülkelerde ise yüzde 17 seviyesine ulaşacağı tahmin ediliyor. İnşaat sektörünün kendine bağlı 200'den fazla alt sektörü içinde barındırması, sağladığı istihdam ile ülkeler için ekonomik açıdan önemi büyüktür.

2012 yılı verilerine göre inşaat sektörü, 7,5 trilyon dolarla dünya üretiminin %13,4'lük kısmını, OECD ülkelerinde gayrisafi hasılanın %6,47'sini ve Avrupa ülkelerinde ise gayrisafi hasılanın %10'unu oluşturmakta bunun yanında, Global Construction 2020 raporunda, 2020 yılında dünya çapında %70 büyüme ile beraber 12,7 trilyon dolar ile üretimin %14,6'sını oluşturması beklenmektedir (Candemir vd., 2012).

İnsanlığın en eski dönemlerinden itibaren içgüdüsel olarak barınma isteği, yapılaşmayı önemli kılmıştır. Bunun yanında korunma, kültürel gelişmeler, yaşanan olaylar inşaat sektörünü önemli kılmaktadır.

Yapı Endüstri Merkezi 2017 yılı raporunda, inşaat sektöründeki büyümeyi etkileyen unsurları sıralamıştır. Bunlar;

-Nüfus artışı,

-Hanelerdeki nüfus sayısının azalması,

-İç göç,

-Devam etmekte olan pozitif ekonomik büyümedir (Türk Yapı Sektörü, 2017).

Sanayi devriminden sonra yaşanan kentlere göçler, beklenti artışları ve modernleşme adı altında plansız betonlaşma yapı sayısında artışa neden olmuştur. Geleneksel yapım yöntemleri; kerpiç vb. kullanımı yerini betona bırakmıştır. Günümüzde ülkelerin büyümesi ve ekonomilerinin güçlenmesi ile, yapılardan beklenti artmakta bunun sonucunda, ihtiyaç duyulan bina ve altyapı hizmetleri de paralelinde artmaktadır. İnşaat sektörü ülkelerin gelişimini ve ekonomisi belirleyen temel faktörlerin başında gelir. Yapımda kullanılan malzeme ve enerji tüketimi de ülke giderleri açısından büyük bir paya sahiptir. Fazla kaynak kullanımı, açığa çıkan atık miktarının çok olması, doğaya ve diğer canlılara verilen zarar ile inşaat sektörünün dünya için etkisi fazladır. Çağımızın teknoloji olan nanoteknolojinin daha önceki bölümlerde de bahsettiğimiz gibi yeni malzeme üretimi ve enerji tasarrufu konusunda ülke ekonomisi açısından önemi büyüktür. Nanoteknolojinin geniş bir uygulama yelpazesinin olduğunun ve topluma yarar sağlama açısından büyük bir potansiyele sahiptir (url-22).

AB tarafından hazırlanan inşaat sektörünün Avrupa'daki 2030 vizyon çalışması, inşaat ve inşaat malzemeleri sektörünün geleceğini belirleyecek iki temel faktörü; sürdürülebilir yapılanma ve kullanıcı ihtiyaç ve beklentilerine uygun bina üretimi olarak belirlemiştir (ECTP, 2005). Bu beklentiler üretilen nanomalzemeler ile çok daha kolay gerçekleştirilebilmektedir. Nano yapı malzemeleri ile enerji, zaman, insan gücü, maliyet gibi birçok alanda tasarruf gerçekleştirilir. Nanoteknolojinin sunduğu imkanlar ile malzemelerin moleküler yapısını inceleyip üzerinde istenen değişiklikler yapılmaktadır.

Günümüzde gelinen nokta da enerji kaynaklarının tükenme tehdidi, fazla enerji kullanımı, doğal dengenin bozulmuş olması gibi birçok olumsuzluk insanları enerji konusunda önlem almaya itmiştir. İnşaat sektörünün de neden olduğu tüm olumsuzluklara rağmen, vazgeçilmez oluşu yapı sektöründe doğa ile uyumlu en az hasar ve tüketim ile bina yapılması hedeflenmektedir. Dünya geneline bakıldığında doğal kaynakların tükenme riski ile insanlar her geçen gün mücadele etmektedir. Kendi enerjisini üretebilen, kendi kendini onaran ve temizleyebilen, akıllı bina üretimi son yılların önemli konuları arasındadır.

Nanoteknolojik yapı malzemesi kavramı çatısı altında, günümüz inşaat sektöründen beklenen performans sağlanmaktadır. Nanoteknoloji ile üretilen yapı malzemeleri daha öncede bahsettiğimiz gibi bize nano boyutta çalışma imkanı sunarak istenen özellikte malzeme üretimini sağlar. Bu da sektörde kullanılan kaynak kullanımını hafifletir. Nanoteknolojik yapı malzemelerinin kullanımı ile; bir binanın tasarım aşamasından itibaren, yapımında kullanılan yöntem, kullanıldığı süre boyunca sergileceği davranışlar ve yıkım süreci dahil olmak üzere planlanmaktadır. Nanoteknolojik yapı malzemeleri yapıları yaşayan birer canlıya dönüştürür ve ileriye yönelik plan yapılmasını sağlar. Doğayı bozmadan doğanın bir parçası şeklinde bina tasarımını sağlar. Nanoteknolojik yapı malzemesi kullanımı mimari tasarım aşamasında kolaylık ve istenen formun oluşturulmasını sağlar. İlk etapta nanoteknolojik yapı malzemelerinin, maliyetleri fazla olsada yapı ömrü boyunca genele bakıldığında artıya geçmektedir.

#### **Dünya geneline bakıldığında;**

-Enerjinin % 45'i

-Suyun ise % 50'lik bir oranı binalar tarafından kullanılır (Dixon, 2010). Bu oran yapı sektörünün önemini göstermektedir.

#### **Çevresel etkilerine bakıldığında ise;**

-Şehirlerdeki hava kirliliğinin % 23'ü,

-Sera gazı üretiminin % 50'si,

-Su kirliliğinin % 40'ı,

-Katı atığın % 40'ı binaların sebep olduğu çevresel sonuçlardır (Dixon, 2010).

Ülke ekonomisi ve gelişmesi için inşaat sektörünün önemi büyük olsada, doğal kaynak kullanımında payı fazladır. Nanoteknoloji, bu enerji ve kaynak kullanımını azaltmaya yönelik malzeme üretimi ile yapı sektöründe farklı bir bakış açısı olmuştur.

Genel olarak ülkelerin inşaat sektöründeki büyümelerinin ilerleyen yıllarda da devam edeceği öngörülmektedir. Yaşanan teknolojik gelişmelerin yapı sektörüne adaptasyonu ile sektörün büyümesi çok daha kolay ve planlı olmaktadır. Günümüz teknolojisi nanoteknolojinin de en önemli uygulama alanlarından sekizinci sırada inşaat sektörü gelmektedir (Bozoğlu Demirdöven ve Arditi, 2012).

Başta Amerika Birleşik Devletleri olmak üzere, Dünya'da nanoteknoloji üzerine çalışmalar devam etmekte ve gerekli sermaye ayrılmaktadır. Nanoteknoloji üzerine yapılan çalışmalar, üniversitelerde ve kurulmuş araştırma merkezlerinde devam etmektedir. Nanoteknoloji konusunda araştırma ve üretim üzerine Dünya'da lider konumda bulunan Amerika Birleşik Devletleri'ni Japonya, Almanya, Çin ve Güney Kore izlemektedir.

Ülkelerin gelişmişlik düzeyine ve ekonomisine bakıldığında nanoteknoloji için ayrılan bütçe artmakta ve AR-GE çalışmaları önem kazanmaktadır. Gerek devlet destekli gerekse özel kuruluşlar tasarım ve üretim çalışmalarında nanoteknolojiyi kullanmaktadır. Nanoteknolojinin gelecek vadettiğinin farkına varan ülkeler, özellikle yaşanan enerji sıkıntıları ve doğal kaynakların tükenmekte olması ve bu sorunların çözüm bulunabilmek için, nanoteknolojiye destek vermeye başlamışlardır.

Ülkelerin gelecek planları arasında; nanoteknolojiyi geliştirmek için, kurulacak kurum ve kuruluşlar, gerekli devlet destekleri, AR-GE çalışmaları yer almakta ve dünyada gelişmişlik sırasında ileri seviyelere çıkmak vardır. Ülkelerde, nanoteknoloji için ulusal çalışma merkezleri kurulup, kaynak tahsisi yapılarak, geliştirilmesi hedeflenmektedir.

Özellikle gelişmiş toplumlarda devlet, nanoteknoloji çalışmalarına teşvik etmek, ulusal nanoteknoloji kurum ve kuruluşlarının oluşmasını hızlandırmak ve

teknolojinin geliştirilmesine destek olmak gibi bazı temel görevleri üstlenmesi, nanoteknolojinin çok daha kolay ilerlemesine yardımcı olmaktadır (Özer, 2008).

Özellikle gelişmiş ülkeler, nanoteknoloji üzerine devlet destekli ve üniversite tabanlı daha çok çalışma yaparak nanoteknolojik malzeme üretiminde ön sırada yer almaktadırlar. Yapı sektörü de devletlerin gelişmişlik düzeyi ile doğru orantılı olarak ilerlemektedir.

Türkiye’de nanoteknoloji üzerine yapılan çalışmalar her geçen gün artmakta olsada gelişmiş ülkelerin düzeyine yetişmesi zaman alacaktır. Nanoteknolojik yapı malzemelerinin üretimi ve yapılarda kullanımının yaygınlaşması da bununla doğru orantılı olarak ilerlemektedir.

Nanoteknoloji ve nanobilimin gelişmesi ile malzeme üretimi hız kazanarak geleneksel malzemelerin yerini nanoteknolojik malzemeler almaktadır. Tüm alanlarda olduğu gibi nanoteknolojinin inşaat sektörü için de önemi büyüktür.

Nanoteknoloji ile üretilen yapı malzemelerinin ürün yelpazesi oldukça geniştir ve her geçen gün bu çeşitlilik artmaktadır. Fakat günümüzde nanoteknolojinin de önünde bazı engeller bulunmaktadır. Özellikle yapı sektöründe kullanımını etkileyen bazı faktörler mevcuttur.

Genele bakıldığında nanoteknoloji pazarının çoğunluğunun ara mallar üreten küçük ölçekli AR-GE firmaları oluşturmaktadır (Candemir vd., 2012). Bu ara malların inşaat sektöründe farklı malzemelerle bütünleşip yeni malzeme üretimi ve piyasaya sürülmesi aşaması henüz yaygın değildir. Küçük ölçekli firmalar ile büyük ölçekli firmalar arasında kopukluk olması nanomalzeme üretimini ve yapımda kullanımını olumsuz etkilemektedir. Bu noktada devletin gereken desteği sağlayıp küçük ve büyük ölçekli firmalar arasında köprü görevini üstlenip nanomalzeme üretimini yaygınlaştırması gerekmektedir. Küçük ölçekli firmalar ile gerekli iş birliği mekanizmalarının kurulmamış olması nanoteknolojik yapı malzemelerinin üretim ve yapılarda kullanımını olumsuz etkilemektedir.

Nanoteknolojik yapı malzemelerinin, sağladığı fırsatlar hakkında genel bilgi eksikliği inşaat sektöründe yaygın kullanılmamasına neden olur. Nanoteknoloji ve sağladığı imkanlar hakkında bilgilendirme ve farkındalık oluşturulması gerekmektedir. Toplumun tüm kesimlerinin nanoteknolojik yapı malzemeleri

hakkında bilgi eksikliği nanomalzeme kullanımını olumsuz etkiler. İnsanların nanomalzeme kullanımına yönlendirmek için, nanoteknolojinin yarattığı fırsatları anlatmak gerekmektedir. Bu konuda gerekli kamu desteği sağlanmalıdır.

Nanoteknolojiyi ve üretilen nanomalzemelerin yapımda kullanımını etkileyen bir diğer faktör de maliyetlerin fazla olmasıdır. Farkındalık az olduğu gibi nanomalzeme üretimi konusunda çalışma yapan firma sayısı da azdır. Bu nedenle maliyetler yükselmekte ve talep azalmaktadır. Üretimin fazlalaşması ile piyasada malzeme tedariğinin artması sonucu maliyetler azalarak nanomalzeme kullanımı yaygınlaşabilmektedir ve yapımda kullanımı daha hızlı gelişebilir. Maliyetlerin fazla olması nanoteknoloji üzerine yapılmakta olan çalışmaların yetersiz olmasından da kaynaklanmaktadır. Gelişmiş ülkelerde bu durum daha farklıdır. Yapı sektöründe nanoteknolojik yapı malzemesi kullanımı yapım aşamasında maliyeti yükseltmektedir, fakat ilerleyen yıllarda pozitif yöne geçmektedir. Örneğin; yapıda kendi kendini temizleyen cam kullanımı ilk etapta maliyeti yükseltmiş olsada, kullanım sırasında cephe temizleme aralıklarının süresi uzayarak maliyetten tasarruf sağlanır. Bunun yanında nanoLED kullanımı aydınlatmada ilk etapta fazla maliyetli olsada, gelen elektrik faturalarının miktarında düşüş sağlar.

Nanoteknoloji ve üretilen nanomalzemeler hakkında çalışma yapabilecek eğitimli nüfusun az olması da olumsuz etkilerin başında gelir. Nanomalzeme üretimi ve doğru kullanılması için gerekli düzeyde eğitim almış personel istihdamının sağlanmış olması gerekmektedir. Nanoteknolojinin yaygınlaşması ile bilinçlenme ve üzerine çalışma yapan kişi sayısı da artmaktadır fakat şu an bu sayı yetersizdir. Ülkemizde her geçen gün üniversitelerde nanoteknoloji üzerine eğitim veren bölümler açılmakta ve eğitimli nüfus sayısı artması hedeflenmektedir. Gelecek günlerde bu eksiklik tamamlanacaktır. Özellikle üniversitelerde lisans ve lisans üstü düzeyde nanomalzemeler ile ilgili gerekli eğitim verilerek uzun vadeli araştırma ve çalışma yapabilecek kişi sayısı arttırılırsa malzemenin inşaat sektöründe kullanımı da artacaktır (Candemir vd., 2012).

Nanoteknoloji ile üretimi ve yapıda kullanılmasını desteklemek için patent alma ve başvuru çalışmalarına önem verilmelidir. Dünyada patent başvurularının büyük ölçüde arttığı gözlemlenmekte ve bu başvuruların çoğunluğunun gelişmiş ülkeler tarafından yapıldığı görülmektedir (Candemir vd., 2012). Bu da bizim gibi

gelişmekte olan ülkelerin nanomalzeme üretimi ve kullanımında önünde engel teşkil etmektedir. Gelişmekte olan firmalar patenti alınmış bilgeye ulaşma ve teknolojik ağlarına erişme konusunda yetenek ve kapasitelerinin sınırlı olmasının da etkisiyle nanomalzeme üretimi yapma ve kullanma da ciddi sıkıntı yaşayacakları düşünülmektedir (Schummer, 2007; Invernizzi, Foladori ve Maclurcan, 2008).

Günümüzde nanoteknoloji çalışmalarının yapıldığı yerler üniversiteler olmaktadır malzeme tasarımı konusunda firmalar ile üniversiteler etkileşim halinde olmalıdır (Candemir vd., 2012). Malzeme üreticisi firmalar çoğu zaman üniversitelerde yapılan çalışmalardan haberdar değildir ve bu da malzemenin yapımda kullanımını geciktirir. Üretim sanayi ile üniversiteler arasındaki bağlantı güçlenir insanlar daha bilinçli ve bilgili olursa yapım sektöründe nanomalzeme kullanımı yaygınlaşır ve bu sayede pek çok kazanç elde edilmiş olur.

Nanoteknoloji alanında rekabetten önce iş birliğinin geliştirilmesi ve geniş iletişim ağlarının kurulması ile malzeme üretimi daha hızlı ve kolay olarak yapımda kullanımının önü açılmış olacaktır (Merz ve Biniok, 2010). Sanayi, üniversite ve devlet beraber çalışarak nanoteknolojik yapı malzemesinin üretimi ve yapı sektöründe kullanımı bu sayede artmaktadır.

Dünyada yaşanan enerji sıkıntısı ve yapı sektörünün harcadığı enerji dilimi göz önüne alınırsa, yapı sektörü için nanoteknoloji vazgeçilmez konumdadır. Nanoteknolojik yapı malzemelerinin kullanımının yaygınlaşması ile enerji sorununun önüne geçilmektedir.

Nanoteknoloji ve üretilen malzemeler ve bunların çeşitli sektörlerde kullanılması ile ilgili devlet gereken desteği sağlamalıdır. Özellikle inşaat sektöründe nanomalzeme kullanımını yaygınlaştırmak için gerekli teşvik ve farkındalık yaratılması gerekmektedir. Bu sayede yapıda nanomalzeme kullanımı yaygınlaşıp elde edilen konfor sağlanmış olacaktır. Gerekli finansman kaynakları sağladığı takdirde üretim hız kazanarak kullanımı yaygınlaşacaktır.

Nanoteknolojinin henüz bilinmeyen yani etkisi henüz ortaya çıkmamış bazı zararları olduğu düşünülmektedir. Buda insanları tedirgin etmekte ve kullanımını etkilemektedir. Birçok firma oluşabilecek sıkıntılardan dolayı malzeme üretimi konusunda kaçınmakta ya da üretimi gerçekleştirmiş olsa bile piyasaya sürmemektedir

(Candemir vd., 2012). Nanoteknoloji üzerine eğitimli nüfusun artması bu gibi görüşlerin önüne geçerek, üretim ve kullanımını arttırır.

Nanoteknolojik yapı malzemeleri yapının tüm alanlarında kullanılabilen geniş ürün yelpazesıyla, inşaat sektörü için yeni bir çağ açmıştır. Sağladığı avantajlar ile maliyet, iş gücü, zaman, enerji gibi birçok konuda geleneksel yapı malzemelerinin önüne geçmektedir. Nanopartiküllerin takviyesi ile nanoteknolojik yapı malzemeleri, gelişen ve değişen çağa ayak uyduran, kullanıcı beklentilerine cevap verebilen, doğal döngüye zarar vermeden, kendi enerjisini üretebilen, kendi kendini temizleyebilen, akıllı binaların yapılmasını sağlar.

Nanoteknolojik yapı malzemeleri, yapı sektöründe yapının tüm aşamalarına daha hakim olarak sistemli ve planlı ilerleme olanağı sağlar. Nanoteknolojik yapı malzemelerinin üretimi ve nanoteknolojik gelişmeler devlet destekli gerekli maddi yatırımlar yapılarak, eğitimli nüfusun artması ile çok daha hızla olmaktadır.

Nanoteknoloji, geleneksel malzemelerin ağırlığını ve hacmini azaltır ve malzemelerin daha verimli kullanılmasına izin verir. Malzemelere kazandırılan gelişmiş özelliklerin yardımıyla, malzemelerin hasar görmesini önler ve bakım onarım ihtiyacını azaltır. Bu faydalara ek olarak, nanoteknoloji üretim adımlarının sayısını azaltır, kaynakların korunmasını sağlar. Hammadde ve enerji tüketiminde dolayısıyla CO<sub>2</sub> emisyonlarında önemli bir azalma sağlar ve tüm bunlar ekonomiye olumlu bir katkıdır (Mehdinezhad, Nikbakht ve Nowruzi, 2013; Miralaei, 2015).

### **3.1 Araştırma Yöntemi**

Nanoteknolojik yapı malzemelerinin Türk yapı sektöründe kullanımı ve kullanımını etkileyen faktörleri incelemeyi amaçlayan bu çalışma için gerekli olan veriler bir anket çalışması yapılarak toplanmıştır. Anket çalışması için bir ön yazı ve anket oluşturulmuştur (Bkz. Ek A). Çalışma kapsamında hazırlanan anket formuna “Nanomimarlık ve nanoteknolojik yapı malzemelerinin yapı sektörüne adaptasyonu” adı verilmiştir.



### 3.1.1 Anket Formunun Organizasyonu

Anket formu 7 sorudan oluşmaktadır. Bu 7 sorudan 6'si kategorik ve 1'i likert tipi sorudan oluşmaktadır. Anketin ilk dört sorusu; mimarlık firmalarının kurumsal özellikleri ve katılımcılara ilişkindir. 1. ve 2. sorular mimarlık firmalarının kurumsal yaşı ve hangi ilde faaliyet gösterdiklerini, 3. soru ise katılımcıların sektörde kaç yıldır çalıştıklarını belirlemeyi hedeflemiştir. 4. soru katılımcıların nanoteknoloji konusundaki bilgi düzeylerini ölçmeye yöneliktir. Anketin 5. sorusu; mimarlık firmalarının hangi nanoteknolojik yapı malzemelerini kullandıklarını belirlemeye yöneliktir. Anketin 6 sorusu; yapı sektöründe nanoteknolojik yapı malzemelerinin kullanılmasını engelleyen faktörleri belirlemeyi amaçlamaktadır. Likert tipindeki 7. soru; firmaların nanoteknolojiye yatırım yapıp yapmadıklarını belirlemeye yöneliktir. Katılımcılara yanıtlarını 5 noktalı likert ölçeği üzerinde belirtmeleri istenmiştir. 5 noktalı likert ölçeğinde '1=hiç katılmıyorum', '2=katılmıyorum', '3=kararsızım', '4=katılıyorum', '5=tamamen katılıyorum' olarak derecelendirilmiştir. Anketin son sorusu ise; firmalarda nanoteknoloji konusunda çalışan uzman/araştırma grubu olup olmadığını belirlemeyi hedeflemektedir.

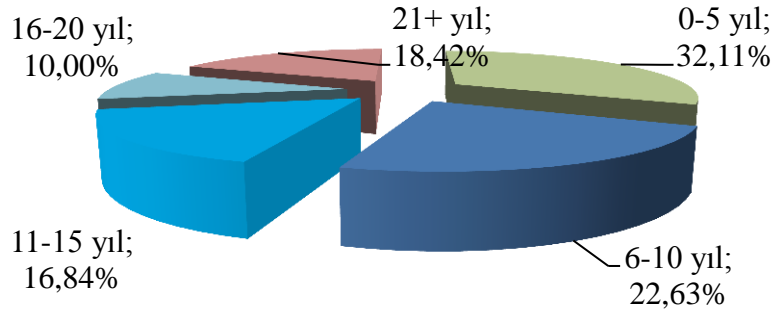
### 3.1.2 Örneklem

Çalışma, serbest faaliyet gösteren mimarlık firmalarını kapsamaktadır. Mimarlar bu çalışmanın hedef yanıtlayıcıları olarak belirlenmiştir. Mimarlık firmalarıyla irtibata geçebilmek için mimarlar odasının veri tabanında yer alan firmalarla e-posta, ve yüzyüze görüşmeler yolu ile temasa geçilmiştir. Toplam 25 ilde faaliyet gösteren 206 firmayla temasa geçilmiştir. Eksik bilgilerin olması nedeniyle 16 adet anket formu değerlendirme dışı tutulmuştur. Anket çalışması 190 mimarlık firmasından alınan bilgiler ile değerlendirilmiştir.

### 3.2 Araştırma Bulguları ve Tartışma

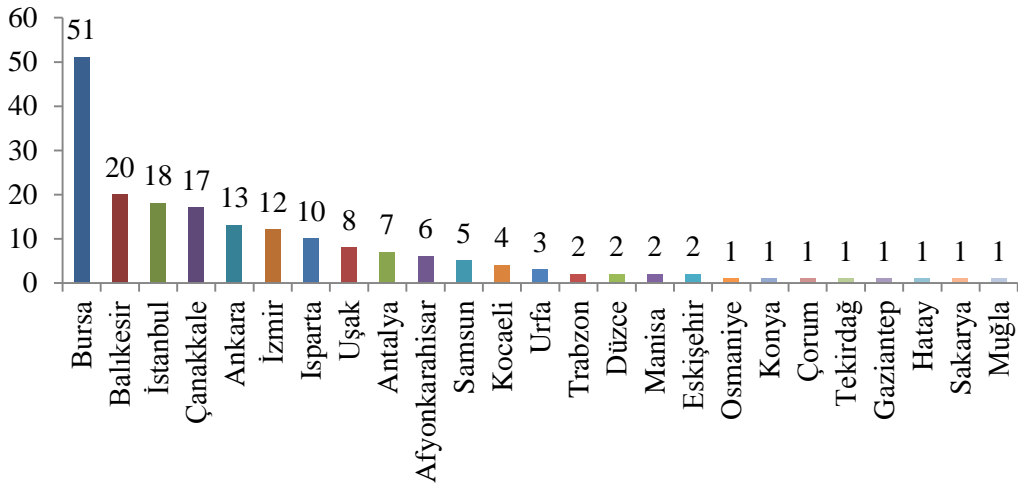
Ankete katılan firmaların kurumsal özellikleri, Şekil 3.1 ve 3.2'de gösterilmektedir. Şekil 3.1, ankete katılan firmaların kurumsal yaşlarının dağılımını göstermektedir. F 3.1'de görüldüğü gibi; mimarlık firmalarının % 32,11'i 0 ile 5

yıldır, % 22,63'ü 6 ile 10 yıldır, % 16,84'ü 11 ile 15 yıldır, %10'u 16 ile 20 yıldır ve % 18,42'si de 21 yılı aşkın süredir sektörde faaliyet göstermektedir.



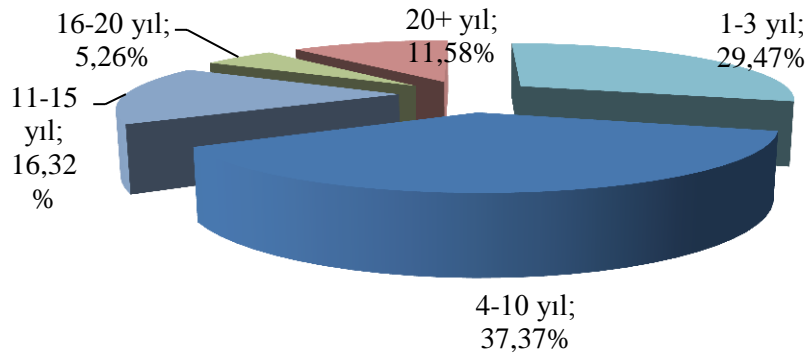
Şekil 3.1: Firmaların kurumsal yaşlara göre dağılımı.

Şekil 3.2'de ankete katılan mimarlık firmalarının faaliyet gösterdikleri illere göre dağılımı görülmektedir.



Şekil 3.2: Firmaların faaliyet gösterdikleri illere göre dağılımı.

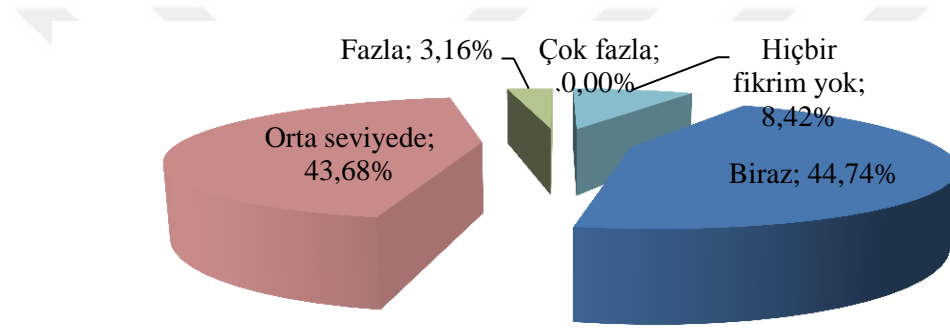
Ankete katılan mimarların sektörde kaç yıldır çalıştıkları Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Anket katılımcılarının sektörde çalışma yıllarına göre dağılımı.

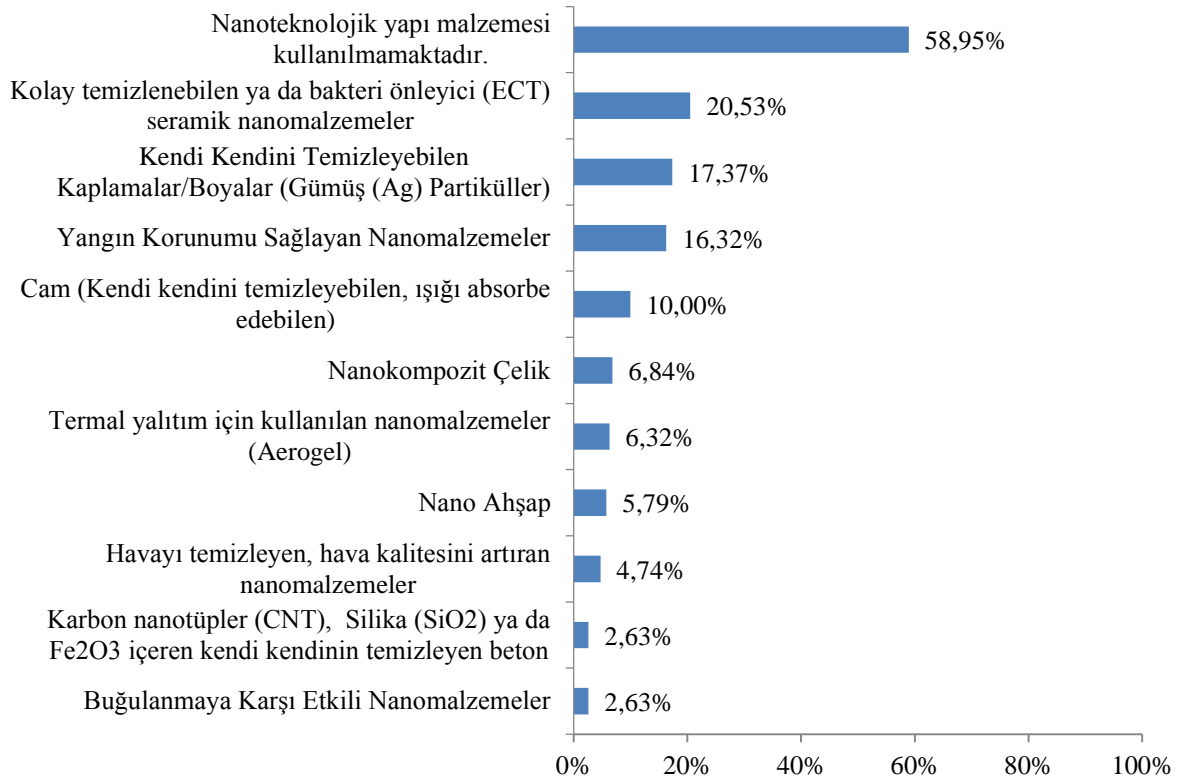
Mimarların %29,47'si 1 ile 3 yıldır, %37,37'si 4 ile 10 yıldır, %16,32'si 11 ile 15 yıldır, %5,26'sı 16 ile 20 yıldır ve %11,58'i de 20 yılı aşkın süredir deneyim sahibidir.

Şekil 3.4, katılımcıların nanoteknolojik yapı malzemeleri konusundaki bilgi düzeylerini göstermektedir. Katılımcıların %8,42'sinin nanoteknoloji konusunda hiçbir fikri yoktur. %44,74'i konu hakkında biraz, %43,68'i orta seviyede, %3,16'sı çok bilgi sahibi olduğunu düşünmektedir. Çok fazla bilgi sahibi olan ise yoktur.



Şekil 3.4: Katılımcıların nanoteknoloji konusundaki bilgi düzeyleri.

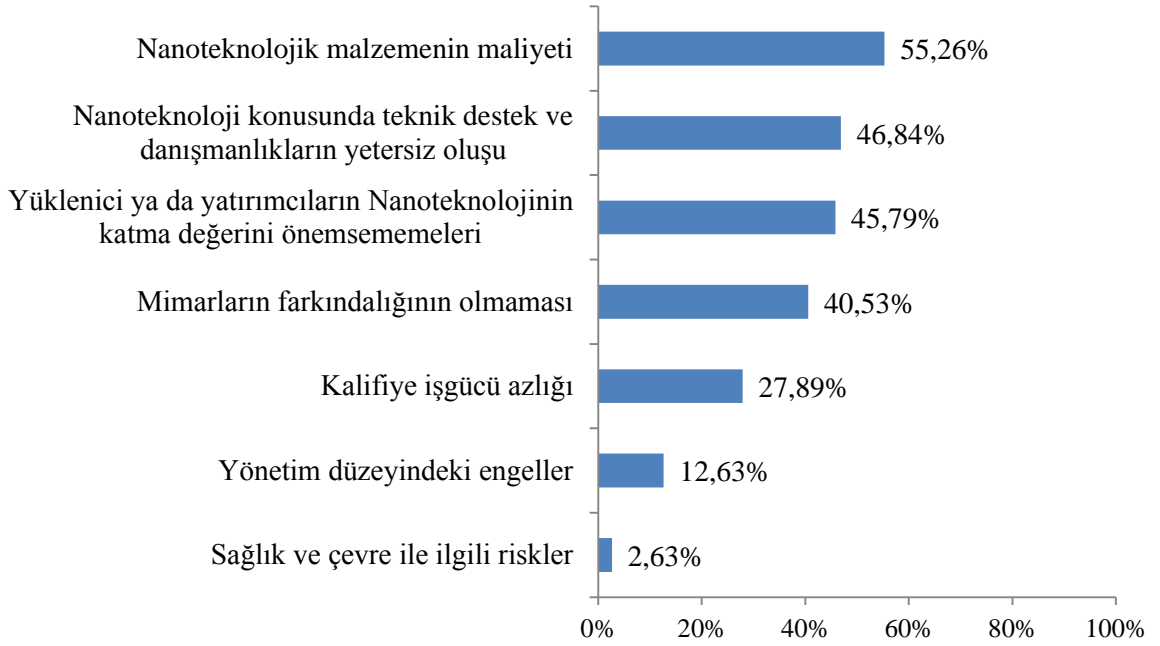
Şekil 3.5, firmalar tarafından kullanılan nanoteknolojik yapı malzemelerini göstermektedir. Firmaların yaklaşık %60'ının (%58,95) nanoteknolojik yapı malzemesi kullanmadığı görülmüştür. En çok kullanılan ilk üç nanoteknolojik yapı malzemesi ise; kolay temizlenebilen ya da bakteri önleyici (ECT) seramik nanomalzemeler (%. 20,53), kendi kendini temizleyebilen kaplamalar/boyalar (% 17,37) ve yangın korunumu sağlayan nanomalzemelerdir (% 16,32).



Şekil 3.5: Sektörde kullanılan nanoteknolojik malzemeler.

Nanoteknoloji ile tanışmamış mimarlık firmalarının sayısının çok olması (% 58,95), nanoteknoloji alanındaki gelişmelerin mimarlar tarafından yakından izlenmediğini göstermektedir. Nanoteknolojik gelişmeler akılcı çözümleri ile akademik çevrelerin ve bilim dünyasının şimdiki ve gelecek övgülerini üzerine çekmiş olsa da, nanoteknolojik yeni malzemelerin ve cihazların kullanımının artması, yapı profesyonellerinin değer mühendisliği ile teknolojik gelişmeler arasındaki ilişkileri yeterince kavramaları ile gerçekleşebilir (Bozoğlu ve Arditi, 2012).

Şekil 3.6, mimarların, nanoteknolojik yapı malzemelerini yaygın kullanmalarına engel olan faktörleri göstermektedir.

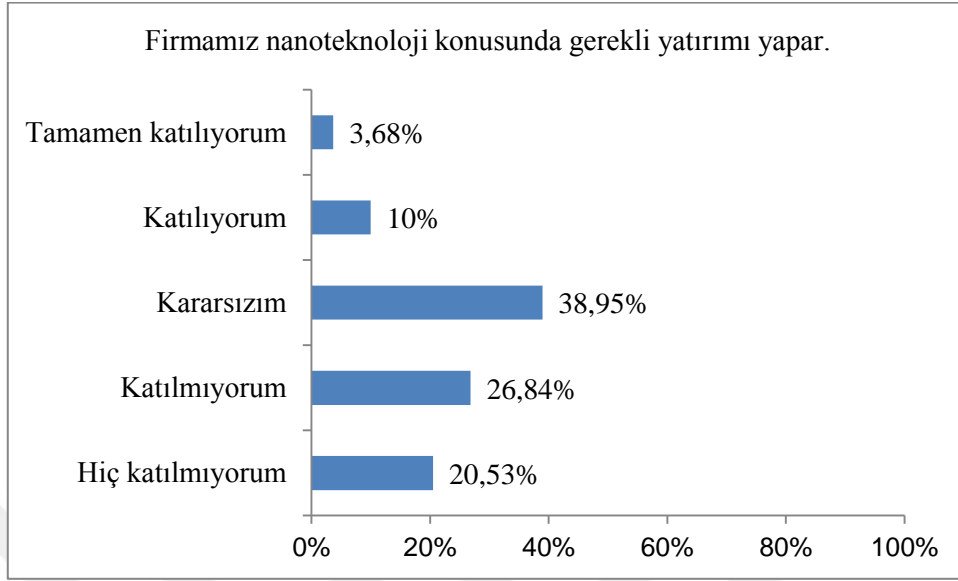


Şekil 3.6: Nanoteknolojik malzemelerin yaygın kullanımını etkileyen faktörler.

Nanoteknolojik malzemelerin yaygın olarak kullanımını etkileyen faktörler; *nanoteknolojik malzemenin maliyeti* (%55,26), *nanoteknoloji konusunda teknik destek ve danışmanlıkların yetersiz oluşu* (%46,84) ve *yüklenici ya da yatırımcıların nanoteknolojik malzemenin katma değerini önemsememeleridir* (%45,79).

Nanoteknolojik malzemeler, nano olmayan alternatiflerine göre önemli ölçüde pahalıdır. Broekhuizen ve diğerlerine (2011) göre de, nanoteknolojik malzemelerin büyük oranda sektörde kabulü için önemli engellerden biri yüksek maliyetleridir. Nanoteknolojik yapı malzemelerinin sektöre hızlı bir şekilde uyarlanması, geleneksel inşaat malzemeleri ile kıyaslandığında, nano ürünlerin yüksek maliyeti ve kısa vadeli finansal fayda arasındaki uyumsuzluk nedeniyle yavaştır (Sev ve Ezel, 2014). Yapı sektöründeki araştırmalara yapılan yatırımların düşük olması, nanoteknolojinin önünde büyük bir engel oluşturmaktadır. Son kullanıcının şüpheciliği ve mimarların yeni malzemeler hakkında farkındalığının olmaması, yapı sektöründe yeni malzemelerin yaygın bir şekilde kullanılmasının önündeki diğer engellerdir. Bu teknolojinin kullanımı sadece geleneksel malzemelerin özelliklerini arttırmak için değil, aynı zamanda yapıların sağlık ve güvenliğini izlemek ve enerji tüketimi bağlamında da düşünülmelidir (Sev ve Ezel, 2014).

Şekil 3.7, mimarlık firmalarının nanoteknoloji konusunda yatırım yapıp yapmadıklarını göstermektedir.



Şekil 3.7: Nanoteknoloji yatırımı.

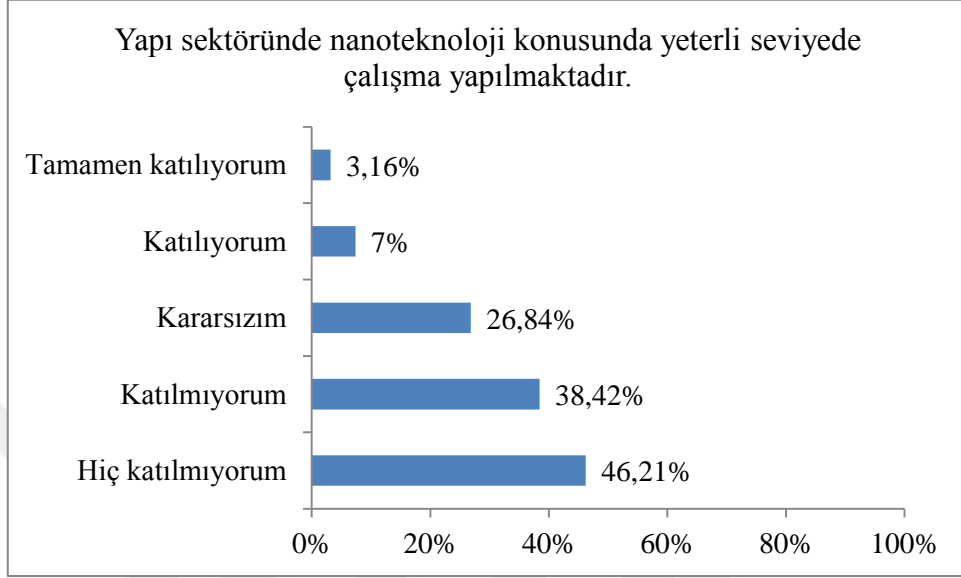
Nanoteknoloji yapı sektöründe uygulama alanı bulmuştur ve piyasada da bazı nano ürünler mevcuttur. Ancak, bu ürünlerin kullanımı neredeyse ihmal edilebilir seviyededir. Günümüzde yapı ile ilgili ürünlerin yaklaşık % 1'inde nano zenginleştirilmiş özellikler mevcuttur. Yapı sektörü teknoloji odaklı bir sektör olmadığı için, AR-GE yatırımlarının yapı sektöründe çok düşük olduğu söylenebilir. Bu nedenle nanoteknoloji uygulamalarının yapı sektörüne girişi çok sınırlı olmuştur.

Şekil 3.8, firmalarda nanoteknoloji konusunda uzman ya da araştırma grubu olup olmadığını göstermektedir.



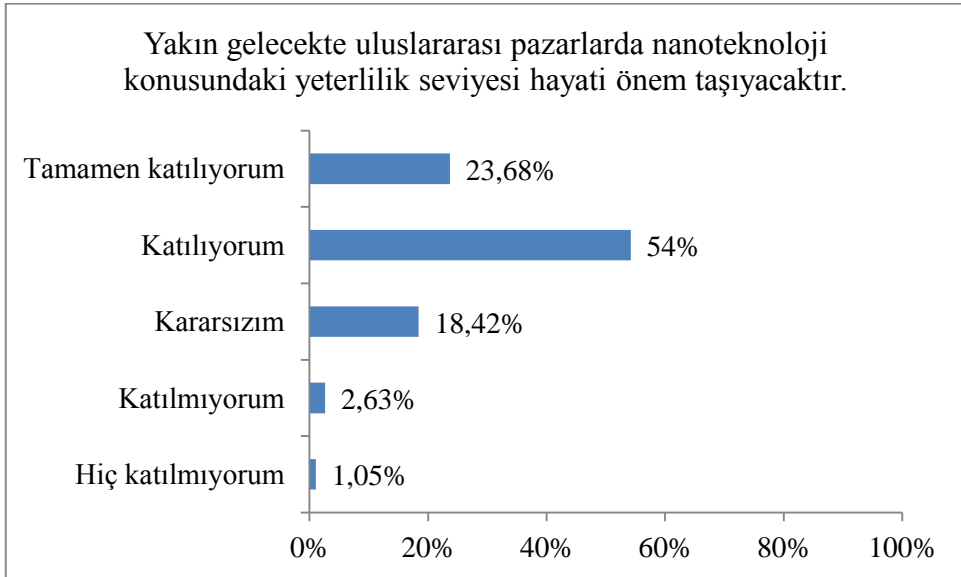
Şekil 3.8: Firmalarda nanoteknoloji konusunda çalışan uzman/araştırma grubu.

Firmaların %93,89'unda bu konuda uzman ya da araştırma grubu bulunmamaktadır. Şekil 3.9, yapı sektöründe nanoteknoloji konusunda çalışmaların yeterliliği ile ilgilidir.



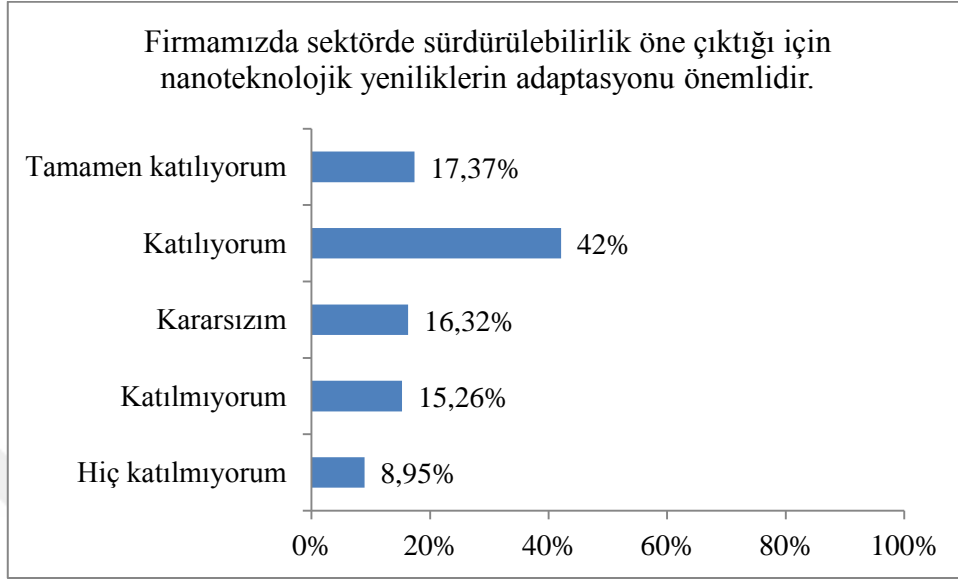
Şekil 3.9: Nanoteknoloji ile ilgili sektörde yapılan çalışmaların yeterliliği.

Katılımcıların toplamda %84,63'ü sektörde yapılan çalışmalarını yetersiz bulmaktadır. Şekil 3.10, nanoteknolojinin uluslararası pazardaki önemini göstermektedir.



Şekil 3.10: Nanoteknolojinin uluslararası pazardaki önemi.

Şekil 3.11, katılımcılar açısından sürdürülebilirlik bağlamında nanoteknolojik yeniliklerin adaptasyonunun önemini göstermektedir.



Şekil 3.11: Katılımcıların nanoteknolojinin sürdürülebilirlikle olan ilişkisine dair görüşleri

Şekil 3.11, katılımcıların yaklaşık %60'ı sürdürülebilirlik için nanoteknolojik yeniliklerinin adapte edilmesini önemli bulmaktadır.



## 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapı sektörü; yerleşmiş, maliyet odaklı ve geleneksel bir sektördür. Teknoloji odaklı bir sektör değildir. Yapı sektöründeki araştırmalara yapılan yatırımların düşük olması nanoteknolojinin önünde büyük bir engel oluşturmaktadır. Bu nedenle nanoteknoloji uygulamalarının yapı sektörüne adaptasyonu sınırlı olmuştur. Bu çalışmanın sonuçları; mimarların nanoteknolojik yapı malzemeleri hakkında farkındalığının olmadığını göstermektedir. Nanoteknolojik malzemelerin sektörde yaygın kullanımını etkileyen diğer önemli engellerden biri de bu malzemelerin yüksek maliyetleridir. Nanoteknolojik malzemenin maliyeti nispeten yüksek olsa da, zamanla azalması beklenmektedir. Nanoteknolojik malzemelerin kullanımı sadece malzeme özelliklerini ve işlevlerini arttırmak için değil aynı zamanda enerji tasarrufu bağlamında da düşünülmelidir. Yüksek performanslı ısı yalıtım malzemeleri kullanılarak daha az fosil yakıt kullanımı sağlanabilmektedir. Isı yalıtımı uygulamaları konfor koşullarının oluşturulmasında kullanılan enerji miktarının azalmasını sağlamakta, küresel ısınma ve hava kirliliğinin artmasını önlemektedir. Yeni malzemelerle binaların performansı artmakta ve enerji kullanımı düşmektedir. İşletme maliyeti düştüğü için bakım ve onarımları da kolaylaşmaktadır.

Gelişen ve değişen hayat standartları ile yapılarda gün geçtikçe değişmekte ve kullanıcı ihtiyaç ve beklentileri artmaktadır. Teknolojik imkanlar sayesinde tüm bu beklenti ve ihtiyaçlar karşılanabilmektedir. Günümüz teknolojisi olan nanoteknolojinin yapı sektöründe kullanımı büyük avantajlar sağlamaktadır. Nanoteknolojik yapı malzemelerinin kullanımı ile özellikle çevreye en az hasar veren bina yapımı gerçekleştirilebilmektedir. Ancak yapılan anket sonuçları göstermektedir ki nanoteknoloji ve nanoteknolojik yapı malzemeleri hakkında gereken bilgi ve alt yapı henüz oluşmamıştır. Nanoteknolojik yapı malzemesi kullanımı çok kısıtlı olmakla birlikte üretimi de oldukça azdır.

Nanoteknoloji ve nanoteknolojik yapı malzemeleri hakkında gerekli bilgilendirmeler yapılmalı ve farkındalık uyandırılmalıdır. Bu sayede nanoteknolojinin gelişimi çok daha kolay olacaktır. Gerekli teknik destek ve danışmanlar sayesinde bilgilendirmeler yapılırsa, yapılan yatırımlar artarak

maliyetler de düşecektir. Devlet ve kamu desteği ile bilgilendirme yapılarak nanoteknolojik yapı malzemesinin yapılarda kullanımı arttırılabilir. Birçok firma nanoteknoji, nanomimarlık, nanoteknolojik yapı malzemesi gibi konularda bilgi sahibi değildir. Nanoteknolojik yapı malzemesinin yapıya sunduğu imkanlar hakkında çok az bilgiye sahiptir.

Nanoteknolojik yapı malzemesi kullanımı ile Dünya'nın en büyük problemlerinden biri olan doğal kaynakların tükenme tehdidinin ve bunun yanında fazla enerji tüketiminin önüne geçilmektedir. Geliştirilen nanoteknolojik yapı malzemeleri sayesinde doğal çevreye en az hasar ile yapı tasarımı gerçekleştirilmektedir. Günümüzde sürdürülebilir yapı tasarımının gerçekleştirilmesinde nanomalzeme kullanımı bizlere büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Özellikle enerji konusunda büyük avantajlar sağlayan nanomalzemeler, ilk etap da maliyetli gibi gözükse de binanın kullanım yıllarına bakılıp ortalaması alındığında daha düşük olduğu görülmektedir. Nano yapı malzemeleri sayesinde yapıların ömrü ve onarım aralıkları uzamaktadır.

Yapı sektörü nanoteknolojinin uygulanabileceği stratejik sektörlerden biri olarak düşünülmelidir. Üniversite-sanayi işbirliğinin yaygınlaştırılmasının sağlanması teknoloji transferi olanaklarını arttıracaktır. Bunun yanında küçük ölçekli ve büyük ölçekli firmalar arasındaki iletişim kopukluğundan dolayı geliştirilen nanomalzemelerin farklı sektörlere hizmet etmesi de gecikmektedir. Dünya geneline bakıldığında etkili AR-GE destekleri ile üreticilerini teşvik eden ülkeler ön sıralarda yerini almaktadır. Ülkemizde de gerekli AR-GE çalışmaları ile Dünya'da bu rekabet sıralamasında üst düzeylere yükselebiliriz.

Ülkemizde nanoteknoloji kullanarak ürün ve üretim yapan firmaların sayısı oldukça sınırlıdır. Üniversitelerde nanoteknoloji araştırma merkezleri kurulmaktadır. AB üyesi ülkelerin çoğunda ulusal nanoteknoloji politikaları belirlenmiştir. Ülkemizde bu alanda önemli adımlar atılmış olmakla birlikte yapı sektörüne yönelik teşvikler ile desteklenmesi gerekmektedir. Kurulan araştırma merkezlerinin sürdürülebilirliğinin sağlanması bu bağlamda önemlidir.

Dünyaya bakıldığında inşaat sektörünün ülkelerin gelişmişlik düzeylerini belirlemede en önemli unsurlardan biri olduğunu görmekteyiz. Yapıların tasarımından, ömürleri dolduğunda yıkım sürecine kadar nanoteknoloji büyük

avantajlar sağlamaktadır. Gelişen çağa ayak uydurarak sunduğu imkanlar dahilinde, nanoteknolojinin yapı sektöründe kullanımı ülkelere büyük getiriler sağlamaktadır.

Sürdürülebilirlik ve enerji verimliliğinin bir zorunluluk haline geldiği günümüzde nanoteknolojik malzemeler firmaların rekabet gücünü arttırabilir. Sürdürülebilirlik çağımızın en büyük zorunluluklarından biri olmakla birlikte, nanoteknolojinin sunduğu imkanlar çerçevesinde çok daha kolay sağlanabilmektedir. Nanoteknolojik yapı malzemeleri sürdürülebilir mimariyi destekler niteliktedir ve yeşil nanomimarlık kavramı ile günümüzde gereken yerini almıştır. Bu bağlamda sürdürülebilir yapı tasarımının nanomalzeme destekli sağlanması amaçlanmaktadır. Bu sayede enerji tasarrufu sağlayan yapı tasarımı gerçekleşecektir.

Teknoloji her geçen gün ilerlemekte ve bize farklı sektörlerde imkanlar sunmaktadır. Günümüz teknolojisi olan nanoteknolojinin yapı sektörüne adaptasyonu gerek malzeme anlamında gerekse yapım tekniklerinde sunduğu farklı avantajları ile yeni bir devrim niteliğindedir. Dünya pazarında yapı sektöründe ön sıralarda yerimizi almak için nanoteknolojik yapı malzemelerinin tasarım, üretim ve kullanımı ile ilgili gerekli desteklerin sağlanması gerekmektedir. Devlet destekli çalışmalar ile firmaların üretimleri artarak maliyetler düşmelidir. Böylelikle nano yapı malzemelerinin kullanımı artacaktır.

Unutmayalım ki yapı sektörü için teknolojik gelişmelerin önemi büyüktür. Nanoteknolojik yapı malzemesi kullanımının yaygınlaşması ile ülkemizde katma değer yaratarak uluslararası pazarda gücümüzü arttıracaktır. Ülkeler arası rekabette üst seviyelerde yer almak devlet ekonomisine büyük katkı sağlayacaktır. Bunun için nanoteknoloji ve nanoteknolojik yapı malzemeleri hakkında gerekli bilgilendirmeler yapılarak üretiminin artması ve yapı sektörüne adaptasyonunun sağlanması gerekmektedir.

## 5. KAYNAKLAR

Altın, M. ve Orhon, A. V. (2014). Akıllı Yapı Cepheleri ve Sürdürülebilirlik. 7. *Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu*, İstanbul, 1-9.

Arnall, A. H. (2003). Future Technologies, Today's Choices. Nanotechnology, Artificial Intelligence and Robotics; A Technical, Political and Institutional Map of Emerging Technologies. *Department of Environmental Science and Technology, Environmental Policy and Management Group, Faculty of Life Sciences, Imperial College, London University, London.*

Atik, İ. ve Bilgin, M. B. (2018). Mimarlıkta Nanoteknolojinin Yeri. *Kent ve Kültür Yönetimi Hakemli Elektronik Dergi*, 11 (2), 232-242.

Ayçam, İ. ve Kanan, N. Ö. (2009). Ekolojik Mimarlık Kapsamında Bina Bütünleşik Nano-Pv Malzemenin İncelenmesi. *V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Diyarbakır, 73-77.

Bang, C. (2015). Nanotechnology Materials For Green Building. *Healthcare Architecture Planning Interiors*, 13, 4-5.

Barthlott, W. and Ehler, N. (1977). Raster-Elektronenmikroskopie der Epidermis-Oberflächen von Spermatophyten. *Tropische und subtropische Pflanzenwelt*, (19), 367-467.

Beale, J. M. and You, Z. (2011). Nanoclay-Modified Asphalt Binder Systems. (eds: K. Gopalakrishnan vd.), *Nanotechnology in Civil Infrastructure*, Berlin, 257-270.

Bozkaya, Y. (2006). Nanoteknoloji ve Uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Nanoteknoloji Bilim Dalı, Eskişehir.

Bozoğlu Demirdöven, J. ve Arditi, D. (2012). Yapılarda ve Yapım Yönetiminde Nanoteknoloji Uygulamaları. 2. *Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi*, Urla-İzmir, 1-12.

Bozoğlu Demirdöven, J. ve Karaçar, P. (2013). Yeşil Binalarda Nanoteknoloji Uygulamaları ve Mimari Tasarım Üzerindeki Etkileri. 8. *Uluslararası Sinan Sempozyumu*, Edirne, 1-6.

Bozoğlu Demirdöven, J. ve Karaçar, P. (2015). Green Nano-materials with Examples of Applications. *GreenAge Symposium*, İstanbul, 1-9.

Candemir, B., Beyhan, B. ve Karaata, S. (2012). *İnşaat Sektöründe Sürdürülebilirlik: Yeşil Binalar ve Nanoteknoloji Stratejileri*. İstanbul: İMSAD ve TÜSİAD, 55-79.

Cengiz, G. (2016). Mimarlıkta Sürdürülebilir Nanoteknolojik Malzeme Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mimarlık Anabilim Dalı, İzmir.

Charlier J. C., Blase X. and Roche S. (2007). Electronic and Transport Properties of Nanotubes. *Reviews of Modern Physics*, 79, 677-732.

Chen, J. and Poon, C. (2009). Photocatalytic Construction and Building Materials: From Fundamentals to Applications. *Building and Environment*, 44, 1899-1906.

Civan, U. (2006). Akıllı Binaların Çevresel Sürdürülebilirlik Açısından Deđerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.

Darçın, P. (2008). Yapı İçi Hava Kirliliğinin Giderilmesinde Doğal Havalandırma İlkeleri. Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.

Dresselhaus M.S., Dresselhaus G. and Jorio A. (2004). Unusual Properties and Structure of Carbon Nanotubes *Annual Review Materials*, 34, 247-78.

Dixon, W., (2010). The Impacts of Construction and the Built Environment. *Briefing Note*, 33, 1-6.

ECTP (2005). Strategic Research Agenda for the European Construction Sector. *ECTP High Level Group Meeting*, 7, 20-37.

El-Samny, M. F. (2008). Nanotechnology and Architecture. Master of Science, *University of Alexandria*, Alexandria.

Elvin, G. (2007). *Nanotechnology for Green Building*. USA: Green Technology Forum, 60-88.

Forbes, P. (2008) Self-cleaning materials: lotus leaf-inspired nanotechnology. *Scientific American Magazine*, 7, 1-5.

Fujishima, A. and Zhang, X. (2005). Titanium Dioxide Photocatalysis, Situation and Future Approaches. *Comptes Rendus*, 9, 750-760.

Fürstner, R., Barthlott, W., Neinhuis, C. and Walzel, P. (2005). Wetting and Self-Cleaning Properties of Artificial Superhydrophobic Surfaces. *Langmuir*, 21, 956-961.

Gurav, J. L., Jung, I. K., Park, H. H., Kang, E. S. and Nadargi, D. Y. (2010). Silica Aerogel: Synthesis And Applications. *Journal of Nanomaterials*, 2010 (409310), 1-11.

Güneşoğlu, C. (2006). Spor Giysiler Kumaşların Performans Özelliklerinin Nanoteknolojik Ürünler Kullanılarak Geliştirilmesi ve Aplikasyon Tekniklerinin Karşılaştırılması. Doktora Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.

Gür, M. (2010). Nanomimarlık Bağlamında Nanomalzemeler. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 15 (2), 81-90.

Güvenç, Z. B. (2008). Nanoteknoloji ile Marka Yaratabilmek İçin Doğru Model Küme Oluşturmaktır. *Gündem Dergisi*, 28, 79-80.

Han, B., Yu, X. and Ou, J. (2011). Multifunctional and Smart Carbon Nanotube Reinforced Cement-Based Materials. (eds: Gopalakrishnan vd.), *Nanotechnology in Civil Infrastructure*, Berlin, 1-47.

Harman, S. (2011). Nanoteknolojinin Mimariye Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.

Hoffmann, M.R., Martin, S.T., Wonyong Choi, W. and Bahnemann, D.W., (1995). Environmental Applications of Semiconductor Photocatalysis, *Chemical Reviews*, 95 (1), 69-96.

Hoşkara, E. (2007). Ülkesel Koşullara Uygun Sürdürülebilir Yapım İçin Stratejik Yönetim Modeli. Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.

Invernizzi, N., Foladori, G. ve Maclurcan, D. (2008). Nanotechnology's Cotroversial Role for the South. *Technology and Society*, 13 (1), 123-148.

Johansen, M. J., (2002). *Nanoarchitecture: A new Species of Architecture*. Newyork: Princeton Architectural Press, 60-88.

Kaplan, Ş. Ş., Karanfil T. ve Kitiş M. (2007). Nano-Materyallerin Potansiyel Çevresel Etkileri. *Yaşam-Çevre-Teknoloji, 7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, TMMOB-Çevre Mühendisleri Odası İzmir*, 845-847.

Kasap, M. (2012). Nanoteknolojik Malzemelerin Mekan Tasarımındaki Yansımalarına Genel Bir Bakış. Yüksek Lisans Tezi, *Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İç Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.

Kats G. (2008). The Cost and Financial Benefits of Green Building. *A Report to California's Sustainable Building Task Force*,3, 1-8.

Kaya, H. (2012). Ölçütlere Dayalı Değerlendirme ve Sertifika Metotlarından Leed ve Breeam'in Türkiye Uygulamalarına Yönelik İrdeleme ve Öneriler. Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yapı Bilgisi Anabilim Dalı, İzmir.

Kayır, Y. Z. ve Baççıl, E. G. (2010). Nanoteknoloji Nedir?. *15. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi*, İstanbul, 1-14.

Kökdemir Ünşar, E. (2013). Nanopartiküllerin Eysel Arıtma Çamurlarının Anaerobik Parçalanabilirliği Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya.*

Kumlutaş, D ve Yılmaz, U. (2008). Binalarda Vakum İzolasyon Panelleri Kullanılmasının Soğutma Yüküne Olan Etkisi. *Mühendislik ve Makine*, 49 (583), 10-16.

Kutlu R. ve Manav B. (2010). Aydınlatmada Nanoteknolojik Gelişmeler ve Enerji Etkin Kabuk Tasarımı. *Ekoyapı*,9, 96-99.

Küçükyıldırım, O. B. (2011). Quality Parameters in Nanotechnologic Applications. *5th International Quality Conference, Kragujevac*, 11, 289-294.

Leydecker, S. (2008). *Nano Materials in Architecture, Interior Architecture and Design*. Boston: Business Media,4, 55-66.

Makar, J. (2011). The Effect of SWCNT and Other Nanomaterials on Cement Hydration and Reinforcement. (eds: K. Gopalakrishnan vd.), *Nanotechnology in Civil Infrastructure*, Berlin, 103–130.

Mann, S. (2006). Nanotechnology and Construction. *Nanoforum Report, European Commission*,9, 6-20.

Mehdinezhad, M., Nikbakht, H. and Nowruzi, S. (2013). Application of Nanotechnology İn Construction Industry. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, 3 (8), 509-519.

Mendler, F. S. and Odell, W. (2000). *The HOK Guidebook to Sustainable Design*. New Jersey: Wiley, 254-325.

Merz, M. and Biniok, P. (2010). How Technology Platforms Reconfigure Science-Industry Relations: The Cast of Micro and Nanotechnology. *Minerva*, 48, 105-124.



Miralaei, M. (2015). The Influence of Nanotechnology over Redesigning and Improving the Elements of Architecture. *Afghanistan Quarterly*, 11 (2), 131-143.

Mohammed, A. S. Y. (2015). Nano-Innovation in Construction, A New Era of Sustainability. *2015 International Conference on Environment and Civil Engineering (ICEACE'2015)*, Pattaya, 95-114.

Mukhopadhyay, A. K. (2011). Next-Generation Nano-based Concrete Construction Products: A Review. (eds: K. Gopalakrishnan vd.), *Nanotechnology in Civil Infrastructure*, Berlin, 207–223.

Naschie, M., S., E., (2006). Nanotechnology for the Developing World. *Chaos Solitons and Fractals*, 30, 4769-773.

Nielsen, E. (2008). Nanotechnology and Its Impact on Consumers, Report to the Consumer Council of Canada. *Nanotechnology and Its Impact on Consumers*, 9-14.

Orhon, A. V. (2013). Akıllı Yapı Kabukları. *11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, Bina Fiziği Sempozyumu, İzmir, 1481-1487.

Orhon, A. V. (2014). Kendini Temizleyen Cephe Sistemleri. *7. Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu*, İstanbul, 1-9.

Ökmen, M. (1996). Teknoloji, Tüketim Ve Çevre Sorunları. *Ekoloji Dergisi*, 19, 4-7.

Özdoğan, E., Demir, A. ve Seventekin, N. (2006). Lotus Etkili Yüzeyler. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 41, 287-290.

Özer, Y. (2008). Nanobilim ve Nanoteknoloji: Ülke Güvenliği / Etkinliği Açısından Doğru Modelin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *T.C. Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü*, Teknoloji Yönetimi Anabilim Dalı, Ankara.

Özgür, H., Gemici, Z. ve Bayındır M. (2007). Akıllı Nanoyüzeyler. *Bilim ve Teknik Dergisi*, 473, 52-56.

Pamuk, R. ve Kuruoğlu, M. (2016). İnşaat Sektöründe Sürdürülebilirlik ve Bina İnşaatlarında Evrensel Uygulama Örnekleri. *Beykent Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9 (1), 161-177.

Pauli, G. (2010). *The Blue Economy: 10 years - 100 innovations - 100 million jobs*. New Mexico: Paradigma Publications, 41-44.

Perker, Z. S. (2010). Nanoteknoloji ve Yapı Malzemesi Alanına Etkileri. *e-Journal of New World Sciences Academy Engineering Sciences*, 1A0114, 5 (4), 639-648.

Plessis, D. C. (2002). Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries. *Programme for Sustainable Human Settlements, CSIR Building and Construction Technology*, 6, 1-7.

Ritter A. (2007). *Smart Materials in Architecture, Interior Architecture and Design*. Berlin: Birkhauser, 34-42.

Schummer, J. (2007). *The Impact of Nanotechnologies on Developing Countries*. New Jersey: Wiley, 154-170.

Selman, P. (1995). Local sustainability: can the planning system help get us from here to there?. *Town Planning Review*, 3 (66).

Sev, A. ve 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.

Smith, P. (2005). *Architecture in a Climate of Change*. USA: Architectural Press, 68-77.

STO (2005). *Facade coatings with Lotus-Effect*. Technical Brochure: Art., 61-178.

şam, E.D., Ürgen, M. ve Tepehan, F. Z. (2007). TiO<sub>2</sub> Fotokatalistleri. *İtüdergisi/d mühendislik*, 6 (5-6), 81-92.

Tekin, Ö. F., Eşit, M., ve Varınca, K. B. (2014). *İnşaat Sektöründe Çevresel Kaygılara Çözüm Önerileri: Sürdürülebilirlik ve Yeşil Binalar*. Adıyaman: Adıyaman Üniversitesi Yayınları, 651-661.

Tırıs, M. (2008). Enerji ve Nanoteknoloji. *Nanoteknolojide Ürüne Dönüştürülebilir Araştırma Ve Ticarileştirme Konferansı Ve Proje Pazarı*, İstanbul.

Vigneshkumar, C. (2014). Study on Nanomaterials and Application of Nanotechnology and Its Impacts in Construction. *Discovery*, 23 (75), 8-12.

Vuceljic, S. V. (2009). Application of Smart Materials in Retrofitting Homes Can Help Housing Energy Efficiency. *Union University of Belgrade*.

Yağlı, S. (2019). Teknolojik Gelişmelerin Etkisi İle Yüzeylerde Malzeme Kullanımı: Akıllı Malzemeler. Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü, İç Mimarlık ve Çevre Anabilim Dalı*, Ankara.

Zhu, W., Bartos, P. J. M. and Porro, A. (2004). Application of Nanotechnology in Construction. *Materials and Structures*, 37, 649-658.

Wang, R., Hashimoto, K., Fujishima, A., Chikuni, M., Kojima, E., Kitamura, A., Shimohigoshi, M. and Watanabe, T., (1997). Light-Induced Amphiphilic Surfaces, *Nature*, 388, 431–432.

URL 1: <https://gelisenbeyin.net/nanoteknolojinin-yararlari-nelerdir.html>, [online], (25 Ocak 2019).

URL 2: <http://www.globalparking.com.tr>, [online], (6 Mart 2019).

URL 3: <http://onur-kart.blogcu.com/nano-islenmis-beton/12015468>, [online], (15 Şubat 2019).

URL 4: <http://www.fibrobeton.com.tr>, [online], (15 Şubat 2019).

URL 5: <http://www.mmfsteel.com/index.shtml>, [online], (17 Şubat 2019).

URL 6: <https://www.nasiol.com>, [online], (19 Şubat 2019).

- URL 7: <http://www.yapi.com.tr>, [online], (21 Şubat 2019).
- URL 8: <https://www.batucamfilmi.com/guneskontrolfilmi.asp>, [online], (24 Şubat 2019).
- URL 9: <http://www.an-bonano.com.tr>, [online], (26 Şubat 2019).
- URL 10: <https://www.nasiol.com>, [online], (28 Şubat 2019).
- URL 11: Özcan, K. Ve Kanat, A. (2014). Biyo – Benzetim [online]. (1 Mart 2019), <http://derinuzay.org.tr/1022>
- URL 12: [https://www.bilgilerdunyasi.net/completed/makaleler\\_sayfalar/bilimsel\\_konular/ken\\_dini\\_temizleyen\\_yapraklarin\\_sirri.html](https://www.bilgilerdunyasi.net/completed/makaleler_sayfalar/bilimsel_konular/ken_dini_temizleyen_yapraklarin_sirri.html), [online], (1 Mart 2019).
- URL 13: <https://yaratilis.com>, [online], (1 Mart 2019).
- URL 14: <https://gaiadergi.com/hem-sifa-hem-de-ruya-gibi-bir-bitki-nilufer/>, [online], (1 Mart 2019).
- URL 15: <http://www.romemuseumguide.com/museo-dell-ara-pacis/>, [online], (3 Mart 2019).
- URL 16: <https://arquigrafico.com/cristal-autolimpiable-como-tener-vidrios-exteriores-limpios-sin-esfuerzo/>, [online], (4 Mart 2019).
- URL 17: <http://avciarchitects.com/tr/leed-sertifikasi/>, [online], (25 Mart 2019).
- URL 18: <https://www.archdaily.com>, [online], (26 Mart 2019).
- URL 19: <http://www.richardmeier.com/?projects=jubilee-church-2>, [online], (6 Mart 2019).
- URL 20: <https://forum.bordomavi.net/archive/index.php/t-8165-p-64.html>, [online], (6 Mart 2019).

URL 21: <http://palmspringsdoorandwindow.com/entry/shop/wasco-skylights/>, [online], (26 Mart 2019).

URL 22: <https://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=1007.php>, [online], (28 Mart 2019).

URL 23: <https://www.coroflot.com/omarhuerta/Light-Tree>, [online], (9 Mart 2019).

URL 24: <https://www.pinterest.de/pin/364862007297604775/>, [online], (9 Mart 2019).

URL 25: <https://inhabitat.com/smart-wrap/smartwrapjpg/>, [online], (9 Mart 2019).

URL 26: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org), [online], (11 Mart 2019).

URL 27: <http://solar.inventoturkiye.com/a-si-thin-film-solar-panel-a-si-ince-film-gunes-paneli/>, [online], (11 Mart 2019).

URL 28: <https://muyendiz.com/gunes-pili-cesitleri-ve-siniflandirilmasi/>, [online], (11 Mart 2019).



# **EKLER**

## 6. EKLER

### EK A “Nanoteknolojik Yapı Malzemeleri Hakkında Anket Formu”

Yapı Sektöründe Nanoteknoloji

NANOMİMARLIK VE NANOTEKNOLOJİK YAPI MALZEMELERİNİN YAPI SEKTÖRÜNE ADAPTASYONU

Bu anket; “NANOMİMARLIK VE NANOTEKNOLOJİK YAPI MALZEMELERİNİN YAPI SEKTÖRÜNE ADAPTASYONU” başlıklı yüksek lisans tez çalışması için hazırlanmıştır. Anketin sonuçları, bu akademik çalışma kapsamında kullanılacaktır. Bizimle değerli görüşlerinizi paylaştığınız için teşekkür ederiz.

Dr. Öğr. Üyesi Yeliz TULUBAŞ GÖKUÇ  
Mimar Sezgi TURUNÇ

1. Firmanız sektörde kaç yıldır faaliyet göstermektedir?

- 0-5 yıl  
 6-10 yıl  
 11-15 yıl  
 16-20 yıl  
 21+ yıl

2. Firmanız hangi ilde faaliyet göstermektedir?

3. Sektörde kaç yıldır çalışıyorsunuz?

- 1-3 yıl  
 4-10 yıl  
 11-15 yıl  
 16-20 yıl  
 20+ yıl

4. Genel olarak Nanoteknoloji konusundaki bilgi düzeyiniz nedir?

- Hiçbir fikrim yok  
 Biraz  
 Orta seviyede  
 Fazla  
 Çok fazla

5. Firmanız tarafından nanoteknolojik yapı malzemeleri kullanılmakta mıdır? Kullanılanları işaretleyiniz.

- Nanoteknolojik yapı malzemesi kullanılmamaktadır.
- Karbon nanotüpler (CNT), Silika (SiO<sub>2</sub>) ya da Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren kendi kendinin temizleyen beton
- Nanokompozit Çelik
- Nano Ahşap
- Cam (Kendi kendini temizleyebilen, ışığı absorbe edebilen)
- Buğulanmaya Karşı Etkili Nanomalzemeler
- Kendi Kendini Temizleyebilen Kaplamalar/Boyalar (Gümüş (Ag) Partiküller)
- Kolay temizlenebilen ya da bakteri önleyici (ECT) seramik nanomalzemeler
- Yangın Korunumu Sağlayan Nanomalzemeler
- Termal yalıtım için kullanılan nanomalzemeler (Aerogel)
- Havayı temizleyen, hava kalitesini artıran nanomalzemeler

6. Yapı sektöründe nanoteknolojik malzemelerinin kullanılmasının önündeki en büyük engel nedir?

- Mimarların farkındalığının olmaması
- Yüklenici ya da yatırımcıların Nanoteknolojinin katma değerini önemsememeleri
- Nanoteknolojik malzemenin maliyeti
- Sağlık ve çevre ile ilgili riskler
- Kalifiye işgücü azlığı
- Yönetim düzeyindeki engeller
- Nanoteknoloji konusunda teknik destek ve danışmanlıkların yetersiz oluşu



7. Aşağıdaki ifadelere ne derecede katıldığınızı 1 (hiç katılmıyorum) ile 5 (tamamen katılıyorum) arasında değişen bir ölçek üzerinden işaretleyiniz.

	Hiç Katılmıyorum	Katılmıyorum	Kararsızım	Katılıyorum	Tamamen Katılıyorum
Firmamız Nanoteknoloji konusunda gerekli yatırımı yapar.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Firmamızda Nanoteknoloji konusunda çalışan uzman / araştırma grubu bulunmaktadır.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Yapı sektöründe Nanoteknoloji konusunda yeterli seviyede çalışma yapılmaktadır.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Yakın gelecekte uluslararası pazarlarda nanoteknoloji konusundaki yeterlilik seviyesi hayati önem taşıyacaktır.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Firmamızda sektörde sürdürülebilirlik öne çıktığı için nanoteknolojik yeniliklerin adaptasyonu önemlidir.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

KATILDIĞINIZ İÇİN TEŞEKKÜR EDERİ