
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

YAPILI ÇEVRELERDE NANOTEKNOLOJİ KULLANIMI VE İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Melek SARIKÖSE

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEMMUZ 2018

Melek SARIKÖSE tarafından hazırlanan "YAPILI ÇEVRELERDE NANOTEKNOLOJİ KULLANIMI VE İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Mimarlık Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK

Mimarlık Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum. ...……

Başkan: Prof. Dr. Figen BEYHAN

Mimarlık Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum. ……...

Üye: Doç. Dr. Arzuhan Burcu GÜLTEKİN

Gayrimenkul Geliştirme ve Yönetimi Anabilim Dalı, Ankara Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum. ……...

Tez Savunma Tarihi: 27/07/2018

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

……..…….

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Melek SARIKÖSE

27/07/2018

YAPILI ÇEVRELERDE NANOTEKNOLOJİ KULLANIMI VE İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Melek SARIKÖSE

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2018

ÖZET

Nanoteknoloji nano ölçekli yapılar üzerinde yoğunlaşan bir bilim dalıdır. Nanoteknoloji ile atomik ve moleküler boyutta maddeye müdahale edilmesi yeni ve üstün özelliklerde malzemeler üretilebilmesi amaçlanmıştır. Diğer disiplinlerde olduğu gibi nano malzemelerin mimarlıktaki uygulamaları incelendiğinde nano teknoloji sayesinde dayanıklı, verimi ve performansı yüksek yapılar elde edildiği görülmektedir. Binalarda nanoteknolojik uygulamalar ile birlikte özellikle yalıtım ve enerji etkinliği bağlamında çok önemli gelişmeler olmaktadır. Öte yandan son yıllarda nano teknoloji kullanımının insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini araştıran çalışmaların sayısında da artış görülmektedir. Bu bağlamda çalışmada yapılı çevrelerde kullanılan nanoteknoloji ürünlerinin insan sağlığı üzerindeki etkisi üzerine bir araştırma yapılmıştır. Öncelikle yapılı çevrelerde kullanılan nanomalzemeler incelenerek kullanım alanlarına ve yapısal özelliklerine göre sınıflandırılmış, üstün ve zayıf yönleri tartışılmıştır. Daha sonra yapılı çevrelerde kullanılan söz konusu malzeme ve teknolojilerin insan sağlığı üzerindeki ektisini inceleyen disiplinlerarası çalışmalara başvurularak olası etkileri gösteren bir haritalama çalışması gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, söz konusu teknolojilerin son derece üstün özelliklerinin yanısıra açığa çıkabilecek nano-partiküllerin insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilerinin olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, nano malzemelerin üretim biçimlerinin ve kullanım alanlarının yeniden gözden geçirilmesi ve yapılı çevrelerde hedeflenen sürdürlebilir yeşil nanomimarlık için nanoteknolojik yeniliklerin yapılması gerektiği sonucuna ulaşımıştır.

Bilim Kodu	:	80111
Anahtar Kelimeler	:	İnsan sağlığı, nano malzemeler, nanoteknoloji, yapılı çevreler, yeşil nanoteknoloji
Sayfa Adedi	:	109
Danışman	:	Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK

NANOTECHNOLOGY USAGE IN BUILT ENVIRONMENTS AND ITS EFFECT ON HUMAN HEALTH

(M. Sc. Thesis)

Melek SARIKÖSE

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2018

ABSTRACT

Nanotechnology is a scientific discipline that focuses on nanoscale structures. It is aimed to be able to produce materials with new and superior properties by interfering with materials at atomic and molecular dimensions with nanotechnology. As in other disciplines, when nanotechnology applications in architecture are examined, it is seen that nanotechnology provides robust, efficient and high performance structures. Along with the nanotechnological applications in the buildings, there are significant developments especially in the context of insulation and energy efficiency. On the other hand, the number of studies investigating the adverse effects of using nanotechnology on human health has increased in recent years. In this context, a study has been carried out on the effect of nanotechnology products used in built environments on human health. Firstly, nanomaterials used in the built environments are examined and classified according to their usage areas and structural characteristics, and their superior and weaknesses are discussed. Later, a mapping study has been carried out showing the possible effects of the nano materials and technologies used in the built environments on human health by revisiting interdisciplinary studies. The results show that, contrary to the superior properties of these technologies, the nanoparticles in nano materials may have negative effects on human health. In this context, as a conclusion it is possible to claim that production methods and usage areas of nano materials should be revisited and for the expected sustainable green nanomaterials nanotechnological innovations should be performed.

Science Code	:	80111
Key Words	:	Built environment, green nanotechnology, human health, nano materials, green nanotechnology
Page Number	:	109
Supervisor	:	Assoc. Prof. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK

TEŞEKKÜR

Tez çalışma sürecim boyunca bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşmaktan hiç çekinmeyen, ihtiyaç duyduğum her an kendisine ulaşabildiğim, tez süreci boyunca yaşadığım tüm zorluklara rağmen beni motive ederek, yardımlarını ve manevi desteğini hiç esirgemeyen değerli Danışmanım Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK'a tüm katkılarından dolayı teşekkürü bir borç biliyor ve şükranlarımı sunuyorum. Bu tez çalışmamda her türlü maddi ve manevi desteğini hiç esirgemeyen, her zaman destek ve yardımlarını hissettiğim önce aileme ve annem Nedime KARAYILMAZ'a, sonra da hayatıma anlam katan, anlayışını ve desteğini herzaman yanımda hissettiğim eşim Mehmet SARIKÖSE'ye ve çocuklarıma, katkı ve emekleri için arkadaşım Hilal KAYA'ya teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ ix

ŞEKİLLERİN LİSTESİ x

RESİMLERİN LİSTESİ xi

SİMGELER VE KISALTMALAR xiii

1. GİRİŞ 1

2. NANOMİMARLIK: MİMARLIĞIN YENİ VİZYONU 5

2.1. Nanoteknoloji ve Nano Ölçek 6

2.1.1. Nanoteknolojinin tarihsel gelişimi 7

2.1.2. Nanoteknoloji ve uygulama alanları 9

2.1.3. Nanoteknolojinin mimarlığa etkileri 9

2.2. Nanomimarlık 11

2.2.1.Sürdürülebilir nanomimarlık 16

2.2.2.Yeşil nanoteknoloji 18

2.2.3. Sürdürülebilir nanomimarlık için nanotek yenilikler 22

3. NANOTEKNOLOJİ ÇAĞINDA BİNA YAPIMI 25

3.1. Nanoyapılı Malzemeler ve Nanokompozitler 25

3.2. Bina Yapımında Kullanılan Nanoteknolojik Ürünler 27

3.2.1. Strüktürel malzemeler 29

3.2.2. Strüktürel olmayan malzemeler 37

Sayfa

3.2.3. Koruma amaçlı uygulamalar 41

4. NANOMALZEMELERİN İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNDEKİ OLASI ETKİLERİ ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME 71

4.1. Nanoteknolojinin Günlük Yaşamımızdaki Kullanım Alanları..... 72

4.2. Çevrede ve İnsan Vücudunda Nanopartikül Maruziyeti 76

4.3. Mimarlıkta Kullanılan Nanopartiküllerin Sağlık Üzerindeki Etkileri ve Yapılan Deneyler 79

5. SONUÇ VE ÖNERİLER..... 95

KAYNAKLAR 99

ÖZGEÇMİŞ 109

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 3.1. a) Polimer bazlı nanokompozitler, b) Polimer bazlı olmayan nanokompozitler 26

Çizelge 3.2. Yapılı çevrelerde nanoteknolojik uygulamalar 28

Çizelge 3.3. Silika Aerojelin fiziksel özellikleri 57

Çizelge 4.1. Nanopartiküller ve kullanım amaçları 81

Çizelge 4.2. Titanyum dioksit nanopartiküllerin kıyas tablosu 85

Çizelge 4.3. Gümüş nanopartiküllerin kıyas tablosu 86

Çizelge 4.4. Silisyum Dioksit nanopartiküllerin kıyas tablosu 87

Çizelge 4.5. Alüminyum Oksit nanopartiküllerin kıyas tablosu 87

Çizelge 4.6. Karbon nanotüplerin kıyas tablosu 90

Çizelge 4.7. Kuantum noktaların kıyas tablosu 91

Çizelge 4.8. Fullerenlerin kıyas tablosu 92

Çizelge 4.9. Genel değerlendirme tablosu 93

Çizelge 5.1. Nanoteknolojinin mimarlıktaki etki alanları 97

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Mikro ölçek ve nano ölçek arasındaki kıyaslamayı gösteren tablo 7

Şekil 2.2. Moleküler üretilen ev 14

Şekil 2.3. Çok katlı apartman 15

Şekil 3.1. Susuz beton çalışma prensibi 33

Şekil 3.2. Termokromik camların kullanımı 38

Şekil 3.3. Fotokromik camların kullanımı 39

Şekil 3.4. Elektrokromik cam katmanları 40

Şekil 3.5. Hidrofilik ve hidrofobik yüzeyler 44

Şekil 3.6. Süperhidrofilik yüzey özellikleri 45

Şekil 3.7. Fotokataliz olayının çalışma prensibi 47

Şekil 3.8. Vakumlu yalıtım paneli bileşenleri 61

Şekil 3.9. OLED katmanları 65

Şekil 4.1. Günlük yaşamda kullanılan nanomalzemeler 74

Şekil 4.2. Günlük yaşamda kullanılan nanomalzemeler 75

Şekil 4.3. İnsan vücudunda nanomalzeme maaruziyet noktaları 77

Şekil 4.4. a) Tek duvarlı karbon nanotüpler, b) Çok duvarlı karbon nanotüpler 88

Şekil 4.5. a) Nanotorus, b) Nanobudlar 88

Şekil 4.6. Fullerenler 91

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 2.1. a) Jetson Green Kule, b) Nano strüktür detayı 13

Resim 2.2. Moleküler üretilen ev 13

Resim 3.1. Tek duvarlı karbon nanotüp içeren hidrate olmuş Portland çimentolu kompozit malzemedeki çatlağın nanotüplerle engellenmesi 21

Resim 3.2. Hava temizleyen malzemelerin iç ve dış ortamda kullanımı 42

Resim 3.3. Lotus bitkisinin üzerindeki su damlalarını hareket ettirerek kendinden uzaklaştırması 46

Resim 3.4. Ara Pacis Müzesi 46

Resim 3.5. G-Flat Binasında fotokatalitik nanokaplama kullanılması 48

Resim 3.6. Leke tutmayan ve kolay temizlenen yüzeyler 49

Resim 3.7. Kolay temizlenebilir yüzey kaplamalarının kullanımı 49

Resim 3.8. Antibakteriyel malzeme kullanımı 51

Resim 3.9. Anti-Grafiti malzeme kullanımı 51

Resim 3.10. New Centre Binası ve antigrafiti kaplamaların kullanılması..... 52

Resim 3.11. Buhar oluşumunu engelleyen nanokaplamalar..... 53

Resim 3.12. Yansımayı engelleyen cam kaplamalarının kullanıldığı ve kullanılmadığı fotovotaik paneller..... 53

Resim 3.13. Parmak izi oluşumunu engelleyen nanokaplamaların kullanımı..... 54

Resim 3.14. Tuğlalarda hidrofobik kaplama uygulanması..... 54

Resim 3.15. Aerojel yalıtım malzemesi 55

Resim 3.16. Aerojel içerisindeki yarısaydam nanojel granüller..... 57

Resim 3.17. Aerojel esaslı ısı yalıtm örtüleri..... 58

Resim 3.18. Icarus Binasında Aerojel içeren ETFE paneller 59

Resim 3.19. Vakumlu yalıtım paneli örnekleri..... 60

Resim **Sayfa**

Resim 3.20. Nanojel dolgulu çoklu duvar paneli kullanımı, spor salonu, Carquefou, Fransa 62

Resim 3.21. Seitzstrasse Binasında vakumlu yalıtım paneli kullanımı 63

Resim 3.22. LED aydınlatma elemanları 64

Resim 3.23. Kuantum Noktalarla üretilen aydınlatma elemanları 65

Resim 3.24. Sur Falveng Binası-Faz değiştiren malzemelerin kullanımı 67

Resim 3.25. Sur Falveng Binası-Faz değiştiren malzemelerin kullanımı 67

Resim 3.26. UV ışınlara karşı kullanılan ince film yalıtımı 68

Resim 4.1. Titanyum dioksit maddesi 83

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	**Açıklamalar**
cm	Santimetre
°C	Derece selsius
GPa	Gigapaskal
kg	Kilogram
m^3	Metreküp
mm	Milimetre
Nm	Nanometre
µm	Mikrometre

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
AFM	Atomik kuvvet mikroskobu
$CaCO_3$	Kalsiyum karbonat
CO_2	Karbon dioksit
CSH	Kalsiyum silikat hidrat
ÇDKNT	Çok duvarlı karbon nanotüp
FDM	Faz değiştiren malzemeler
Fe_2O_3	Demir oksit
FV	Fotovoltaik
HBS	Hasta bina sendromu
KNT	Karbon nanotüp
LED	Işık yayan diyotlar
MEMS	Mikro elektrik mekanik sistemler
OLED	Organik ışık yayan diyotlar
SEM	Taramakı elektron mikroskobu
SiO_2	Silisyum dioksit

Kısaltmalar	Açıklamalar
TDKNT	Tek duvarlı karbon nanotüp
TiO_2	Titanyum dioksit
UHPC	Ultra yüksek performanslı beton
UV	Ultra viyole
VYP	Vakumlu yalıtım paneli
WHO	Dünya sağlık örgütü

1. GİRİŞ

Tezin kapsamı

Nanoteknoloji 1970' lerde keşfi yapılmış, birçok farklı sektörde yeni fırsatlar ortaya koyan bir bilim dalıdır. Bu konuda yapılan araştırmalar 2000'li yıllardan sonra büyük bir ivme kazanmıştır. Nanoteknolojinin mimarlıkta kullanılması hem tasarım hem de malzeme boyutunda mimariyi etkilemiştir. Nanoteknoloji ile birlikte değişmekte ve gelişmekte olan nano ölçekte kontrol edilebilir materyallerin, yapılı çevrelerdeki algılanma ve uygulama biçimlerinin her geçen gün değişerek arttığı söylenebilir. Son yıllarda yapılan araştırmalar ve uygulamalar, nanoteknolojinin, mimaride gerçek işlevselliklere ve gelişmiş özelliklere sahip yenilikçi malzemeler üretme potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Nanomalzemelerin yapılı çevrelerde kullanımı ile ilgili olarak hazırlanan bu çalışmada binalarda nanoteknoloji uygulamaları ve bu uygulamaların bina bileşenlerinde sağladığı katkılar ile bu malzemelerin insan sağlığına olası etkileri üzerinde durulmuş, nanoteknolojinin sağladığı avantajların sürdürülebilir mimarlık anlayışı içerisinde daha etkin olarak nasıl kullanılabileceği tartışılmıştır. Nanomalzemelerin binalarda kullanılması daha verimli, dayanıklı, performansı yüksek binalar elde edilmesine yardımcı olmasının yanı sıra kendi kendine temizlenen, çizilmeyen, leke tutmayan, antibakteriyel olma gibi özelliklere sahip etkin yüzeylerin yapılı çevrelerde kullanılmasına da olanak tanımaktadır. Yalıtım amaçlı kullanılan nanomalzemeler, normal yalıtım malzemelerine göre 10 kata kadar daha etkili yalıtım sağlayarak, enerji korunumu anlamında oldukça önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu avantajların yanı sıra nanomalzemelerin insan sağlığı üzerindeki etkilerine dair yapılan araştırmaların sınırlı olması nedeniyle bazı endişeler söz konusudur. Nanopartiküllerin çevrede ve biyolojik sistemler üzerindeki hareketleri, taşınmaları, maruziyet yolları ve toksisiteleri hakkındaki araştırmalar güncelliğini korumaktadır.

Araştıma sorusu ve hipotez

Yapılı çevrelerde sıklıkla kullanılan nanomalzemeler nelerdir, bu malzemelerin insan sağlığı üzerinde olumsuz etkisi var mıdır? Yapılı çevrelerin, özellikle binaların hem yapım aşamasında hem de sonrasında kullanılabilen ve erişimi kolay olan nanomalzemelerin

insan sağlığı üzerinde negsatif etkileri bulunmaktadır. Bu sebeple yeni nesil sürdürülebilir yeşil nanoteknolojilerin geliştirilmesi gerekmektedir.

Literatür araştırması

Araştırmalar sonucu yapı malzemeleri ile ilgili çok fazla araştırmanın mevcut olduğu görülmüş, nanomalzemeler ile ilgili yapılan çalışmalarda ise 2000'li yıllardan sonra dünya genelinde artış olduğu belirlenmiştir. Türkiye'de ise nanomalzeme çalşmaları konusunda 2010'lardan sonra bir farkındalık oluştuğu söylenebilir.

Kurgulanan hipotez doğrultusunda ilk etapta yapılan ön araştırmada, mimarlıkta nanomalzemelerin kullanımı ile ilgili olarak Türkiye'de yapılmış araştırma ve çalışmaların (makale, yüksek lisans ve doktora tezleri, kitaplar, sempozyum ve kongre bildirileri, ders notları) çok sınırlı olduğu görülmüş, uluslararası platformlarda ise bu çalışmaların daha detaylı şekilde yapıldığı tespit edilmiştir.

Tez konusu ile ilgili olarak yapılan kaynak taramasında nanomalzemelerin yapılı çevrelerde kullanımı ve insan sağlığı üzerindeki etkilerine dair hazırlanmış Türkçe kaynakların çok sınırlı olması sebebiyle, daha çok yabancı kaynaklardan faydanılmış ve tezin genel strüktürü oluşturulmuştur. Araştırma aşamasında yararlanılmış olan kitap, tez, makale ve diğer kaynaklar son bölümdeki kaynaklar kısmında gösterilmiştir. Bu konudaki güncel araştırmaların ve nanomalzeme ile ilgili çağdaş gelişmelerin ortaya konulmasıyla tezin Türkçe literatüre katkı sağlaması amaçlanmıştır.

Araştırmanın amacı

Yapılı çevrelerde nanomalzeme kullanımı ve nanomalzemelerin insan sağlığı üzerindeki olası etkilerinin araştırıldığı bu çalışmada piyasada bulunan nanomalzemelerin mimaride kullanımı en geniş biçimde incelenerek, sağladığı birçok avantajın yanında olası olumsuz etkilerin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Nanoteknolojinin etkisindeki mimarlıkta "mimarlık-malzeme" ilişkisi yeniden ele alınmış ve nanomalzemelerin mimarlıktaki işlevselliği sorgulanmış, beton, çelik ahşap gibi strüktürel materyallerdeki katkıları ile cam, seramik ve plastikler gibi strüktürel olmayan elamanların kullanımında ve yapılardaki enerji korunumu odağında yararları belirtilmiştir. Bunların yanında nanomalzemelerin

insan sağlığı üzerindeki etkileri irdelenmiş bu olumsuz etkilerin ortadan kaldırılması adına sürdürülebilir yeşil nanomalzemelerin kullanılması gerektiği vurgulanmıştır.

Araştırmanın önemi

Teknolojide yaşanan hızlı gelişmelerle birlikte mimarlıkta nanomalzeme kullanımı tasarımcılara büyük firsatlar sunmakta tasarımın perspektifini genişleterek imkânsız gibi görünen şeyleri bile mümkün kılmaktadır. Bu bağlamda yapılı çevrelerde nanomalzeme uygulamaları ile ilgili araştırmaların tasarımcıların ve kullanıcıların bilgisine sunulması, binalardaki enerji verimliliği, dayanıklılık, uzun ömürlü olma, yaşam döngüsü maliyetlerinin düşmesi gibi konularda büyük katkılar sağlaması bakımından önem taşımaktadır. Tüm bunlarla birlikte kullanılan nanomalzemelerin insan sağlığı ve çevre üzerindeki muhtemel olumsuz etkilerinin detaylı araştırılması ve yaşanabilecek sağlık sorunlarında mimarın büyük sorumluluğunun olduğu ortaya konularak sürdürülebilir nitelikteki nanomalzemelerin kullanılması ve bu konudaki çalışmaların çok az olduğu akademik ortamda literatüre sağlanacak katkı oldukça önemlidir.

Varsayımlar ve sınırlılıklar

Bu tez çalışmasında nanoteknolojinin mimarlığa olan katkıları incelenmiş, nanomimarlık ve nanomalzeme uygulamaları özelinde, yapılı çevrelerde nanomalzeme kullanımı ve bu uygulamaların çevre ve insan sağlığı üzerindeki olası olumsuz etkileri değerlendirilmiş, sürdürülebilir mimari yaklaşımlar bağlamında yeşil nanomimarlık kavramı ve yeşil nanomalzeme kullanılmasının önemine vurgu yapılmıştır.

Çalışmada nanomalzeme kullanımının tasarıma ve yapılı çevrelere büyük katkılar sağladığı, mevcut eşsiz özellikleriyle tasarımların sınırlarını zorladığı, fakat bu uygulamalar kullanılırken insan sağlığına ciddi zararları bulunan belli nanopartiküllerin mevcut olduğunun bilinmesi gerektiği varsayımı üzerinde durulmuştur. Bu bağlamda sürdürülebilir yeşil nanoteknolojilerin kullanılması ve toksisitesi olmayan malzeme kullanımının önemi değerlendirilmiştir.

Materyal ve metod

Tez çalışması konu hakkındanki mevcut verilerin sınırlı olması, konunun anlaşılmasının sağlanması için gerekli bilgilerin ortaya konması ve verilerin sentezinin yapılmasında kolaylık sağlaması sebepleriyle nitel araştırma yöntemi ile hazırlanmıştır. Tez çalışmasında altı bölüm bulunmaktadır:

Birinci bölümde araştırma problemi ve konunun tanımı yapılmış araştırmanın amacı, araştırma sorusu ve hipotezi, önemi, varsayımlar ve materyal-metod anlatılmıştır.

İkinci bölümde nanoteknolojinin tanımı yapılmış, nanoteknolojinin tarihsel gelişimi ve uygulama alanları anlatılmış, nanomimarlık kavramı üzerinde durularak moleküler kodlama yöntemleriyle üretilen nanoteknolojik bina örnekleri gösterilmiştir. Sürdürülebilir nanomimarlık yaklaşımları ve yeşil nanomimarlık kavramı üzerinde durulmuş, nanomalzemelerin bina yaşam döngüsü üzerindeki katkıları anlatılmış ve sürdürülebilir yeşil nanomimarlık için çeşitli yeniliklerden bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümde nanoteknolojinin malzeme bazında mimarlığı etkilemesi ve nanoyapılı ürünler ile nanokompozitler tartışılmış, nanomalzemelerin mimarlıktaki uygulamaları 3 başlıkta incelenmiştir. Strüktürel olan ve strüktürel olmayan materyaller ile koruma amaçlı uygulanan nanomalzemelerden bahsedilmiştir.

Dördüncü bölümde nanomalzemelerin insan sağlığı üzerindeki olası olumsuz etkileri incelenmiş, genel olarak insan vücudundaki nanopartikül maruziyeti ve mimarlıkta kullanılan bazı nanopartiküllerin tanıtımı yapılarak avantajları ve dezavantajları yazar tarafından oluşturulan tablolar aracılığı ile belirtilmiştir.

Değerlendirme ve sonuç bölümünde ise yapılı çevrelerde kullanılan nanoteknoloji uygulamalarından ve nanomalzemelerden bahsedilmiş, bu malzemelerin insan sağlığı üzerindeki etkileri tartışılmıştır. Günlük yaşamda kullanılabilecek nanopartiküller ile ilgili genel bir karşılaştırma tablosu hazırlanarak, bu partiküllerin faydaları ve insan sağlığı üzerindeki zararları karşılaştırılmıştır.

2. NANOMİMARLIK: MİMARLIĞIN YENİ VİZYONU

Nanoteknoloji 1970'lerde keşfi yapılmış, günümüzde yaygınlığı ve uygulama alanları hızla artan, disiplinlerarası bir bilim dalıdır. Mimarlık alanında nanoteknolojinin kullanılmasıyla nanomimarlık olarak da isimlendirilen nanoteknolojik uygulamaların odağını malzemeler oluşturmaktadır. Nanoteknoloji, çok küçük malzeme parçalarının kullanılması ya da bu parçaların kullanılarak yeni büyük ölçekli malzemelerin oluşturulmasıdır. Nanoteknolojide en önemli faktör parçacık boyutudur. Nano ölçekte (yüz nanometreye kadar olan herhangi bir malzeme) malzeme özellikleri daha büyük ölçekteki malzemelere göre etkin bir şekilde farklıdır. Bu ölçekte yerçekiminin önemi kalmaz, elektrostatik kuvvetler etkin olmaya başlar ve kuantum etkiler devreye girer. Bu ölçekte önem arzeden bir diğer husus da, yüzeydeki atomların oranı içeridekilerle orantılı olarak artar ve bu durum özellikleri değişmesine neden olur. Nano ölçekte bilimin ve malzeme özelliklerinin gelişmesi yapı malzemelerinde özelliklerin iyileştirilmesi ya da iyileştirilmesi amacıyla yeni uygulamalar ve ürünlerin geliştirilebilmesi adına önemlidir. Örnek olarak büzülme, sünme, gözeneklilik, geçirgenlik ve elastik olma gibi çimento karışımlarının mekanik ve fiziksel özelliklerinin kaynağı olan temel kalsiyum-silikat-hidratın (C-S-H) yapısı daha etkili sonuç alınabilmesi için modifiye edilebilir. Nano ölçekte parçacıkları doğru kullanabilirsek bu durum makro ölçekteki özellikleri etkileyerek önemli oranda yeni malzeme ve süreçler üretmemize yardımcı olabilir. (Saurav, 2012)

Nanoteknoloji ile birlikte değişmekte ve gelişmekte olan kontrol edilebilir materyallerle, yapı alanındaki algıların, umutların ve kabiliyetlerin her geçen gün değişimi söz konusudur. Nanouygulamaların mimarlık alanında kullanılması ile enerji verimliliği, malzeme dayanıklılığı ve binaların güvenliğinin iyileştirilmesi, bakım kolaylığı sağlanması ve yaşam konforunun artırılması amacıyla farklı uygulamalar geliştirilmektedir. Nanoteknoloji sayesinde yenilikçi altyapı sistemlerinin tasarlanması inşaat mühendisliği uygulamalarının dönüştürülebilmesi adına umut vericidir. Örnek olarak, eşsiz özellikleri olan yeni malzemeler, daha güçlü ve daha hafif kompozitler, ses, ısı ve yangın yalıtımı, nano kil dolgulu polimerler, kendi kendini temizleyen yüzeyler, su itici kaplamalar, hava temizleme malzemeleri, nano ölçekli sensörler, güneş pilleri, ultra ince-güçlü iletken levhalar bu uygulamaların bazılarıdır. (Kothari and Dewalkar, 2016)

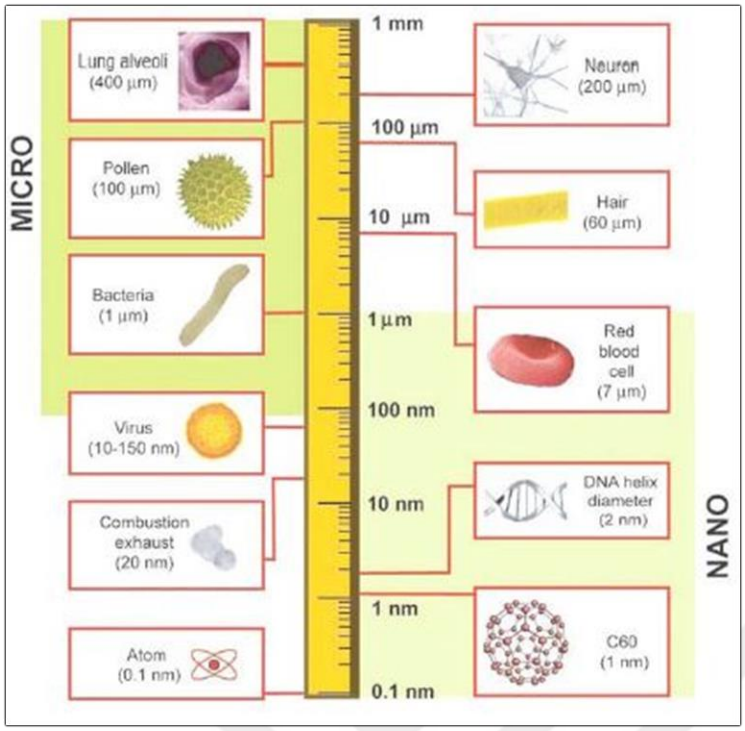
2.1. Nanoteknoloji ve Nanoölçek

Yunanca ve Latince' den alınmış bir sözcük olan "nano", kelime anlamı ile herhangi bir fiziksel büyüklüğün bir milyarda biri anlamına gelmektedir. Nanoteknolojinin tanımında çıkış noktasını oluşturan nanometre kavramı ele alındığında, bir nanometre, milimetrenin milyonda birini ifade etmektedir. Kullanılabilir niteliğe sahip bir nano yapı yaklaşık 1-100 nanometre arasında bir büyüklükte olup, nanoteknoloji genel olarak 100 nanometreden daha küçük boyuttaki malzeme, cihaz ve sistemlerle ilgilenmektedir (Gür, 2010).

Örneğin, Şekil 2.1. de görüldüğü gibi mikro ölçek ve nano ölçek arasındaki fark son derece büyüktür. Bir kırmızı kan hücresi 7000 nm iken, bir su molekülü 0,3 nm büyüklüğündedir. Bilim adamları nano ölçekle [100 nanometreden atom boyutuna kadar (yaklaşık 0,2 nm)] ilgilenir, çünkü malzemenin özellikleri bu ölçekte, daha büyük ölçektekinden farklılaşır (Harman, 2011). Nanoteknoloji atomik ve moleküler boyutta maddeye müdahale edilerek yeni malzemeler üretilmesine olanak tanımaktadır.

$1m = 10^3\ mm = 10^6\ \mu m = 10^9\ nm$

Nano ölçekte farklı fizik kanunlarının (kuantum fiziği gibi) devreye giriyor olması sebebiyle, maddenin kontrol edilmesi önem arz etmektedir; bu ölçekte metaller ve seramikler gibi geleneksel malzemeler oldukça radikal gelişmiş özellikler göstermekte ve normal malzeme davranışlarına baskın olarak yeni fonksiyonlar ve yüzey davranışları başlatarak tasarımcılar için yeni ufuklar açmaktadır. Nano ölçekteki yapıları kontrol edebilmek karbon nanotüpler gibi yenilikçi malzeme açılımları sağlamakta, bu malzemelerin ise çelikten onlarca kat daha güçlü çekme dayanımları bulunmaktadır (Zhu, Partos and Porro, 2004)



Şekil 2.1. Mikro ölçek ve Nano ölçek arasındaki kıyaslamayı gösteren tablo (Buzea, Blandino and Robbie, 2007)

2.1.1. Nanoteknolojinin tarihsel gelişimi

Nanoteknolojinin tarihsel sürecine bakıldığında temel fikirlerin Richard Feynman tarafından ortaya atıldığı görülmektedir. Feynman'ın 1959 yılında verdiği "Aşağıda Daha Çok Yer Var" başlıklı konferansı (El-Samny, 2008) bu anlamda önem taşımaktadır. Feynman söz konusu konferansta atom ve moleküllerin kontrol edilmesinin imkân dahilinde olduğundan bahsetmiş, ancak bunun gerçekleştirilebilmesinin yeni teknolojik gelişmelerle birlikte yeni cihazların geliştirilmesine bağlı olduğunu belirtmiştir. "Nanoteknoloji", bir terim olarak ilk defa 1974 yılında Tokyo Bilim Üniversitesi'nden Norio Taniguchi tarafından hazırlanan bir makalede kullanılmıştır. Söz konusu makalede nanoteknoloji, "genel anlamda malzemelerin atom-atom ya da molekül-molekül olarak ele alınması" olarak tanımlanmaktadır (Perker, 2010).

Nanoteknoloji alanında bir diğer önemli isim Eric Drexler'dır. 1980'lerde molekül boyutunda makineler, motorlar, robot ve hatta bilgisayarların üretilebileceğinden bahseden Drexler daha sonraki yıllarda nano boyutta cihazların üretilmesi konusunda çalışmalar yapmıştır. Drexler'ın 1986 yılında yayınlanan 2 kitabı "Yaratma Motorları: Nanoteknolojinin Yaklaşan Devri" ve "Nanosistemler: Moleküler Mekanizmalar, Üretim

ve Hesaplama" literatürdeki ilk kitaplar olarak yerini almıştır. Bu yayınlarda herhangi bir malzemenin geliştirilen nanorobotlar aracılığı ile atom–atom dizilebileceği fikri ortaya atılmıştır (Perker, 2010).

Nanoteknolojinin tarihsel sürecine bakıldığında önemli gelişmelerden biri de yeni cihazların üretilerek, farklı gelişmelerin yaşanmasına katkı sağlamasıdır. 1981 yılında taramalı tünelleme mikroskobunun (*scanning tunneling microscope)* bulunması, 1985'te küre yapılıların (*buckyballs)* keşfedilmesi, 1986 da atomik kuvvet mikroskobunun *(atomic force microscope)* bulunması, 1989 yılında bireysel atomların üzerine 'IBM' kelimesinin yazılması, 1990 yılında küre yapılıların makroskopik boyutlarda ilk üretimi, 1991 yılında nanotüplerin keşfedilmesi gibi buluşlar, aslında nanoteknoloji biliminin ne denli hızlı bir biçimde geliştiğinin de göstergeleridir. 2000'li yıllara gelindiğinde ise gelişmeler çok daha fazla hızlanmış, devletler nanoteknoloji araştırmaları için büyük miktarlarda destek vermeye başlamışlardır (El-Samny, 2008).

Nanoteknoloji farklı endüstriyel sektörlerde kendini göstermiş, nano esaslı ürünleri yeni ve eşsiz özellikler ve yararlar ile tanıtarak, madde ile olası dönüşümler arasındaki ilişkiyi anlama biçimini değiştirmiştir. Fiziksel ve kimyasal reaksiyonların nano ölçekte incelenmesi ve birçok sektörde nanoteknolojik uygulamaların çeşitli malzemelerin üretim süreçlerinde kullanılması önemli yenilikler ortaya koymuştur. Nanoteknolojinin etkisinin inşaat sektörü ile birlikte antibiyotik ve plastikler gibi büyük sektörlerde olduğu gibi etkilere sahip olacağı yönünde görüşler söz konusudur. Nanoteknolojik uygulamalarla, bir takım fonksiyonları gerçekleştirebilen, bazı moleküler özelliklerden kaynaklanan benzersiz özellikleri olan malzemeler ve sistemler oluşturan yeni ürünler ortaya çıkarmak, var olan malzemelerin kalite ve performanslarını artırmak imkan dahilindedir. Nanoteknoloji elektronik, biyomedikal ve diagnostik gibi alanlarda malzeme bileşenlerinin boyutlarının küçültülmesi ürün performansının geliştirilmesi, yüksek güvenilirlik ve kontrol kabiliyeti sağlamak açısından önem taşımaktadır. Bu konuda yapılan araştırmalarda, nanoteknolojiyle ilgili olası risk faktörlerinin incelenmesi, geciktirilen araştırma alanlarından biridir. Çünkü nanopartiküllerin insanlar ve çevre üzerindeki olası etkileri hâlâ kesin olarak bilinmemektedir. Son yıllarda birçok ülke koruma politikaları ile söz konusu teknolojileri ve ürünlerini izlemeye başlamıştır (Leone, 2012).

2.1.2. Nanoteknolojinin uygulama alanları

Nanoteknolojik gelişmeler ve nanobilim 2000'li yılların en popüler bilim alanlarından biri olarak gündelik yaşamlara da damgasını vurmuştur. İnsanların daha konforlu bir dünyada yaşama istekleri nanoteknolojilerin uygulama alanı bulduğu malzeme ve malzeme bilimi konusunda gelişmeleri hızlandırmış ve yaygınlaştırmıştır. Bununla birlikte insan hayatını doğrudan etkileyen savunma sanayi, elektronik, tıp ve çevre gibi alanlarda da nanoteknolojik ürünlerin oldukça etkin olarak kullanılabileceği fikri, söz konusu teknolojilerin günlük hayatta da sıklıkla konuşulmasını sağlamıştır.

Nanoteknolojik uygulamaların sıklıkla kullanıldığı alanlar şöyledir:

- Biyoteknoloji ve tarım
- Malzeme ve imalat sektörü
- Nano elektronik ve bilgisayar teknolojileri
- Tıp ve sağlık sektörü
- Havacılık ve uzay araştırmaları
- Çevre ve enerji
- Bilim ve eğitim
- Savunma sektörü

21. yüzyılda diğer tüm disiplinlerde olduğu gibi çevre ve yapılı çevre konularında sürdürülebilir yaklaşımların benimsenmesi fikri bir zorunluluk haline gelmiş ve nanomalzemeler ve nanoürünler daha yeşil ve sürdürülebilir yapılar ve yapılaşmalar elde etme sürecinde bir fırsat olarak görülmüştür (Elvin, 2007). Bu bağlamda çalışmanın bundan sonraki bölümünde yapılı çevrelerde ve mimarlıkta kullanılan nanoteknolojilere yer verilmiş ve taksonomik bir çalışma yapılmıştır.

2.1.3. Nanoteknolojinin mimarlığa etkileri

Nanoteknolojinin inşaat sektörü ve mimarideki yüksek potansiyeli, endüstriyel süreçlerin ve ürünlerin eko-verimliliğine olası katkıları ve bunun gibi daha geniş birçok imkân sunması, binaları hem fonksiyon hem de estetik açıdan etkileyen birçok etkenden kaynaklanmaktadır. Mimaride teknik konulardaki inşa anlayışının bütünüyle değişmesi ve

morfolojik olarak ele alınması da dahil, ortaya çıkan mimari sonuçlara ilişkin potansiyel etki kendini göstermektedir. Nanoteknoloji esaslı işlenmiş malzemelerin geliştirilmesi ile buna bağlı olası gelişmeler inşaat sektöründe hareketli bir pazar oluşturmaktadır. Oldukça ince, ultra yalıtımlı ve kendi kendini düzenleyen cam yapı bileşenleri, ince ve hafif binalar, çelikten yüz kata kadar yüksek dayanıklılığı olan malzemeler, kendi kendini tamir edebilen ya da farklı yapı bileşenlerinin performansına dair bilgi verebilecek sensörler gibi malzemelerin özelliklerini kullanmayı hedefleyen tasarım araştırmaları bu sektörü hareketlendiren etkenlerdir. Söz konusu pazarın 2015'te yaklaşık 100 milyon dolar olduğu ve 2025'te yaklaşık 1,75 milyar olacağı tahmin edilmektedir (Leone, 2016).

Nanoteknolojik mimarlığın öncü mimar ve tasarımcılarına göre, nanoteknoloji bazlı yeni malzemeler, binaların yapım sürecinde, çevresel etkenler ile aktif bir bağ oluşturma ve elektriksel ve elektronik müdahaleler ile malzemelerin performanslarını, görünüşleri ve hatta şekillerini değiştirebilecek dış uyaranlarla birlikte, konfor ve enerji tasarrufu sağlamak için kullanılabilecektir. Bununla birlikte nanoteknoloji mimarlığın kendisini bir iletişim "arayüzü" olarak kullanarak, veri giriş çıkışı ve karşılıklı etkileşimin olanaklarını geliştirebilecektir. Nanoteknolojinin mimari tasarım sürecine etkileri ile ilgili ana konulardan bir tanesi de temelde, asgari çevresel faktör ihiyaçlarını, mimari özellikleri estetik ve iletişimsel olarak biraraya getirebilecek yeni materyallerin kullanılmasıyla tasarım ve yapım süreci kurgulanan yeni yeşil binalar kuşağı oluşturma imkanı sağlamasıdır (Leone, 2016).

Nanoteknoloji esaslı malzemeler birçok eşsiz özelliğe sahip olmaları sayesinde binaların tasarım ve yapım süreçlerinde kullanılabilir. Nanomalzemelerin bu özellikleri inşaatlardaki mevcut problemleri büyük oranda giderebilir ve bina inşa sürecinin getirdiği ihtiyaçları ve işleyişi değiştirerek katkı sağlayabilir. Konvansiyonel malzemelere göre daha hafif ve sağlam yapısal kompozitler, daha iyi çimento esaslı malzemeler, yangına karşı daha iyi koruma sağlama, ısı yalıtım malzemelerinin ısı transfer miktarını azaltma, daha iyi akustik yalıtım sağlama, bağlantı malzeme ve tekniklerinin iyileştirilmesi, şeffaf yapı bilşenlerinin yansıtıcılığını daha iyi hale getirmek gibi katkıları bulunmaktadır. (Ge and Gao, 2008)

2.2. Nanomimarlık

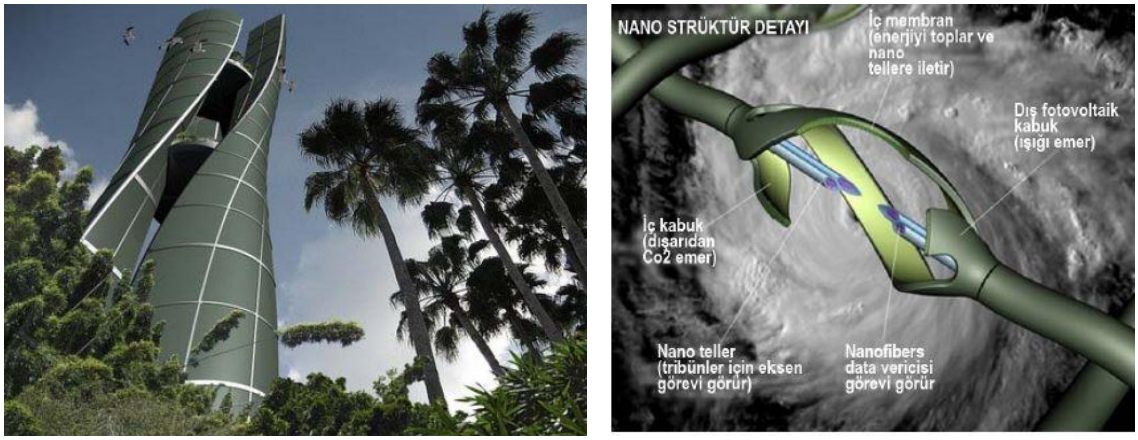
Nanomimarlık 21. yüzyılda yaşanan nano devrimin mimarlıktaki dönüşümü/yansıması olarak ele alınabilir. Mimarlıkta nanoteknoloji kullanımı biçimler ve tasarım kuramları için malzeme ve ekipmanların değişmesi ve çeşitlenmesi anlamını taşımaktadır. (El-Samny, 2008) Nanoteknolojinin mimarlıkta kullanımı bir taraftan tasarım kararlarını etkileyerek düşünme biçimlerini değiştirmesi, yeni formların ortaya çıkması, bir diğer taraftan binalarda nano bazlı malzemelerin ve cihazların kullanılmasıyla ifade edilebilir. Nanoteknolojinin binalarda kullanılmasıyla dayanıklılık, hafiflik, yapım sistemi, kabuğun sürekliliği, geçirgenlik, değişen, gelişen formlar gibi özelliklerin mimariye olumlu katkılarda bulunacağı iddia edilmektedir. Bina inşaatı ve işletimi küresel ekonomi bağlamında en önemli sektörlerden biridir. Bu sebeple mimarlık alanında nanomalzemeler ve nanoteknolojinin önemli bir rol üstlenmesi beklenmektedir (Atwa, Al-Kattan ve Elwan, 2015).

Nanoteknolojinin mimarlıkta etkin şekilde kullanılması, yalnızca nanomalzemelerin ve yapım yöntemlerinin uygulanması ile değil, bununla birlikte biçimlerin ve tasarım yöntemlerinin tekrar ele alınması ile (ultra yüksek performanslı binalar gibi) nanomimarlığın orta çıkmasına neden olmuştur. Malzemelerin farklı performans sergilemeleri ve farklı roller üstlenebilmeleri ile yapıların tasarım süreci değişmektedir. Nanoteknolojinin mimarlıkta kullanımı ile boyutu küçülürken, gereken montaj zamanı da azalmaktadır. Malzemelerin üstün özellikleri ve ekstra gelişmiş kaplamaları ile bina yaşam döngüsü giderek uzamaktadır. Nanoteknoloji ile malzemelerin kontrol edilebilmesi hem tasarım hem de yapım aşamasında binayı geliştirmekte bu şekilde yapım yöntemlerinin değişmesinin de önü açılmaktadır. Birçok bina, belli malzemelerin kendi kendini bir araya getirme yeteneği sayesinde "aşağıdan yukarıya", yani malzemeden yapı elemanlarına doğru üretilebilmektedir. Özelliklerin artması, gerçekçilikten en uzak çözümlerin bile olası olduğu tasarımların ortaya çıkmasına yardımcı olmaktadır. Pencereler ya da bölmelerin (iç ve dış) saydamlığının kontrol edilebilir olması gibi, kullanıcının tasarrufunda olan mimari bileşenlerin dönüştürülebilirliği sayesinde bina daha dinamik bir form sergilemektedir. Bununla birlikte, iç ortam kalitesinin (havanın temizlenmesi, ısıl konfor, güneş radyasyonunun azaltılması, bakteri karşıtı yüzeyler, etkin güvenlik ve dış olumsuz koşullara karşı koruma) kontrol edilerek yaşam konforunun iyileştirilmesi, mimarın rolünü de hayli önemli kılmaktadır (Parthenopoulou ve Malindretos, 2016).

21. yüzyılda gelişen teknolojilerle form-strüktür-malzeme ilişkisi de değişmekte/gelişmekte, malzeme bilimindeki gelişmeler ve sayısal teknolojilerle birlikte bu bağlamda yeni malzemelerin ortaya çıkmasını ya da geleneksel malzemelerin farklı tektoniklerde kullanılmasını sağlamaktadır. Sayısal teknolojiler aracılığı ile yapılan üretim sürecinde (robot teknolojileri, CNC milling, hızlı prototipleme vb.) form-malzeme-strüktür üçlemesi birbiriyle bağlantılı olarak kurgulanmaktadır. Bu bağlamda form ve malzeme ve ilgili tektonik birbirini etkilemekte, malzemenin formu, formun da malzemeyi yönlendirmesiyle bir strüktür kurgulanabilmektedir. Malzeme bilimindeki gelişmeler bu bağlamda iki yeni malzemeyle gündeme gelmiştir. "Akıllı malzemeler" ve "Nanomalzemeler". İlki fiziksel, kimyasal ve biyolojik uyarıcılar tarafından kontrol edilip değişebilen özelliklere sahiptirler. Nano malzemeler ise daha gelişmiş özelliklere sahiptirler. Nanomalzemelerde fizik kanunlarının ötesinde kuantum fiziği kanunları geçerlidir. Malzeme birden çok özelliğiyle değişime uğrar, canlı bir organizma gibi özellikler gösterebilir. Büyüme ve adaptasyon yeteneğine sahip olabilir. Malzeme formu şekillendirirken bu etkiyle yapı değişebilir, büyüyüp gelişebilir (Harman, 2011).

Nanoteknoloji ve nanomalzemelerin günlük hayatta kullanılmaya başlanmasıyla birlikte, tasarım anlayışında ve düşünce tarzlarında değişmeler söz konusu olmuştur. Bu değişimlerden biri de "yaşayan sistemler" olarak adlandırılan nanoyapılardır. Yaşayan sistemler, organizasyon yeteneğine sahip, kendi kendini organize edebilen ve devamlılığını bu şekilde sağlayan sistemdir. Farklı kimyasal tepkimelere girerek, bu tepkimelerle birlikte kendi altyapısını oluşturabilen, kendini inşa edebilen, kendi yıkımını gerçekleştirebilen, üreme yeteneği olan, kendi şartlarını duyabilen ve bunlara tepki veren ve bu işlemlerin tümü için enerjiye ihtiyaç duyan her şey "yaşayan bir sistem (canlı)" olarak ifade edilebilir.

Nano yapılar, binanın tümünde ya da bir kısmında nano malzemelerin kullanıldığı, etkileşimli, adaptasyon yeteneği olan ve akıllı yapılardır. Nanoyapılara örnek Jetson Green Kule verilebilir. Yapıda kule kısmı nanomalzemeden oluşan bir kabuk şeklinde tasarlanmıştır. Nanomalzemelerden oluşan bu kabuğun güneş ve rüzgâr dan enerji üretme yeteneği bulunmaktadır. Ayrıca havadan CO_2 yakalayabilmektedir (Harman, 2011).



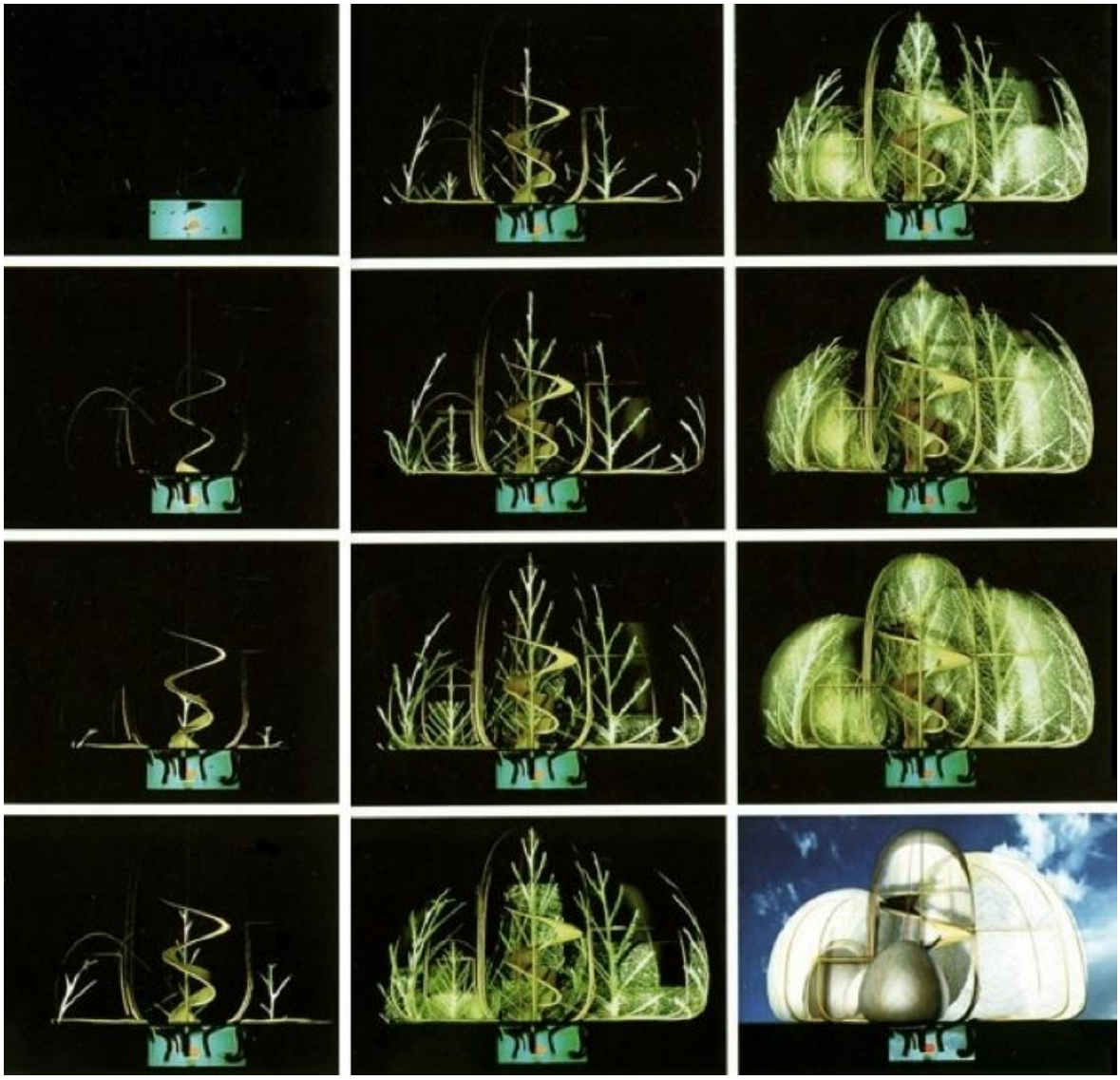
(a) (b)

Resim 2.1. a) Jetson Green Kule (URL-1) b) Nano strüktür detayı (Harman, 2011)

Nanoyapılara bir başka örnek de moleküler ölçekte üretilen evdir. Moleküler kodlama yöntemiyle üretilen bu projede yapının canlı bir sistem gibi büyüyerek gelişmesi söz konusudur. Mimar John M. Johansen tarafından yazılan *Nanoarchitecture: A New Species of Architecture* (Nanomimarlık: Mimarlığın Yeni Türleri) kitabında bahsedilen projenin 9 günde moleküler kodlarla oluşturulması planlanmıştır. (Resim.2.2.), (Şekil.2.2.). Projenin temeline yerleştirilen kimyasallardan oluşturulan kökler fasülye biçimli büyüyerek yapının sınırlarını oluşturur (Johansen,2002).



Resim 2.2. Moleküler Kurgulu Ev (Johansen, 2002)



Şekil.2.2. Moleküler kurgulu ev (URL-41)

Bir diğer nanoyapı örneği yine moleküler üretimin söz konusu olduğu "çok katlı apartman binası" dır. (Şekil 2.3.) Bu projede moleküler büyüme sürecinin aynı olduğu, bununla birlikte daha geniş olarak ele alındığı varsayılabilir. Yapının temeline yerleştirilmiş fıçılardan köklerin büyüyerek gelişmesi şantiye alanı, kökler, dallar, saplar, kafes sistemi, membran ve membranın açılabilirliği moleküler üretilen ev ile aynıdır. Moleküler üretilen evden daha kapsamlı ve detaylı bir proje olması sebebiyle böyle bir strüktür daha büyük bir düzen ve daha iyi desteklenmiş sütunlar gerektirir. (El-Samny, 2008)



Şekil 2. 3. Çok katlı apartman (URL-42)

2.2.1. Sürdürülebilir nanomimarlık

Mimarlıkta çevreye karşı hassas tasarım ilkelerinin etkin olması, negatif çevresel faktörlerin en aza indirilmesi ve malzeme, enerji ve alan kullanımının maksimum verimlilik ile artırılması sürdürülebilirlik olarak ifade edilebilir. Sürdürülebilir tasarımın prensiplerini,

- düşük etkili malzemelerin kullanılması (toksik olmayan, sürdürülebilir biçimde üretilmiş ya da geri dönüşümü yapılmış),
- enerji verimliliği (üretim ve tüketimde daha az enerji kullanılması),
- kaliteli olma,
- dayanıklı olma,
- yeniden kullanılabilir ve geri dönüştürülebilir olma
- tasarımlarda biyomimikrinin esas olması
- servis değişiminin sağlanması
- yenilenebilir olma ve
- sağlıklı ortamların hazırlanması, şeklinde ifade etmek mümkündür. Böylece sürdürülebilir mimarlıkta, sürdürülebilir binalar tasarlamak ve oluşturmak hedeflenmektedir (Parthenopoulou and Malindretos, 2016).

Sürdürülebilir yapılar, binaların kendisi, yakın çevresi ve daha geniş anlamda büyük ölçekli planlar bağlamında, yapılı ve doğal çevre bakımından negatif etkileri en aza indirilmiş yapılar şeklinde tanımlanabilir. Bu yapılar, bütünleşik kalite için (ekonomik, sosyal ve çevresel performans gibi) oldukça geniş bir perspektifte gayret ortaya koyan bina uygulamalarıdır. Bu şekilde doğal kaynakların akılcı kullanılması ve bina stoğunun doğru bir biçimde idare edilmesi, her geçen gün daha çok azalan kaynakların bir nebze de olsa kurtarılabilmesi, enerji tüketiminde azalmanın sağlanması ve daha kaliteli bir çevre oluşturulmasına katkıda bulunacaktır (John and diğerleri, 2005).

Günümüzde nanomalzemelerin çevre ve insan sağlığına zarar vermeksizin üretilebilmesi ve çevre problemlerine çözüm bulabilen nanomalzemeler üretmek önem arzetmektedir. Yeşil kimya ve yeşil mühendislik ilkelerinin kullanılması, içeriğinde toksik parçacıklar bulunmayan nanomalzeme ve nanoürünler üretilmesi, tüm yapı bileşenlerinde daha az ve yenilenebilir enerji kullanılması, tüm tasarım ve yapım basamaklarında yaşam döngüsü

fikrinin kullanılması gerekmektedir. Nanoteknoloji, sadece nanomalzeme ve çevreyi daha az etkileyen ürünlerin üretilmesi değil, bununla birlikte, nanomalzeme olmayan ve çevreye daha faydalı ürünler için varolan üretim süreçlerini oluşturmak anlamına da gelir. Örnek olarak, nano boyutlu zarlar, kimyasal reaksiyon ürünlerinin atık malzemelerden ayrılması konusunda fayda sağlayabilir. Nano boyutlu katalizörler kimyasal reaksiyonların daha verimli olmasını sağlayarak, israf edilmesinin önüne geçebilir. Nano boyutlu sensörler, nano kaynaklı bilgi sistemleriyle çalışan proses kontrol sistemlerinin yapımında kullanılabilir. Nanoteknoloji sayesinde mümkün olabilecek alternatif enerji sistemlerinin kullanılması, yeşil üretim süreçlerindeki hedeflerden biridir (Atwa ve diğerleri, 2015).

Nanoteknolojinin enerji verimliliği ve kaynakların korunması konusunda ekolojik ve ekonomik faydaları bulunmaktadır. İklim değişikliğinin azaltılmasına yardımcı teknolojiler, son dönemde oldukça fazla talep görmektedir. Önümüzdeki yıllarda, ekoloji ve ekonomi için, oldukça önem arzeden önleyici tedbirlerin uygulanması uzun soluklu düşünüldüğünde ortaya çıkan zararın telafi edilmesinden daha uygun olacaktır. Çevre dostu üretim yöntemlerinin kullanılması, enerji verimliliğinin daha aktif hale gelmesi, çevre kirliliğinin azaltılması ve kaynakların korunması hususları nanoteknolojinin avantajlarıdır. Yapılı çevrelerde veya herhangi bir nanoteknolojik üründe yalnızca bir konuda değil yaşam döngüsü boyunca genel eko denge üzerinde durulmalıdır (Atwa and diğerleri, 2015).

Maddenin moleküler seviyede kontrol edilme yeteneğinin artışı oranında, tasarım ve manipülasyonu mümkün olacaktır. Fakat mimarlar ve tasarımcılar için “moleküler tasarım” ın zorluğundan dolayı, yeterli bilgi desteği olmadan, yapılı çevrelerde kullanılan malzemelerin tam bileşimini ya da yaşam döngüsünün farklı basamaklarındaki olası sonuçlarını kestirmek oldukça zordur (Leone, 2012).

Farklı birçok uygulama alanı düşünüldüğünde, nanoteknoloji esaslı malzemelerin kullanılmasındaki riskler açık ve net olması gereken hususlardır. Bu durum, uluslararası planda düzenlenmeli ve tasarımcıların bilinçlenmesi ile birlikte, daha güvenilir ve verimli nanoteknoloji esaslı yeniliklerle inşaat sektörünü yönlendirmelidir. Bu bağlamda mimarlık disiplinleri, nanoteknolojik inovasyonları destekleyerek bu süreçlerin karmaşıklığını gidermede öncülük edebilmelidir. Nanoteknoljik uygulamaların yapılı çevrelerde kullanımının aşamalı olarak yayılmasına sebep olabilecek kültürel ve teknik destek

verilmeli ve risk faktörleri olabilecek hususlar asgari seviyeye indirgenmelidir. Malzemeler konusunda bilinçli uygulamalarla ortaya çıkan faydalar ve mimari tasarım en üst seviyede etkin olmalıdır (Leone, 2012).

Nanomalzemeler, kompozitlerde kullanıldıklarında fiziksel ve kimyasal özelliklerin iyileştirilmesinde etkin rol üstlenirler. Bu sayede oluşturulan kompozit malzemelerin ömrü daha uzun olmakta, üretilmeleri için gereken enerji ve yaşam döngüsü harcamaları azalmaktadır. Nanomalzemelerin bu katkıları, günümüzde en büyük problemlerden biri olan kaynakların azalması nedeniyle oldukça fazla önem taşımaktadır. 1997'de imzalanmış olan Kyoto protokolü ile beraber çevre dostu sistemlerin geliştirilmesi çalışmaları hız kazanmıştır. Enerji kayıplarının büyük çoğunluğu konutlarda gerçekleşmektedir. Bu sebeple sürdürülebilir yapıların tasarlanması, düşük yaşam döngüsü maliyetleri ve sürdürülebilir yapı sertifika sistemleri önemli hale gelmiştir. Hem ülkelerin kendi yönetmelikleriyle düzenlenen hem de dünyada geçerli olan sertifika sistemleri bulunmaktadır. Nano teknolojik malzemeler üretimlerinin çoğalmasına rağmen bu sertifika sistemlerinde henüz gerektiği kadar yer alamamıştır. Fakat nanoteknoloik malzemelerin taşıdıkları riskler nedeniyle bu konu üzerinde çalışmaların hızlandırılması ve artırılması gerekmektedir (Cengiz, 2017).

2.2.2. Yeşil nanoteknoloji

Yeşil nanoteknoloji, nanoteknolojinin sağladığı üstün nanomalzemeleri, çevreye ve insan sağlığına zarar vermeden, güvenli bir şekilde kullanabilmeye olanak sağlayacaktır. Bu bağlamda yeşil nanoteknoloji sürdürülebilir tasarım içerisinde büyük bir rol oynayacaktır. Yeşil nanoteknoloji kullanımı, ekosistemleri ve insan sağlığını doğrudan ya da dolaylı olarak koruma altına alabilmek için gelecek nesiller adına kaçınılmaz olacaktır. Nanomalzeme ve ürünlerin kullanımında yeşil kimya ve yeşil mühendislik kullanan çevreler önem arz etmektedir. Nanomalzemelerin toksik maddeler olmadan çevreye ve insan sağlığına zararsız olması, daha az ve yenilenebilir enerji kullanımı, tasarımlarda yaşam döngüsü konseptinin uygulanması, atıklar, su ve hava kirliliği için temizlik faktörü olması, çevresel kirliliğin izlenmesi için kullanılması, yakıt tasarrufu ve malzeme tüketimini azaltacak yeni taşıtların ortaya çıkması yeşil nanoteknoloji olarak tarif edilebilir (Allam, 2014).

Yeşil Nanoteknolojinin amaçlarından biri de, çevre için direkt ya da dolaylı olarak faydalı olabilecek ürünlerin geliştirilmesidir. Nanomalzemeler ya da nano ürünler insan ve çevre sağlığı açısından tehlike arzedebilecek atık sahalarının temizlenmesinde kullanılabilir, tuzlu suyu arındırarak içme suyu elde edilmesini sağlayabilir, kir içeren maddeleri temizleyebilir, çevresel anlamda kirletici maddeleri algılayıp takip edebilir. Dolaylı olarak, arabalar ve öteki ulaşım vasıtalarında hafif nanokompozitler yakıttan tasarruf edilmesine yardımcı olabilir ve üretimde kullanılan malzemelerin azalmasını sağlayabilir. Diyotlar (LED'ler) enerji üretiminin sebep olduğu kirliliğin azaltılması ve fosil yakıtların korunmasında etkin rol oynayabilirler. Kendi kendini temizleyebilen nano boyutlu yüzey kaplamaları temizlik kimyasallarının azaltılmasını veya ortadan kaldırılmasını sağlayabilir. Geliştirilmiş pil ömrü sayesinde malzeme kullanımı azaltılarak israfın önüne geçilebilir. Yeşil Nanoteknoloji sayesinde nanomalzeme ve nanoürünlerin geniş bir sistem görünümü oluşturmasına ve tahmin edilemeyen sonuçların en aza indirgenmesine ve bütün yaşam döngüsü aşamalarında etkilerin öngörülebilmesine katkıda bulunur (Atwa ve diğerleri, 2015).

Sürdürülebilir mimarlık bağlamında yeşil nanoteknolojilerin kullanılması yapılı çevrelerde birçok katkı sağlayacaktır. Mevcut binalarda yeşil nanoteknolojilerin uygulanmasında nanokaplamalar aktif olarak kullanılabilmektedir. Mevcut binalarda yalıtım amaçlı nanokaplamaların uygulanmasıyla, nanoteknoloji gelecekte uluslararası planda karbon emisyonlarının azaltılması konusunda en büyük katkılardan birini sağlayacaktır. Yalıtım amaçlı nano kaplamalarla, konvansiyonel malzemelerin yalıtım değerleri, bina dışına uygulanan oldukça basit bir kaplamayla aşılabilir. Aerojellerle mevcut binaların yalıtımı etkin bir şekilde çözülebilir. Nano kaplamaların gerçek yalıtım değerlerinin belirlenmesi ve enerji verimliliği yeteneklerinin geliştirilmesi için daha fazla çalışma yapılmalıdır. Nanoteknoloji sayesinde üretilen film-güneş enerjisi teknolojilerinde ince film güneş pilleri, plastik rulolar üzerinde üretildiğinde konvansiyonel cam levha teknolojisine oranla oldukça ucuza mal olmaktadır. Bununla birlikte, esnek plastik güneş pilleri bina zarflarında cam levhalara göre daha çok uygulanabilir, bu durum da bina içindeki fotovoltaiklerin daha ekonomik ve uygulanabilir olmasına katkı sağlar (Mohamed, 2015).

Enerji tasarrufu stratejileri ilk etapta işletme enerji maliyetlerini azaltmak için yapılır. Ayrıca nanoteknoloji ile birlikte projenin yanı sıra, yapılı çevrelerde kullanılan malzemelerin üretimi esnasında da büyük oranda tasarruf sağlanmaktadır. Konvansiyonel

ışıklandırmaya göre büyük oranda verim sağlayan, ışık yayan diyotlar (LED'ler) ve organik ışık yayan diyotlardan (OLED) da enerji tasarrufu sağlanabilir (Mohamed, 2015).

Yeşil nanoteknolojinin mimarlıkta kullanılmasıyla birlikte nanosensörler ve akıllı ortamlar da hayatımıza girmeye başlayacaktır. İlk etapta, bina bileşenlerinin akıllı olmasıyla birlikte sıcaklık, nem, titreşim, gerilme, çürüme ve buna benzer çeşitli faktörlerle ilgili bilgiler toplanabilecektir. Binanın bakımı ve güvenliğinin izlenerek iyileştirilmesi bağlamında bu veri çok önemli olacaktır. Örnek olarak, çevre kontrol sistemleriyle binaların doluluk oranlarının tanımlanması ve buna göre ısıtma ve soğutmanın ayarlanmasıyla, enerji koruması anlamında önemli gelişmeler yaşanabilir. Bunun gibi, pencerelerin güneş ışınımını yansıtması ya da geçirmesi kendi kendine ayarlanarak, en nihayetinde, gömülü sensör ağları, takılan kişilerle etkileşime girerek, bireysel taleplere ve ihtiyaçlara göre kendini ayarlayabilen akıllı ortamları sonuç verecektir. Oda sıcaklığı, duvar rengi gibi şeyler sensörlerin arasındaki görünmeyen, pasif yazışmalarla belirlenebilecektir. Kendi kendine iyileşen duvarlar, yeni yük taşıyıcı çelik çerçeveler ve dayanımı yüksek alçı levhadan üretilecek ve bu levhaların içerisinde bulunan basınç altında sıkıştırıldığında bir sıvıya dönüşecek olan nano polimer parçacıkları, çatlaklara akacak ve sertleşerek katı bir malzeme oluşturacaktır (Mohamed, 2015).

Son yıllarda, nanoteknolojik malzemeler ve uygulamalar, enerji tasarrufu sağlama ve yenilenemeyen kaynakların daha az kullanılmasının yanı sıra daha az atık, toksisite ve karbon emisyonları açısından çevreye büyük yararlar sağlamıştır. Nanoteknoloji ile daha sürdürülebilir bir yapı sektörü için, varolan kaplama ve yalıtım malzemeleri ile güneş teknolojileri, aydınlatma, hava ve su arıtma ve yapısal malzemeler ve yangın koruma konularındaki uygulamalar büyük katkı sağlayacaktır (Sev ve Ezel, 2014).

Bina yaşam döngüsü

Yaşam döngüsü değerlendirmesi; ürün hammaddesinin tedarik edilmesi, işlenmesi, pazarlanması, ulaşımı, yapım aşamasındaki kullanımı, gerektiğinde bakımının ve onarımının yapılması, malzeme ömrünün sonuna gelindiğinde yeniden işlenerek tekrar kullanılabilmesi ya da dönüştürülebilmesi, bu şekilde hammadde olarak yeniden ele alınmasını ifade eden döngüsel süreci belirtmektedir. Yapılı çevrelerde yapım öncesi,

yapım, kullanım-işletim ve dönüştürme aşamaları şeklinde ana başlıklara ayrılabilir (Yüksek ve Mıhlayanlar, 2015).

Hammaddelerin en son geri dönüştürülmesinden toplanmasına kadar, yapı malzemelerinin beşikten mezara kadarki aşamalarıyla ilgili yapılacak analiz, materyallerin uzun vadeli maliyetlerinin daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır. Bu maliyetler müşteri, sahip, kullanıcı ve çevre tarafından karşılanır. Yaşam Döngüsü Tasarımı prensipleri, yapılarda materyal seçiminde önemli faydalar sağlamaktadır. Hammadde, üretim, ulaşım ve kurulumundan enson kullanıma ya da geri dönüşüme kadar üretim sürecinin her aşaması, çevresel etki bakımından araştırılır (Mohamed, 2015).

Nanomalzemelerin, üretim süreçlerinin yeni olması, ve bu süreçlerin belli oranlarda gizlilik kısıtlamalarının bulunması, varolan envanter bilgilerinin yetersizliği, halihazırda kullanılan etki değerlendirme yöntemlerinin içinde, (bu etkilerin net olarak bilinmemesi nedeniyle) nanomateryallerin sağlık ve çevresel etkilerinin hesaplanması için formüller bulunmaması, nanomateryallerin üretilmesi için üretim süreçlerinin henüz standartlaştırılmaması gibi sebeplerden dolayı yaşam döngüsü değerlendirmesinin yapılması oldukça zordur. Bunlar gibi, gelişimi devam eden yeni teknolojilerde yaşam döngüsü değerlendirmeleri senaryo analizlerle yapılabilir. Bu analizler gelecekteki muhtemel belirsizliklerin giderilmesine katkı sağlar. Bu anlamda yaşam döngüsü düşünme ve değerlendirme yaklaşımı, nanoteknoloji gibi yeni teknolojilerde çevresel etkileri daha iyi kavramak ve faydaları ya da zararlarına dair bilinçli adımlar atabilmek için, materyal geliştirme sürecinin erken safhalarında yapılmalıdır (Dhingra ve diğerleri, 2010).

Nanomalzemelerin genel anlamda kullanım aşamasındaki yararları ön plana çıkmaktadır, ancak bununla birlikte malzeme işlenmesi ve geri dönüştürülme aşamaları endişe oluşturmaları sebebiyle dikkate alınmalıdır. Nanomalzemelerin işlenme sürecinde yüksek enerji ve kaynak yoğunluğu problem teşkil edebilir. Geri dönüşüm aşamasında ise tam olarak geri dönüştürülemezse atık sorunuyla karşılaşılabilir, ayrıca nano özellikli ürünler malzeme yaşam döngüsünün her basamağında çevreye salınabilme potansiyeli de taşımaktadır (Dhingra ve diğerleri, 2010).

Nanoteknoloji ve nanomateryallerin çevreyle ilgili olarak düşünülmesi ve hayata geçirilmesi zorunlu olan bir yönü, nanoteknolojik malzemelerin bütün yaşam döngüsünde,

özel anlamda ise hizmet sürelerinin son kısmında çevresel anlamda kontrollerinin ve iyileştirilmelerinin sağlanmasıdır. Bazı nano esaslı ürünlerin ortaya çıkarabileceği zararlı etkiler kesin olarak bilinmemektedir (Moreno ve Torre, 2017).

2.2.3. Sürdürülebilir nanomimarlık için nanotek yenilikler

Nanoteknolojinin sürdürülebilir nanomimarlık bağlamında gelecek yıllarda çeşitli alanlarda yeniliklerin ortaya konularak canlı ve çevre sağlığına çok daha fazla katkı sağlaması öngörülmektedir.

Eko nanomimarlık

Nanoteknoloji ile eko sistemler sürdürülebilirliği olan kentsel geleceği tasarlamak için strateji üretilmesine katkı sağlayabilir. Elektronik ve biyo-kimyasal işlevselliklerin birleştirilmesiyle, canlı, hassas ve çok fonksiyonlu bir cilt davranışı sergileyen ve enerjinin de katkısıyla yeni bir malzemenin ortaya çıkması mümkün görünmektedir.

Eko-nano mimarlığın yeniliklerinden biri de bina zarflarının iyi huylu, durağan malzemeler olmasından, canlı ve enerjiyi kullanmak amacıyla zar görevi üstlenen hassas, çok fonksiyonlu kaplamaların kullanılmasıdır. Bu zar, yapının içi ve dışı arasındaki bağlantıyı güçlü bir şekilde kurar ve havadan beslenen ve ışığı etkin bir şekilde toplayıp organize eden bir taşıyıcı görevi görür. Bu kaplamalarla oluşturulmuş bina zarfı, şebeke bağlantısına gerek duymaksızın gerekli tüm kaynakları sağlar. Binanın cildi, olabildiğince enerji kullanmak amacıyla en iyi konuma geçmek için hareket etme eğilimindedir (Mohamed, 2015).

Biyo nanomimarlık

Bir üretim şekli olarak biyomedikal organizmalarla nano-üretim yapılması, çevredeki doğal enerjiyi (güneş ışınları ve rüzgâr enerjisi) soğurarak dönüştürür. Nano-biyomühendislik ve nano-üretimin bir üretim vasıtası olarak kullanılmasındaki amaç, gerekli olduğu durumlarda doğru türdeki ve yeterli miktardaki malzemenin kullanılması ile verimli bir sıfır emisyon malzemesi ortaya çıkarmaktır. Bu mikroorganizmaların genetiği

değiştirilmememiştir ve hepsi bu simbiyotik ortamda özel bir görevi üstlenerek, eğitimli bir koloni şeklinde çalışırlar (Mohamed, 2015).

Akıllı nanomimarlık

Doğal kaynaklarla, atomik seviyeden üretilen, simbiyotik uyum ile doğada bulunan binalar nanomimarlığın temelini oluşturur. Bu binalar atık üreten fabrikaları ya da yorucu fiziksel aktiviteyi kullanmazlar ve büyük bir beceri ile tasarlanmış bu yapılar, doğal hayatın mütevaziliğini taşımaktadırlar. Doğal çevre ile simbiyotik uyumun birarada tasarlandığı bu yapılarda biçimlerin insan ölçek ve gereksinimlerine göre uyarlanması ve ışık, sıcaklık ve nemin mevsimsel değişikliklere göre ayarlanabilmesi söz konusudur (Mohamed, 2015).

3. NANOTEKNOLOJİ ÇAĞINDA BİNA YAPIMI

Nanoteknoloji, 100 nm ölçeğinin altındaki parçacıkların kullanılarak maddenin kontrol edilmesi ve tekrar yapılandırılmasına olanak sağlayan malzeme bilimi, mühendislik, kimya, fizik, biyoloji bilimi gibi birbirinden farklı alanların parçası olan bir disiplindir (Moreno ve Torre, 2017). Nanoteknoloji bilimi, daha erken dönemde olmasıyla birlikte, sağlık, çevre, enerji, ulaşım, bilgi teknolojisi ve uzay araştırmaları gibi alanlarda kullanılarak insan yaşamının farklı yönlerinde büyük bir etkiye sahip olmaktadır (Mahdy, 2012).

Mimarlık ve inşaat alanında nanoteknoloji kullanımı, betonun bilinen özelliklerinin iyileştirilmesi, antikorozif koruma, boyalar, sızdırmazlık malzemeleri ve cam gibi malzemelerin su, bakteri ve çeşitli biyolojik ajanlara karşı su geçirmemesi, termal ve piro-direnç gibi özelliklerin iyileştirilmesi amacıyla geliştirilmesi çalışmaları anlamına da gelmektedir. Nanoteknoloji, inşaat alanında kullanılan ürünlerin üretim süreçlerindeki çevresel etkilerin ve enerji tüketiminin azaltılması, yapı güvenliğinin artırılması ve inşaat maliyetlerinin azaltılmasında etkilidir (Moreno and Torre, 2017).

3.1. Nanoyapılı Malzemeler ve Nanokompozitler

Genel manada kompozit sözcüğü iki veya daha fazla farklı parçadan üretilmiş olmayı ifade eder. Kompozit malzemeler, üstün özellikleri bir araya getirmek için oluşturulmuş iki ya da daha çok farklı materyalin bir kombinasyonudur. Bir nanokompozitte, bileşenlerden en az biri nano boyuttadır. Bir kompozit ya da Nanokompozit materyal, bir matris ve fiberlerden yapılan bir takviye ile üretilir. Nanokompozitler foksiyonel ve yapısal malzemeler olarak ikiye ayrılır. Fonksiyonel malzemeler, yani elektriksel, manyetik ve / veya optik davranışa dayanan özellikleri olan materyallerdir, yapısal malzemeler ise mekanik özellikleri ön planda olan malzemelerdir. Nanokompozitler polimer bazlı olan ve polimer bazlı olmayan malzemeler olarak da sınıflandırılabilir (Moreno and Torre, 2017).

Çizelge 3.1. a) Polimer bazlı olmayan nanokompozitler b) Polimer bazlı nanokompozitler (Moreno ve Torre, 2017)

a) Polimer bazlı olmayan nanokompozitler		
Metal- Metal nanokomp.	Metal- Seramik nanokomp.	Seramik- Seramik nanokomp.

b) Polimer bazlı nanokompozitler					
Polimer-Seramik nanokomp.	İnorganik-Organik Polimer nanokomp.	İnorganik-Organik Hibrit nanokomp.	Polimer-Katmanlı Silika nanokomp.	Polimer-Polimer nanokomp.	Biyokompozitler

Nanokompozitler eşsiz özellikleri sayesinde, nanosensörler, nanoproblar ve diğer nanosistemler, kimyasal ve biyolojik analiz alanlarında kullanılmaktadır. Kataliz, ayırma, sorpsiyon (içe tutunma) ve yakıt hücreleri nanokompozit uygulamaların kullanıldığı diğer önemli alanlardır. Nanokompozitler farklı fazlarda seramik, metal ve polimerler gibi konvansiyonel malzemelerin (nano-silis, nanotüpler, nano elyaflar gibi) nanomalzemelerle birleşimi olabilir. Örnek olarak bir bağlama matrisinde nanosilika betonlar ve Portland çimentosuna katılan harçlar ve dispersiyon (nanofiberler, nanotüpler ve çökeltme ile diğer takviyeler gibi agregalar ile birlikte) kompozit malzemelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyileştirilmesi için nanokompozit malzemeler kullanılabilir. (Moreno and Torre, 2017)

Nanomalzemelerin kullanılmasıyla oluşturulan nanokompozitlerin geliştirilmesinde temel amaç, öncelikle, binaların ve yapı elemanlarının yapım ve bakım maliyetlerinin azaltılmasıdır. Bir diğer amacı, yapıların tasarımı ve yenilenme süreçleri, inşası ve montajlanmasıı, ekonomiye uygun, dayanıklılığı yüksek, ekolojik ve süper dirençli olabilmesi ve bununla birlikte inşaat sürelerinin hızlandırılmasıdır. Farklı uygulamalarda malzemelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla uygulanabilecek çeşitli nanomalzeme ve nanoürün bulunmaktadır. Bu bağlamda kullanılan ana uygulamalar;

- Portland çimentosuna eklenen nanomalzemelerle betonun mukavemetinin artırılması,
- Çeliğe nanomalzemelerin eklenmesiyle korozyon ve bozulmanın azaltılması,
- Nanokompozitlerin yapı bileşenlerinde kullanılmasıyla oluşan nem, toz, parmak izleri ve bakterilerin uzaklaştırılması,
- Nanokompozitlerle ısı yalıtımı ve UVışınlarına karşı koruma sağlanması,
- Nanokompozitlerin yeni nesil fotovoltaik hücreler ve panellerde kullanılması,
- Yüksek kalite ve dayanıklılık için su yalıtım malzemeleri, boyalar, yapıştırıcılar ve sızdırmazlık malzemeleri,
- Nanokompozitlerin telekomünikasyon ve aydınlatmada elektronik parçalar ve bileşenlerde kullanılması,
- Nanokompozitlerin kullanılması ile su filtreleri, arıtıcılar ve arıtma sistemleri üretilmesi (Moreno and Torre, 2017).

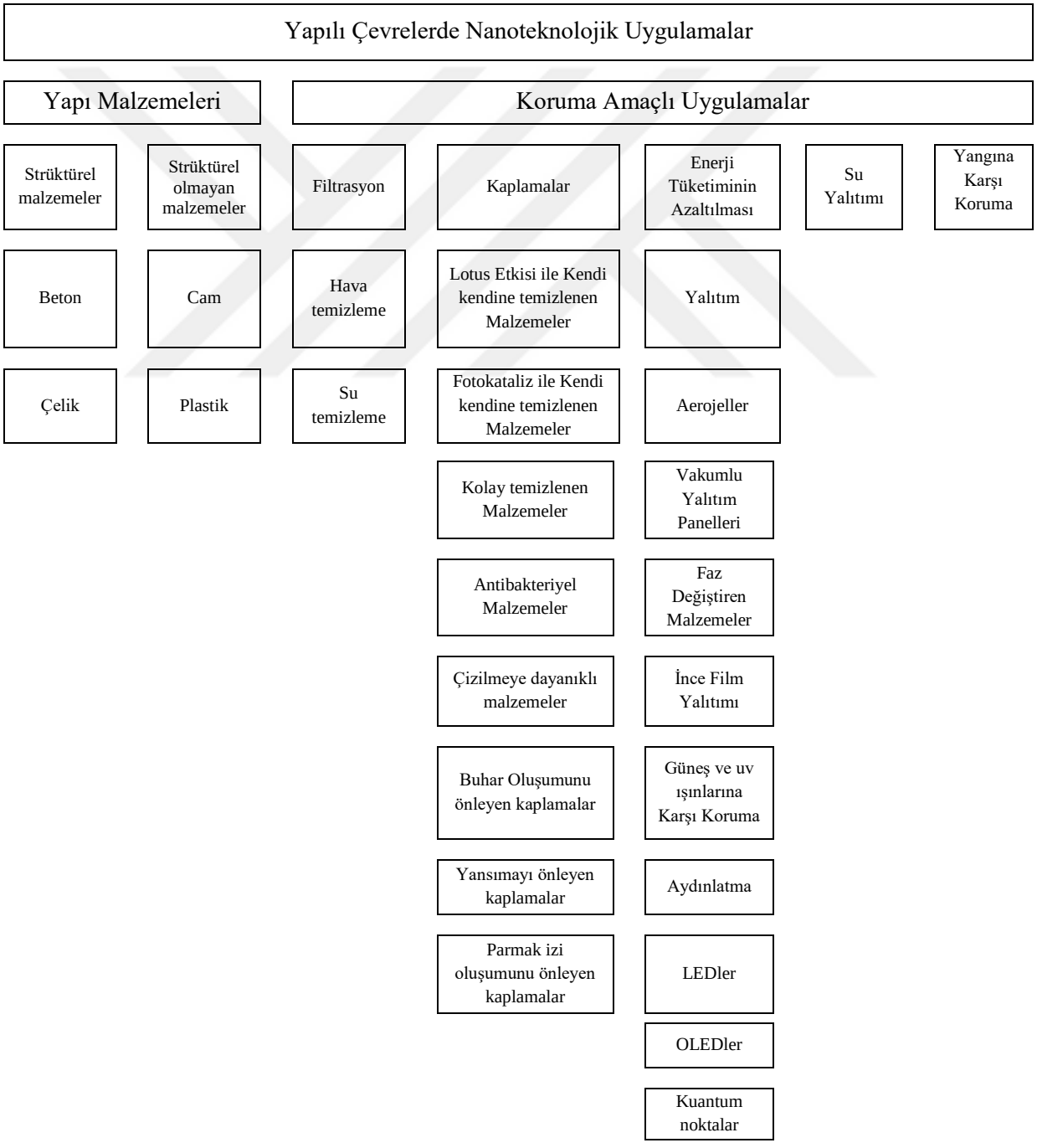
3.2. Bina Yapımında Kullanılan Nanoteknolojik Ürünler

Günümüzde, hızla gelişen teknoloji ile birlikte inşaat sektöründeki beklentilerin ve taleplerin hızla değişmesi ve bu değişimlerin malzeme maliyetlerini yükseltmesi, bu alanda yeni ve alternatif teknolojilere yönelmeyi zorunlu kılmaktadır. Ayrıca yoğun kentleşmenin bir sonucu olan çevreye verilen zararların giderek artması, bu zararların en aza indirgenmesi veya ortadan kaldırılabilmesi adına da inşaat sektöründe yenilenme ve yeni teknolojilerin kullanılması zorunlu hale gelmektedir. CO_2 salınımları, enerji tüketimi, atıkların azaltılması, azalan kaynaklar ve çevre kirliliği gibi pek çok konu gelecek yıllarda sektör adına giderek daha çok büyüyen sorunların oluşmasına sebep olacağından, yeni teknoloji ve malzemelerin bu alanlarda kullanılması önem arzetmektedir (Candemir ve diğerleri, 2012).

Bunlarla birlikte gelişen teknolojilerin inşa sürelerinde kısalma, dayanıklılık ve bina yaşam döngüsü süreçlerinin uzamasını sağlaması beklentileri, tasarım ve yapım aşamalarında farklı ve yeni malzemelere yönelmeyi sonuç vermektedir. Bu bağlamda ileri teknoloji ürünü olan nanomalzemelerin hem tasarım hem de inşa süreçlerinde beklentileri karşılayan uygulamalar olacağı söylenebilir. Yapılı çevrelerde nanomalzeme kullanımı kullanılan materyaller ve koruma başlıkları altında incelenmiştir. (Çizelge 3.2.) Nanomalzemeler yapının strüktürel elemanlarında kullanılan beton, çelik ve ahşapta kullanılan nanoteknolji

uygulamalarını, strüktürel elemanlar dışında kullanılan materyaller ise cam, plastik-polimerler ve seramiklerde uygulanan nanoteknolojik uygulamaları ifade etmektedir. Koruma başlığı altında ise filtrasyon, kaplamalar, enerji etkinliği ve enerji ürünlerinde kullanılan nanoteknolojik uygulamalar anlatılmıştır. Enerji etkinliği başlığı altında enerji tüketiminin azaltılması konusu özelinde yalıtım ve aydınlatma kullanımındaki nanoteknoloji uygulamaları gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Yapılı çevrelerde nanoteknolojik uygulamalar (Yazar tarafından oluşturulmuştur)



3.2.1. Strüktürel malzemeler

Bina yapımında kullanılan bu malzemeler beton, çelik ve ahşap olmak üzere üç başlıkta incelenebilir.

Betonda nanoteknoloji kullanımı

Beton malzemeler nanoteknoloji sayesinde geleneksel malzemelere kıyasen çok daha az enerji ile, uzun ömürlü, sürdürülebilir, fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri çok daha yüksek olarak üretilebilmektedir. Betonda nanoteknoloji ile birlikte çimento tanecikleri öğütülerek nanoboyutta çimento üretimi sağlanabilmekte, beton karışımlarına nano katkılar eklenerek malzeme özellikleri geliştirilebilmekte ve bu karışımlara akıllı agrega, nanosensör gibi malzemelerin eklenmesiyle veri toplanması sağlanabilmektedir (Yılmaz, 2014).

Beton dayanıklılığı nanopartikül ilave edilmesi yoluyla bu nanopartiküllerin fiziksel ve kimyasal etkileşimlere girerek gözenekleri doldurması sayesinde geliştirilebilir (Elvin, 2007). Eklenen nano boyutta katkı maddeleri ile beton yüksek performans özelliklerine sahip olabilmektedir. Beton yapısına çelik liflerin eklenmesi ile gerilme direnci artırılarak çok yüksek performanslı paslanmaz çelik özelliklerine sahip beton (UHPC) elde edilmiştir (Candemir ve diğerleri, 2012).

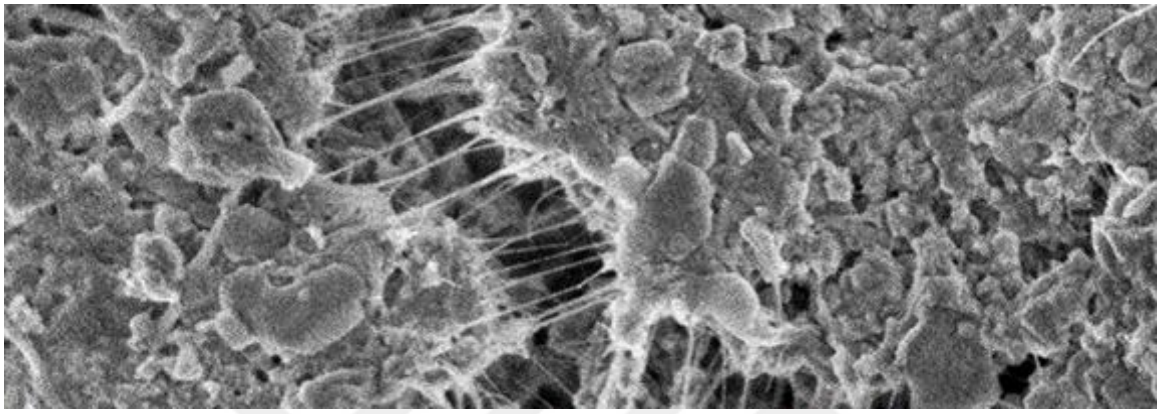
Beton, nanomalzemelerin üstün özelliklerinin etkili bir şekilde ortaya çıktığı bir makro-malzemedir. Bu durum beton için güç, dayanıklılık ve iyileştirme amaçlı izleme gibi katkılar sağlamaktadır. Nano ölçekte beton analizlerinin yapılabilmesi için Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM), Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Odaklı İyon Işınları (SEM) gibi bu ölçekte çalışma için geliştirilen çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Silika (SiO_2) ya da silisyum dioksit normal betonda karışımın temel unsurlarından biridir. Betonla ilgili nano ölçekte yapılan araştırmalarda elde edilen gelişmelerden biri, nano-silika kullanımıyla, mikro ve nano boyutta daha üstün mekanik özelliklerin ortaya çıkarılmasıdır. Çimento bazlı malzemelerde nano-silis ilave edilmesi, betonun temel C-S-H (kalsiyum-silikat-hidrat) reaksiyonunun bozunmasını ve blok su penetrasyonunu kontrol ederek dayanıklılıkta iyileşmelere yardımcı olabilir. Beton özelliklerini iyileştirebilmek amacıyla ilave edilen diğer bir nanopartikül titanyum dioksittir (TiO_2). TiO_2 beyaz renkli bir

moleküldür ve TiO_2'ten çok iyi yansıtma özelliklerine sahip kaplamalar üretilebilmektedir. TiO_2 organik kirleticileri, uçucu organik bileşikleri ve bakteriyel membranları oldukça güçlü katalitik reaksiyonlarla (fotokatalitik etki) gidermesi sebebiyle daha temiz yüzeyler elde edebilmek adına boya, çimento ve pencerelere eklenir. Bu şekilde uygulandığında havadaki kirletici maddeler azaltılabilir. Ayrıca hidrofilik olması sebebiyle uygulanan yüzeyler kendi kendini temizleme özelliklerine sahip olmaktadır. Bu işleyişte, yağmur suyu yüzeye çekilerek daha önce parçalanmış olan kirletici ve kir parçacıklarının toplanması ve yıkanmasını sağlayan tabakalar oluşturulur. Dünyanın birçok farklı yerinde yapılan projelerde kullanılan yeni nesil beton, bilinen geçmişinin lekeli yapılarından farklı olarak etkili bir şekilde korunan beyaz bir renge sahiptir (Saurav, 2012).

Günümüz beton teknolojisinin gelişmesinde nanomalzemeler etkin bir rol üstlenmektedir. Çimento esaslı malzemelerde kullanılmakta olan ya da üzerinde çalışılan birçok nano parçacık mevcuttur. Manyetik nanopartiküller, nano boyutlu viskozite düzenleyiciler, nano titanyum dioksit bunlardan bazılarıdır. Beton karışımlarda kullanılan bir başka nano partikül ise nanosilika (kolloid silika) dır. Nano silika mineral katkılı çimento hamurlarının priz sürelerini azaltmakta ve çimento hamurunun yüksek sıcaklık altında termal stabilitesini iyileştirmektedir. Nano $CaCO_3$, karbon nano tüpler ve karbon nanofiberler kullanılan diğer nanoparçacıklardır. Karbon nano fiberlerin beton içerisine katılması sonucu binaların yapısal olarak sürekli izlenebilmesi amacıyla sensörler üretilebilmektedir. Çimento esaslı piezoelektrik sensörler beton ile kolayca uyum sağlamakta ve bu sensörlerde karbon nanotanecikler iletken faz olarak kullanılmaktadır (Pekmezci ve Atahan, 2014).

Nanoteknoloji, çimento esaslı ürünlerde yüksek performans elde etmek için kullanılan katkı maddeleri ve sürdürülebilir beton malzemelerinin üretilebilmesi adına büyük bir potansiyele sahiptir. Karbon nanotüplerin eklenmesiyle oluşan nanoparçacıklar (SiO_2, Fe_2O_3) ile bağlama fazı ve agregaların mekanik özellikleri yeni beton elemanlar geliştirilebilir. Başlarda 1952'de Rusya'da keşfedilmiş, ancak ilk zamanlar değeri anlaşılamamış olan ve sonra 1990'lı yıllarda Japonya'da keşfi yeniden yapılan KNT'ler şu anda araştırma aşamasındadır. Portland çimentosu ile oluşturulan karışımlara ağırlıkça % 1 karbon nanotüplerin eklenmesi beton malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştirir. Bununla birlikte çimento kompozitlerinde çatlak yayılımı karbon nanotüpler sayesinde iyi bir biçimde önlenebilir. Kendiliğinden iyileşen beton bünyesinde çatlak oluşmaya

başladığında, gömülü mikrokapsüller kopar ve kılcal hareketlerle çatlak oluşan kısma bir iyileştirici ajan gönderir. Bu ajan, çatlak oluşan kısmı birbirine bağlı tutmak için polimerize olan gömülü bir katalizöre temas ederek, Şekil 3.1'deki gibi iki tarafın birbirine tutunmasını sağlar. Bu husus, bina elemanlarının ömrünü iki veya üç kat artırma potansiyeline sahiptir (Sev ve Ezel, 2014).



Resim 3.1. Tek duvarlı karbon nanotüp içeren hidrate olmuş Portland çimentolu kompozit malzemedeki çatlağın nanotüplerle engellenmesi (URL-2)

Betonda çelik donatı, karbon dioksit ve klorür iyonlarının etkisiyle zarar görerek korozyona uğrar. Betonarme bileşenlerdeki nanosensörler asitliği ve klorür iyonlarını izlemek ve mevcut hasarı belirlemek için tasarlanmıştır ve bu maksatla üretilmektedir. Betonarme bileşenlerdeki bozulmanın nedenleri asitlik ve klorür iyonlarının betona verdiği hasardır. Nanosensörler beton yoğunluğunu ve viskoziteyi ölçmek, beton sertliğini ve büzülmeyi ve belirli anahtar parametreleri ölçmek için tasarlanabilecekleri gibi, kalite kontrol ve dayanıklılık takibi için beton karışımına eklenebilirler. Bunların yanı sıra sıcaklık, nem, klor konsantrasyonu, asitlik, karbondioksit, gerilmeler, takviye korozyonu ve titreşim gibi hususlar da nanosensörler tarafından izlenebilmektedir (Sev ve Ezel, 2014).

Günümüzdeki araştırma konularından biri de çevre şartların izlenebilirliği ve modern binalarda malzemelerin ve yapı bileşenlerinin performanslarının kontrol edilmesidir. Yapılarda çevresel koşulları, malzeme ve yapı performanslarını izlemek ya da kontrol edebilmek amacıyla nano ve mikroelektrik mekanik sistemler (MEMS) sensörleri geliştirilmiştir. Bu sensörler, beton korozyonunu ve çatlamayı izleme amacıyla inşa sürecinde yapı içerisine yerleştirilebilir. Akıllı agrega olarak ifade edilen düşük hacimli,

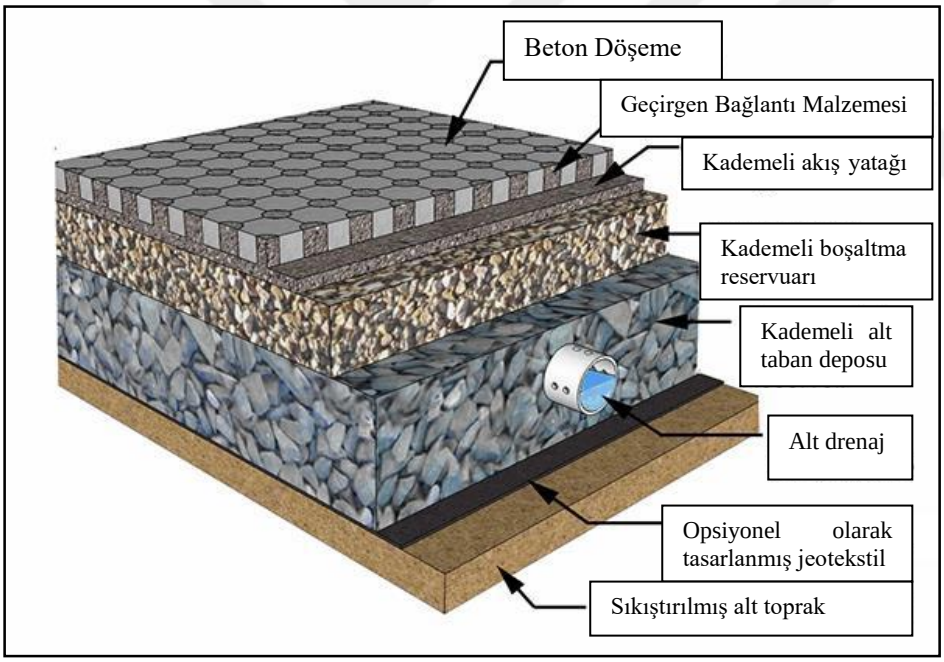
piezoseramik esaslı çeşitli fonksiyonları olan cihazlar, nem, sıcaklık, bağıl nem ve erken yaş mukavemeti gelişimi gibi beton özelliklerini takip etmek amacıyla kullanılabilmektedir. Bununla birlikte akıllı agrega yapı sağlığını izlemek maksadıyla da kullanılabilirmektedir. Nanosensörler ve akıllı agregaların kullanıldığı sistemler, bina ömrü süresince iç gerilmeleri, çatlakları ve diğer fiziksel kuvvetleri takip edebilir. Yapı hasara uğramadan önce yapı sağlığı hakkında erken bilgi sahibi olunmasına katkı sağlamaktadır. Örnek olarak betonarme binalarda, beton mukavemeti ve dayanıklılığının, sıcaklığa ve bileşenlerin içindeki nemin aktarılmasına bağlıdır. Bu nedenle, sıcaklık ve fazla nem bozulma sürecini hızlandırarak, bütünlüğü ve uzun süre dayanımı riske atabilir. Sıcaklığın ve nemin izlenebilmesi, çimentonun sertleştirilmesi, sertleşme süreci ile çelik elemanların aşınması, donma-çözülme reaksiyonları, karbonatlaşma ve alkali-agrega döngüsü gibi bozulma mekanizmaları ile ilgili detaylı bilgiler edinmemize yardımcı olur. Sıcaklık ve nemin ölçülmesi amacıyla nanoteknoloji / mikroelektromekanik sistem sensörleri kullanılmakta ve bu sayede nem seviyesi ve sıcaklık oranları izlenebilmektedir. Bu sensörler nano boyutlarda olmaları nedeniyle inşa aşamasında yapısal bileşenlere gömülebilmekte, hidrasyon işlemi esnasında sıcaklık ve iç nem miktarı ile erken yaşlardaki betonun davranışını etkin biçimde izleyebilmektedirler. Bunlarla birlikte, çeşitli beton harçlarında sensörlerin vereceği tepkiyi değerlendirebilmek amacıyla yapılan araştırmalar artırılmalıdır (Ge and Gao, 2014; Sev ve Ezel, 2014).

“Kendiliğinden Yerleşen Beton” nanoteknolojiyle birlikte ortaya çıkan başka bir yenilikçi yapısal malzemedir. Kendiliğinden yerleşen betonların toparlanması ve konsolidasyonu amacıyla titreşime ihtiyaçları yoktur. Bu durum inşaat sürecinde beton dökümünde harcanan enerjiyi büyük ölçüde azaltarak yapının sürdürülebilirliğine katkı sağlamaktadır. Ayrıca kendiliğinden yerleşen betonlar işçilik maliyetlerinde %50 oranında azalma sağlayabilir. Çünkü kendiliğinden yerleşen betonlar %80 oranında daha çabuk dökülür ve kalıp üzerinde iken daha az aşınma ve yıpranma söz konusudur. Bu malzemeler içeriğinde kullanılan polikarboksilatlar nedeniyle kalın bir sıvı gibi davranır (Sev ve Ezel, 2014).

Ağırlıkça %1 oranında karbon nanotüp katkısı, Portland çimentosu ana fazı ve su nümunelerinin mekanik özelliklerinin iyileşmesini sağlayabilir. Oksitlenmiş çok duvarlı nanotüpler, katkı yapılmadan referans alınan örneklere göre basınç dayanımı ve eğilme mukavemetinde oldukça iyi gelişmeler sergilemektedir. Oksitlenmiş çok duvarlı karbon nanotüplerin yüzeyindeki konsantrasyonun, nanoyapı ile bağlayıcının daha iyi bir bağ ile

sabitlenmesini sağlayabileceği ve bu şekilde kompozitin mekanik özelliklerini iyileştirmesinin sağlanabileceği teorileştirilmiştir (Saurav, 2012).

Susuz beton (Topmix Geçirgen beton) kullanımında, su uygulandığında, yatayda farklı yönlere yönelmeden dikey olarak aşağı doğru akar ve çok çabuk bir biçimde emilir. Konvansiyonel beton malzemelerinin, zemin yüzeyinden bir saat içinde en az 300 mm suyun geçeceği kadar geçirgen olması gerekir. Ancak topmix geçirgen beton, saatte 36.000 mm su veya dakikada yaklaşık 880 galon içerir. Emilen bu su, yer altı sularına eklenir. (Şekil 3.1.) Topmix geçirgen beton uygulamaları, doğal afetlerde güvenli bir şekilde suyun aktarılmasında yarar sağlar, yağmurlu mevsimlerde trenlerin sorunsuz şekilde çalışabilmesi amacıyla demiryolu raylarında, uçakların kalkış ve inişlerinde problem yaşanmaması için pistlerde ve daha iyi ulaşım amacıyla karayollarında ve otoyollarda kullanılabilir.



Şekil 3.1. Susuz beton çalışma prensibi (Kothari and Dewalkar, 2016)

Nanoteknolojinin beton ve çimento bazlı malzemelerde uygulanmasına ilişkin araştırma ve geliştirme çalışmalarına,

- Çok fonksiyonlu ve akıllı karbon nanotüplerle güçlendirilmiş çimento bazlı materyaller ve bu materyallerin üretim teknikleri, mekanik, elektrik ve basınçla direnç değişimi ve termal iletkenlik ve sönümleme özellikleri ile bunların uygulama imkanları,

- Nanoteknolojinin yol ve kaldırım mühendisliğinde uygulanması ve bu alanda kullanılan malzemelerin özellikleri ve problemleri
- Çimento harçlarında uygulanan kalsiyum silika hidrat (CSH) bileşiğinin atomik yapısı ile ilgili nanoteknolojik modelleme uygulamaları, kullanılan sayısal araçlar ve modelleme sınırlılıkları
- Tek duvarlı karbon nanotüplerin çimento hidrasyonu ve ilavesindeki etkileri
- Nanomalzemeler ile aktive edilmiş çok fonksiyonlu betonlar ve strüktürler (örnek olarak nanobetonun üzerindeki yükleri algılama ve yüzeyindeki gerilimi ölçme yeteneği)
- Nano kristalizasyon kontrolü sayesinde iyileştirilen yapı malzemeleri (beton ve alçı yapımı)
- Nano değişime uğramış çimento harcına kil eklenmesiyle puzolanik tepkimenin çoğaltılması, örnek olarak verilebilir (Demirdöven, 2012).

Çelikte nanoteknoloji kullanımı

Çelik, ikinci sanayi devrimi itibariyle kullanılmaya başlanmış ve o dönemlerden bugüne yaygın bir şekilde kullanılarak günümüze kadar inşaat sektöründe kullanılan önemli malzemelerden biri olagelmiştir. Çelik çevrimsel yüklerle karşı karşıya kaldığında yorulmadan kaynaklı yapısal bozulmalar ortaya çıkabilir. Bu durum binaların ömründe büyük oranda kısalmalara sebep olabilir. Çelikteki gerilmelerden kaynaklanan bu yapısal bozulmaların önüne geçilebilmesi için, belirli önlemlerin alınması gerekmektedir. Çelikteki gerilmelerin azaltılması, bina ömrünün kısaltılması ve düzenli bir denetime tabi olarak tasarımlara yön verilmesi gerekmektedir. Yapılan araştırmalar bakır nanopartiküllerinin çeliğe eklenmesinin yüzey pürüzlülüğünü azaltarak yorulmalardan kaynaklanan çatlamaları sınırlandırdığını göstermektedir (Saurav, 2012).

Çelikte nano katkılarla hem yüksek performans hem de yüksek esneklik elde edilebilmektedir. Yüksek katlı yapılar, dayanıklılığı yüksek, birleştirme ve ekleme elemanlarına ihtiyaç duyar. Dayanıklılığı yüksek cıvataların performansı genellikle söndürme ve temperleme ile oluşturulur ve bu malzemeler mikro boyutlarda temperlenmiş martensit içerir. Vanadyum ve molibden nanopartiküllerle, cıvataların çelik mikroyapısı geliştirilerek kuvvetleri arttırılabilir. Karbon Nanotüpler, dayanıklılık ve sertlik özellikleri

olan, yenilikçi ve heyecan verici bir malzemedir fakat kaygan olmaları nedeniyle çeliğe çok fazla eklenemezler. Ayrıca, çelik üretiminde söz konusu olan yüksek sıcaklıkların karbon nanotüpler üzerindeki etkileri nedeniyle çelikle kompozit bir bileşen olarak kullanılmaları zordur (Sev ve Ezel, 2014).

Çeliğin sementit fazının bir nano boyutuna kadar arıtılması çok güçlü kablolar üretilmesini sağlamıştır. Yüksek dayanımlı bu çelik kabloların, köprü yapımı ve prefabrik beton üretiminde kullanılması mümkündür. Özellikle asma köprülerdeki açıklıkların geçilmesinde kullanılan güçlü kablolar, inşaat maliyet ve sürelerinin azalmasını sağlayacaktır. Nanopartiküller, hidrojenin neden olduğu etkileri azaltmaktadır. Malzeme polikarboksilatlar (nanoteknoloji sayesinde oluşturulan plastik türevi bir malzeme) eklenerek kalın bir sıvı gibi hareket eder ve gevrekleşmesinin ve granül-taneli sementit fazın olumsuz özelliklerini gidererek çeliğin mikro yapısında iyileşmeler gösterir. Magnezyum ve kalsiyum nanopartikülleri çeliğe eklendiğinde, ısıdan etkilenen bölgedeki taneciklerin çelik levhalarda daha dayanıklı olmasına katkı sağlar ve bu durum kaynak sertliğinin artmasına neden olur. Son dönemde üretilmiş iki yeni çelik ürünü bulunmaktadır. Bunlar Sandvik Nanoflex ve MMFX2 çeliğidir. Bu ürünler farklı nanoteknoljik uygulamaların sonucudur ve farklı mekanik özelliklere sahip olmalarına rağmen ikisi de korozyona karşı dayanıklıdır. Sandvik Nanoflex, yüksek mukavemetin yanısıra korozyon karşıtı özellikler sergilerken, MMFX2 çeliği, korozyon karşısında dayanımı yüksek ve konvansiyonel paslanmaz çelik yerine kullanılabilir ve benzersiz bir lamine yapı (kontrplak etkisi) sergilerken, nano yapısı biraz daha düşük bir maliyetle modifiye edilmektedir (Abdellatif, 2010; Eisazadeh ve Allacker, 2016).

Ahşapta nanoteknoloji kullanımı

Ahşap eski zamanlardan beri kullanılan bir başka yapısal malzemedir. Nanoteknoloji ahşap ve ahşap esaslı malzemelere iki temel strateji üzerinde uygulanır. Birinci yol, farklı endüstrilerde üretilen nanomalzemeler ve nanosensörlerin kullanımıdır. Bu sayede bu malzemeler orman ürünlerine uygulanarak mevcut ürün performansını geliştirir. Bu ürünler, ahşap ve ahşap lifleri yüksek performanslı kompozit malzemelerle kaplamak ve su yalıtımı için üretilen bariyer kaplamalardan oluşur. İkinci yöntem ise yeni malzemelerin geliştirilmesi, bu sayede daha hafif, ekonomik, çok işlevli, biyo esaslı ahşap ürünlerin ouşturulmasıdır. Ahşap esaslı yapı malzemelerinin son kullanım şartları düşünüldüğünde performansları oldukça iyidir. Ancak ıslak ortamlarda çürüme, küf ve böcek saldırısına

karşı zayıf olabilirler. Ahşap malzemelerde, zehirli kimyasallar yardımı ile ve nemden korunarak, bozulmalardan kaçınılabilir. Nemin kontrol edilebilmesi adına nanoteknolojik ürünlerden yararlanılabilir. ZiO_2, gümüş, TiO_2 nanopartiküller ve killer gibi yeni veya toksisite oranı düşük nanomalzemeler, koruyucu ya da nem bariyeri olarak kullanılabilmektedir. Ayrıca, TiO_2 ve killer yangına karşı dayanımı da sağlamaktadır. (Sev ve Ezel, 2014) Ahşap malzemelerde nanoteknoloji liflerin birbirine daha güçlü bir şekilde bağlanmasını sağlayarak performansı daha yüksek ahşap malzemeler elde edilmesini sağlar (Candemir ve diğerleri, 2012).

Ahşap, geri dönüştürülebilmesi ve tekrar üretilebilmesi mümkün yenilenebilen bir yapı malzemesidir. Ahşap yapılar düşük iletkenlikleri sayesinde, ısıtma ve soğutma yüklerinde azalmayı sağlar ve ahşap malzeme CO2'in oksijene dönüştürülmesi ve karbon emisyonlarında azalmayı sağlaması açısından önemli bir malzemedir. Buna karşılık, ahşap nem, böcekler, küf ve UV ışınlarından olumsuz anlamda etkilenebilir. Nanoteknoloji ile birlikte ahşap bazlı ürünler performans ve işlevsellik açısından iyileştirilebilir potansiyele sahiptir. Örnek olarak, nanosensörler küf, çürüme ve termitleri izleyebilir, nano ölçekli malzemelerden üretilmiş kaplamalar ile kendi kendine temizleme yapabilen ahşap yüzeyler yapılabilir (Eisazadeh ve Allacker, 2016). Yapılan bazı araştırmalarda, nano ölçekte lignoselülozik yüzeylerin yapı işlevselliği üzerinde, kendi kendini temizleme özelliğine sahip yüzeyler, kendi kendine iyileştirme ve elektronik lignoselülozik cihazlar üretilmesi gibi yeni fırsatlar oluşturabileceği öngörülmüştür. Bu aktif ya da inaktif nano boyutlu sensörler sayesinde, yapısal yüklerin, sıcaklıkların nem içeriğinin, çürüme mantarlarının, ısı kayıplarının veya kazanımlarının ve koşullandırılmış hava kaybının tanımlanarak kullanım esnansında ürün performansı ve çevre şartları ile ilgili geri bildirim sağlanacaktır. Şu an, bu alanlardaki araştırmalar sınırlı görünmektedir (Sev ve Ezel, 2014).

Hidrofobik (su itici) nano kaplamalar ahşap malzemeleri hava şartlarından korumakla birlikte renklerinin bozulma süresini uzatır. Kaplama malzemelerine ek olarak yerleştirilen nano UV absorbe ediciler, ahşabın UV radyasyonundan etkilenerek tahrip olmasını engeller (Eisazadeh ve Allacker, 2016).

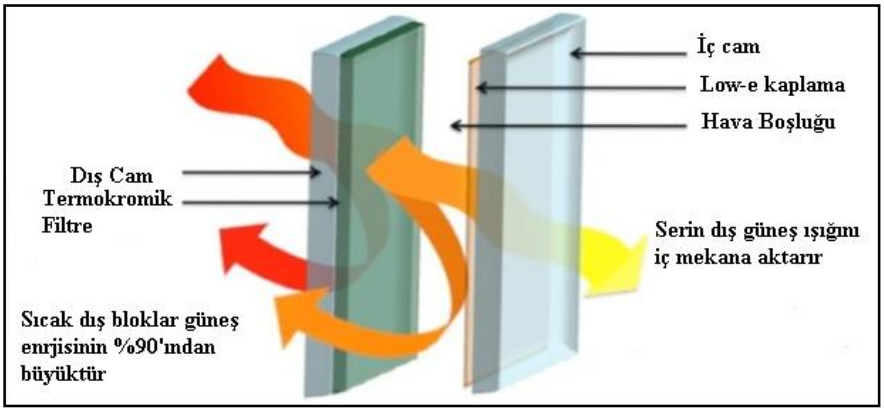
3.2.2. Strüktürel olmayan malzemeler

Yapılı çevrelerde strüktür elemanları dışında kullanılan nanomalzemeler cam, plastik ve polimerler ile seramikler başlığında incelenebilir.

Cam

Camlarla ilgili olan nanoteknolojik uygulamalar iklim kontrolü, ısı ve yangına dayanıklılık ve kolay temizlenebilme özellikleri gibi alanlarda yapılmaktadır. Binalarda iklim kontrolü ısı ve ışığın kontrollü bir biçimde ele alınmasını gerektirir. Pasif anlamda ısı ve ışık kontörlü, ince film kaplamalarla sağlanmaktadır. Aktif anlamda ise termokromik, fotokromik, elektrokromik teknolojilerle ısı ve ışık kontrol edilmeye çalışılmaktadır (Kazanasmaz ve Diler, 2011).

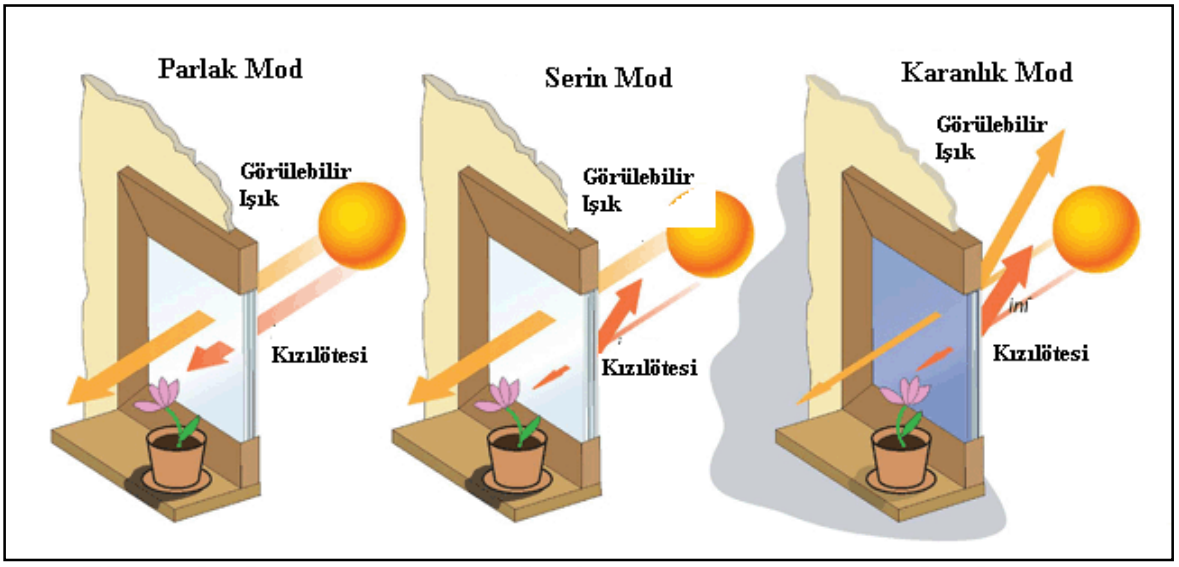
Termokromik camlar, termokromik sözcüğü, Yunancadaki *Thermos* ve *Chroma* kelimelerinden türemiştir. Thermos ılık veya sıcak anlamında kullanılırken, Chroma renk anlamına gelmektedir. Termokromik malzemeler, sıcaklığın değişmesiyle rengi değişebilen malzemeler olarak ifade edilebilir. (Açıksarı ve Karasu, 2018) Bu camlar (ısıya duyarlı) saydamlıkları sıcaklığa bağlı olarak değişen camlardır. Bu camların en önemli bileşeni iki cam arasına sıkıştırılmış jellerdir, bu jel soğuk durumda saydam halde bulunmakla birlikte gün ışığının etkisiyle ısındığı zaman yansıtıcı özellik kazanımı ışık geçirgenliği azalarak günışığını sönümler; (Şekil 3.2.) bu sayede bir kumanda, dışarıdan bir insan etkisi veya düğmeye ihtiyaç duymadan camın ışık geçirgenliği azalır. (Kazanasmaz ve Diler, 2011). Termokromik camlarda iki cam arasına sıkıştırılmış jeller kullanılabilir, bununla birlikte cam yüzeyine uygulanan termokromik kaplamalar da mevcuttur (Açıksarı ve Karasu, 2018).



Şekil 3.2. Termokromik camların kullanımı (Kazanasmaz ve Diler, 2011)

Fotokromik camlar, fotokromik camlar belli bir dalga boyunun etkisiyle (ultraviyole ışığın cama yansıması vb.), koyulaşır ve yansıma kaynağından uzaklaştığında ise, yeniden özgün rengini alır (Şekil 3.3.). Fotokromik cam içerisinde yaklaşık 50 nanometre büyüklüğünde gümüş klorür, gümüş bromür, gümüş iyodür gibi gümüş-halürleri bulunmaktadır. Bunlar halojenlerden elde edilmiş tuzlardır ve bir miktar bakır oksit ihtiva ederler. Yapısındaki gümüş klorür sayesinde cam morötesi ışığa maruz kaldığında ışınım enerjisini kullanarak gümüş ve klor atomlarına dönüşürler ki bu sayede camda kararmaya sebep olurlar. Işık kaynağı uzaklaştığında ise süreç tersine çalışır; gümüş ve klor atomları tekrar bir araya gelerek gümüş klorür moleküllerini oluştururlar bu sayede cam tekrar ışığı geçiren yapısına döner (Kazanasmaz ve Diler, 2011).

Fotokromik cam uygulamalarında gümüş vs. atomlarının kullanılmasının yanısıra fotokromik kaplamalar da kullanılmaktadır. Fotokromik camlar, güneş veye mor ötesi ışınlardan etkilendiklerinde kararır. Malzemenin ışın maruziyeti bittiğinde de fotokromik cam kaplama beyaz renge dönüşür. Fotokromik özellik tersinir olarak çalışır. Ticari amaçlı fotokromik camlar genelde alkali borosilikat camlarında az miktarda AgCl (ağırlıkça %0,2–0,7) eklenmesiyle üretilmektedir (Açıksarı ve Karasu, 2018).



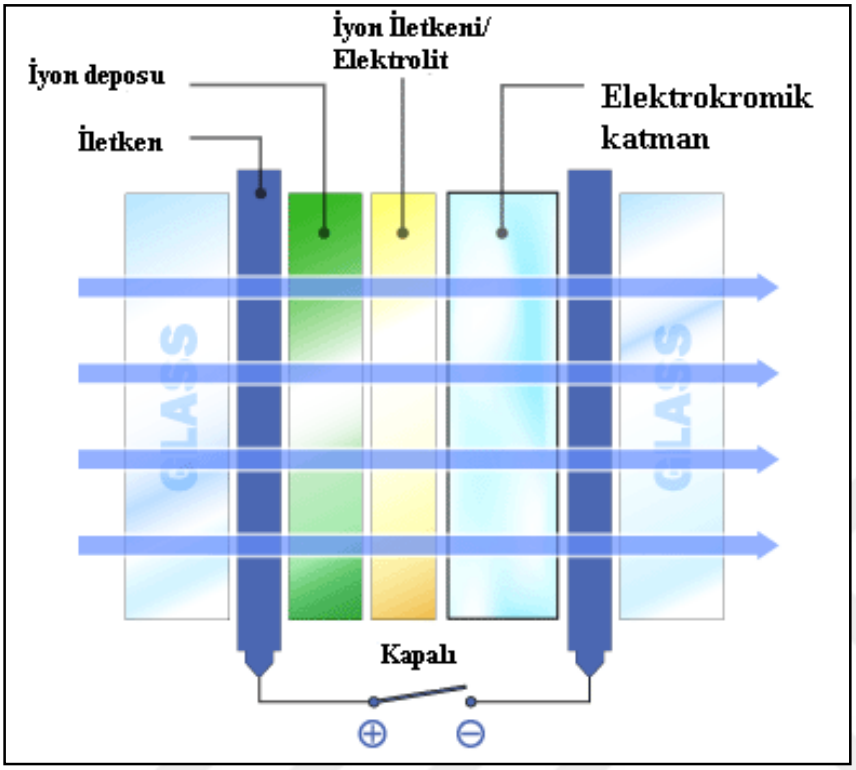
Şekil 3.3. Fotokromik camların kullanımı (Kazanasmaz ve Diler, 2011)

Elektrokromik camlar, gelişmiş cam teknolojilerinden biri de elektrokromik camlardır. Eletrokromik kaplamalar 5 tabakadan oluşur ve genellikle nikel veya tungsten metalinden meydana gelir. (Şekil 3.4.) Bu malzemeler, iki saydam iletken arasına yerleştirilir. İletkenlere voltaj uyguladığımızda cam içinde bir elektrik alanı oluşur. Bu alan yaklaşık 4 mikron büyüklüğündeki renklendirici iyonların (genellikle lityum ve hidrojen) elektrolitten elektrokromik tabakaya doğru hareket etmesini sağlar. Elektrokromik tabakada meydana gelen tepkimeden dolayı elektrokromik yüzey koyulaşır (prusya mavisi) ve saydam olmayan fotokromik camların koyu yüzeylerine benzer bir yüzey elde edilir (Kazanasmaz ve Diler, 2011).

Elektrokromik camlar, pencere uygulamalarında üstün avantajlar sağlamaktadır. Anahtarlama esnasında (1–3V gibi) çok az bir gerilim yeterli olmaktadır. Beyazlatılmış ya da renkli haldeyken iyi açık devre belleği sergilerler ve ortama kontrol edilebilir biçimde cevap verebilirler. Bunlarla birlikte elektrokromik cam enerji verimliliği açısından en üst düzeye ulaşmak için low-e kaplama, gaz dolum ve vakum yalıtımı benzeri özellikleri de sergileyebilir.

Bu bağlamda elektrokromik camlar ticari olarak çok fazla üretilememektedir, piyasadaki birçok elektrokromik pencere çoğu cam ihtiyacına göre boyut olarak küçük, nispeten pahalıdır (Gao ve diğerleri, 2010). Elektrokromik camlarda renk değişiminde nikel oksit katmanı olarak görev yapan tungsten oksit içindeki çeşitli kromojen renkler, nikel oksit

elektronlarının valans bandından kaçarak herhangi bir yük uygulamasında tungsten oksitin içeriğine atlarlar ve renk değiştirme işlemi gerçekleştirilmiş olur (Das and Mitra, 2014).



Şekil 3.4. Elektrokromik cam katmanları (URL-3)

Plastik ve polimerler

Nanoteknoloji sayesinde daha güçlü ve ısı ve çizilmeye karşı dayanıklı özel nanokompozitler oluşturulabilir. Belirtilen nanokompozitler plastik için kullanılan termoplastik reçinelerin üretildiği ve işlendiği süreçlere benzer tekniklerle üretilebileceğinden, hızla yayılması mümkündür. Nanoteknoloji ile oluşturulan plastik nanotüpler elektrik iletmek için kullanılan nanokompozitlerdir. Bu teknoloji ile iletken boyalar, yüksek performanslı kaplamalar sızdırmazlık ürünleri lif ve yapıştırıcılar sentezlemek mümkündür. Nanoteknoloji ile plastiklerin hafif, şeffaf ve çelik gibi sağlam olması, çizilme, çatlama sonrası kendini iyileştirebilmesi, biyo esaslı polimerlerin üretilmesi, hedeflenmektedir (Candemir ve diğerleri, 2012).

Seramikler

Seramikler ile ilgili yapılan nanoteknolojik uygulamalar genellikle yüzey özelliklerini iyileştirmeye yöneliktir. Nanoteknoloji sayesinde antibakteriyel yüzeyler üretilmesi, genellikle temizliğin ekstra önem kazandığı sağlık yapıları ve kamuya açık kullanım alanlarında kullanılabilecek malzemelerdir. Genel olarak gümüş, kalsiyum fosfat ve titanyum dioksit gibi antibakteriyel özellik taşıyan nanomalzemelerin, seramik sırlarına katılması ya da yüzeylere farklı uygulamalarla uygulanması şeklinde elde edilmektedir. Hidrofobik ve süper hidrofobik yüzeyler; Yüzey üzerine gelen su damlası, yüzeyde yayılmak yerine küresel şekilde durma eğilimi gösteriyorsa bu tür yüzeyler hidrofobik yüzey olarak adlandırılmaktadır (Candemir ve diğerleri, 2012).

3.2.3. Koruma amaçlı uygulamalar

Özellikle güneşin istenmeyen etkilerinden korunmak ve çevreye bağlı olarak gelişebilecek kirliliklerin mekâna geçişini azaltmak, yangından korunmak ve yüzeylerin kendiliğinden temizliğini sağlamak amacıyla geliştirilen malzemelerdir.

Filtrasyon

Hava ve suyu temizleyen malzemeler, nanoteknoloji sayesinde hava kalitesini yükseltme işlevi, kötü kokuların bileşenlerine ayrılması veya birtakım yapı malzemelerinin havanın içindeki bazı kir, toz gibi partikülleri absorbe etmesiyle gerçekleşmektedir. Kirli havayı temizleme özelliğine sahip malzemeler, havayı tamamen temizlememekle birlikte, havanın kalitesini ciddi oranda artırmakta, iç ortamdaki nem dengesinin kurulmasına yardımcı olmakta, kötü kokuların ve kirli havanın yok edilmesini sağlamaktadır. Kendi kendini temizleyen nanomalzemelerde önemli olan fotokataliz, hava kalitesini artıran nanomalzemelerde de önemlidir. Havayı temizleme özelliğine sahip nanomalzemelerin binalarda kullanımı çeşitli kaplama malzemeleri, boya, ampul gibi ürünlerle olabilmektedir. (Gür, 2010) Havayı temizleme fonksiyonu görülen nanomalzemelerden, iç mekânda perdeler ve halılar mekânın havasını temizlerken, dış mekânda beton ya da parke taşı da çevre kirliliğini azaltır (Resim 3.2.) (Harman, 2011).



Resim 3.2. Hava temizleyen malzemelerin iç ve dış ortamda kullanımı (Harman, 2011)

Nanofiltreler suyun zararlı bileşenlerden ve metallerden hatta sağlığa zararlı mikroorganizmalardan arındırılması amacıyla kullanılmaktadır. Suyun zararlı bileşenlerden arındırılması amacıyla farklı nanoteknolojiler hayata geçirilmiştir. bazı nanofiltreler demir nanoparçacıklarını kullanırken bazıları da paladyum kaplanmış altın nanopartiküllerini kullanmaktadır (Candemir ve diğerleri, 2012).

Kaplamalar

Nanoteknolojide önemli bir araştırma alanı olan kaplamaların (bitirme malzemeleri) beton, cam ve çelik malzemelerde uygulanabilmesi ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Bu konudaki çalışmalar, arzu edilen fonksiyonel veya koruyucu özelliklerin bir yüzeyini oluşturmak için ana malzemeye bağlanan bir tabakanın üretilmesi amacıyla kimyasal buhar biriktirme, daldırma, menisküs, sprey ve plazma kaplamaları odağında yoğunlaşmaktadır. Kaplama deneyleri ve modellemeler bu konu ile ilgili yapılan çalışmalardır (Atva ve diğerleri, 2015).

Boya ve kaplamalarda kullanılan nanomalzemeler ve oluşturdukları fonksiyonel özellikler şöyledir:

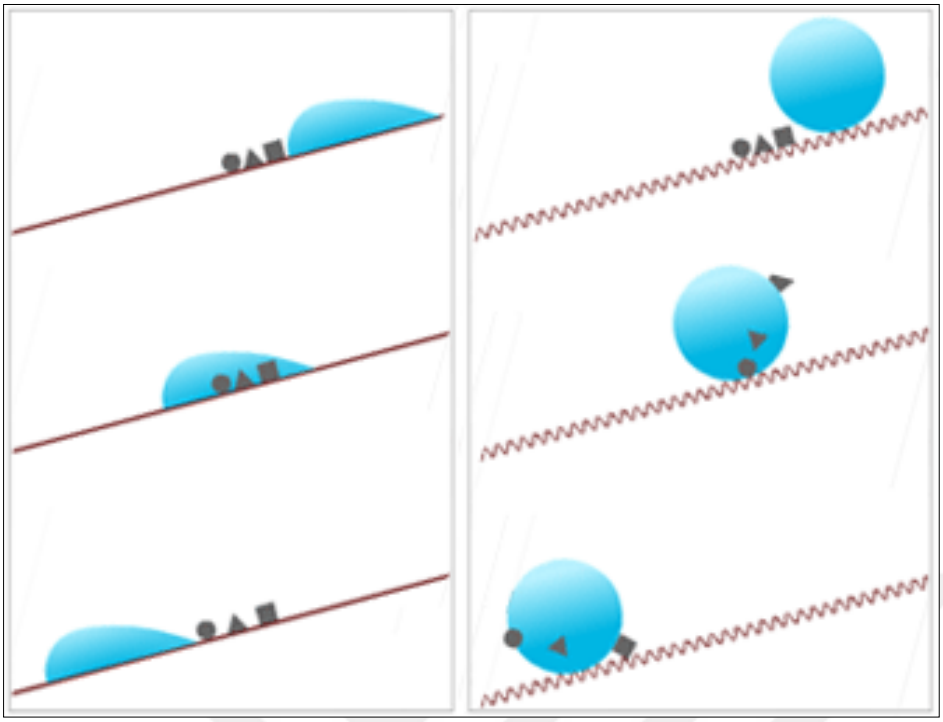
- Titanyum dioksit: Kendini temizleme özelliği, antimikrobiyel, UV koruyucu,
- Alüminyum oksit: Aşınma direnci, çizilme direnci
- Kil: Oksijen, nem, gaz bariyeri, alev geciktirici
- Karbon, çizilme direnci, elektrik iletkenliği,
- Indium tinoxide: antistatik, iletkenlik, çizilmezlik, şeffaflık,
- Çinko oksit: antiperspirant, antibakteriyel, UV koruyucu

- Silika: çizilme direnci, şeffaflık
- Gümüş: antimikrobiyel
- Miniemulsiyonlar: çeşitli fonksiyonlar (Candemir ve diğerleri, 2012)

Nano boyutlu hücreler, gözenekler ve partiküllerin eklenmesi sayesinde, nanoteknoloji boyalara uygulanabilmektedir. Boyalara uygulanan bu işlemle birlikte, malzemenin yalıtım özellikleri iyileştirilerek termal iletimin azalması sağlanır. Söz konusu malzemelerin R değerleri yalıtım köpüğünden iki kat fazladır. Bu özellikteki boyalar hidrofobik özellikleri sayesinde yalıtımın yanında yapı malzemelerini korozyondan korumak için kullanılır ve metallerin tuzlu suların etkisinden korunması ve metal malzemelerden suyun uzaklaştırılmasında etkin rol oynayabilirler. Bu tarz kaplamalar, taş esaslı yapı malzemelerinde kullanılarak konvansiyonel tekniklere göre yapışma ve şeffaflık anlamında daha üstün özellikler sergilemektedir (Atva ve diğerleri, 2015).

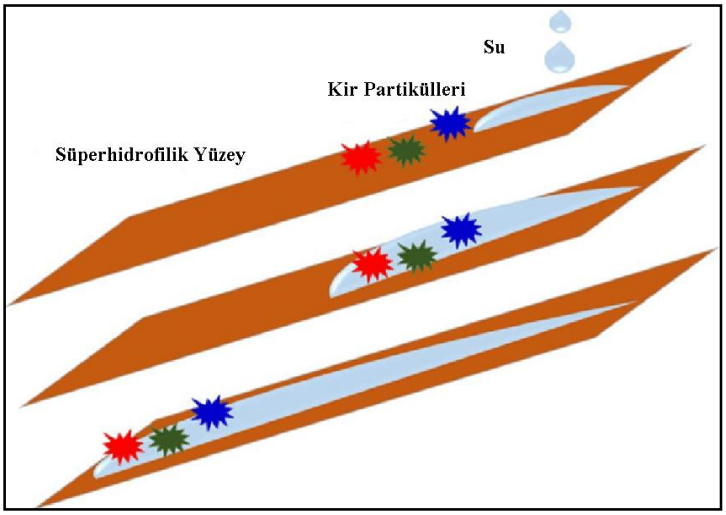
Lotus etkisi ile kendi kendine temizlenen yüzeylerde yüzey özellikleri, hidrofobik (su sevmeyen-uzaklaştıran) yüzeyler: Yüzeyde su damlası, yayılma eğilimi göstermeden, küresel şekilde bulunur. (Şekil 3.5) Bir yüzeyde bu özellikler varsa bu yüzeyin nano boyutta pürüzlülük içerdiği anlamına gelir. (Vural ve Yılmaz, 2015) Su molekülleri hidrofobik yüzeylerde bir damlacık oluşturmak amacıyla biraraya gelme eğilimindedir. Böylece, kümelenen su molekülleri birbirlerine daha yakın duracak ve hidrofobik yüzeyle aralarındaki mesafeyi koruyacaklardır. Lotus çiçeği yapraklarındaki bu sudan uzaklaşma eğilimi kimyasal bir etki olarak kabul görmektedir (URL-4).

Hidrofilik (suyu çeken) yüzeyler, hidrofilik yüzeyler, hidrofobik yüzeylere ters olarak yüzeye gelen su damlasının, yüzeyde yayılma eğiliminde olması ile tanımlanabilir. (Şekil 3.5) Böyle yüzeylerde görülen en bariz özellik, yüzeylerin bu etki ile kendi kendini temizleyebilme yetenekleridir. Hidrofilik yüzeyler bu özellik sayesinde dış cephe kaplamalarında kullanılabilir ve yağmur yağdığında kaplama yüzeyine yayılan su, yüzeydeki kirleri de beraberinde sürükleyerek temizleyebilir (Vural ve Yılmaz, 2015).



Şekil 3.5. Hidrofilik (solda) ve Hidrofobik (sağda) yüzeyler (URL-5)

Su damlaları yüzey ile 150 ° ya da daha fazla bir açıyla temas kuruyorsa yüzey süperhidrofobik olarak tanımlanabilir. Bu durum genellikle yüzeydeki su damlaları ile yüzey arasında biraz hava bulunduğu anlamına gelir. (Simpson ve diğerleri, 2015) Süperhidrofilik yüzeylerde ise temas açısı 10 ° ya da daha küçüktür. Süperhidrofobik olarak kendi kendine temizlenen yüzeyler, yüzeyin kimyasal ve fiziksel özellikleri de göz önünde bulundurularak, suyun veya kirletici maddelerin alt tabakaya tutunmasını zorlaştırmaktadır. Bu da kirin kolay bir şekilde çıkmasını sağlar ve bu şekilde kendi kendini temizleme etkisi oluşturur. (Şekil 3.6.) Bununla birlikte süper-hidrofobiklik sadece temizlenmesi kolay yüzeyler oluşturmak için kullanılmaz. Ters bir etki ile yani malzemenin süperhidrofılikliğe bağlı tam olarak ıslanmasıyla, lekenin çıkarılması kolaylaşabilir (Goffredo, 2013).



Şekil 3.6. Süperhidrofilik yüzey özellikleri (URL-6)

Yağmur yağması esnasında gerçekleşen su akışı süperhidrofilik yüzeye temas ettiğinde, katı yüzeydeki kirin çıkması kolaylaşmaktadır. Bu durum suyun Şekil 3.5'deki gibi dış tabakadaki kir ve yüzeyin arasındaki moleküler bağın koparılması ile mümkün olmaktadır **(**Goffredo, 2013).

Önceleri lotus yapraklarında gözlemlenen süperhidrofobik yüzey özellikleri, bilimsel açıdan odaklanmaya sebep olmuştur. Nano ve mikro ölçekli bir yüzey düzgünsüzlüğünün, az bir yüzey enerjisi ile bir araya getirilmesi, süperhidrofobikliğin ve suyun itilmesinin tarifi olabilir. Son yıllarda, su geçirmeyen (su karşıtı) ve kirlenmeyi önleyen kaplamalar, kendi kendini temizleyen cepheler ve ev eşyaları gibi çok çeşitli uygulamaların hedeflendiği süper itici malzemeler ve yüzeylerin geliştirilmesi konusunda araştırmalar devam etmektedir (Kothari and Dewalkar, 2016).

Lotus etkisi ile kendi kendine temizlenen malzemeler, bu malzemelerin üretiminde çıkış noktasını Wilhelm Barthlott tarafından keşfedilen "lotus etkisi" oluşturmaktadır. Lotus etkisi denilen durum, lotus bitkisinin üzerine toz partikülleri geldiğinde yapraklarını hareket ettirerek, partikülleri yaprakların üzerindeki belli noktalara doğru itmesi ve yağmur yağdığında üzerindeki su damlalarını da toz partiküllerinin biriktiği noktaya doğru itmesiyle tozları kendisinden uzaklaştırmasıdır (Gür, 2010).



Resim 3.3. Lotus bitkisinin üzerindeki su damlalarını hareket ettirerek kendinden uzaklaştırması (URL-7)

Mimari projesi Richard Meier and Partners'a ait olan, Roma'da yer alan müze kentin geleneksel ve modern yapıları arasında bir bağlantı niteliğinde olan Tiber Nehri'nin yanında konumlanmıştır. Yoğun hava kirliliğinin olduğu bir bölgede konumlanmış olan beyaz cepheli binada, kendi kendini temizleme özelliğine sahip olan şeffaf nanomalzeme sayesinde cephenin renginin korunması sağlanmaktadır. (Gür, 2010)

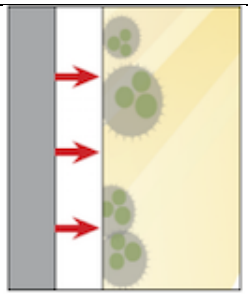
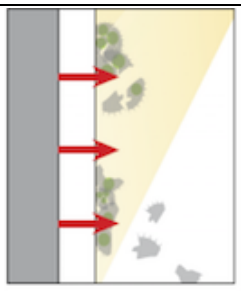
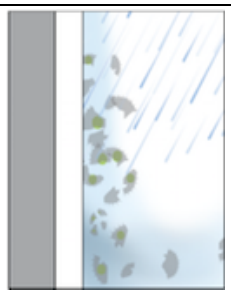


Resim 3.4. Ara Pacis Müzesi (URL-8)

Fotokataliz ile kendi kendine temizlenen malzemeler, fotokatalitik malzemeler kendisine tutunan kirletici maddeleri (parçacık maddeler, uçucu organik bileşikler, azot oksitler vb.) ışık etkisi altında su ve karbondioksite parçalayıcı etki gösterirler. Günümüzde bilinen en iyi fotokatalitik malzeme titanyum dioksit (TiO_2) dir. İlk kez 1972 yılında 'Honda-Fujishima etkisi' olarak yayınlanan olgu günümüzde fotokatalitik etki olarak bilinmektedir (Orhon, 2014). Fotokatalitik malzemelerin kendi kendine temizlenmesi, nanomalzemeler ultraviyole (UV) ışınlara maruz kalınca oluşan doğal bir olaydır. UV ışınları, nanomalzeme tarafından absorbe edildiğinde gevşeyerek genişlemiş nanopartiküllerin yıkanması

amacıyla farklı nanopartikülleri oksitleyen ve bozan katalitik reaksiyonu başlatır. (Şekil 3.6.) Ekonomik olmaları ve UV ışınlarına karşı etkili şekilde çözülmeleri nedeniyle genellikle TiO_2 ve ZnO kullanılır. İnce TiO_2 kaplamaları kendi kendini temizleyen yüzeylerde fotokatalitik ve hidrofilik özellikler gösterir. Bu olay aynı zamanda, gün ışığının yüzey kirliliğinin giderilmesinden dolayı daha fazla görünür olmasına sebep olarak aydınlatma maliyetinde azalmayı sağlar. Bu yüzeyler kendi kendini temizleme, antimikrobiyal, buğu yapmayan ve hava temizleme gibi birçok özelliği bir arada sergiler. Bu alandaki gelişmeler enerji ve işçilik maliyetlerini azaltmanın yanı sıra, tehlikeli maddelerin azaltılması ve çevreye faydalı olmasına da katkı sağlayacaktır (Eisazadeh and Allacker, 2016).

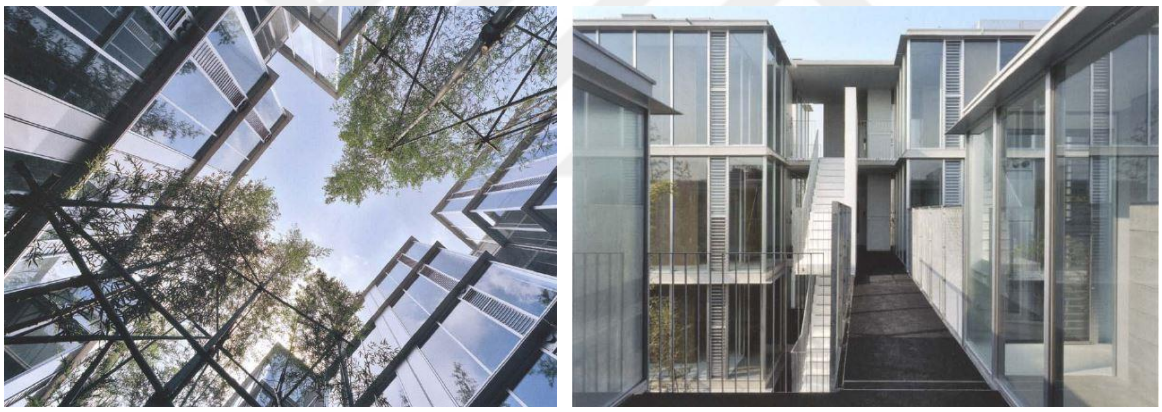
Kendi kendini temizleyen malzemeler, yapılı çevrelerde cephelerin temizliği için harcanan enerjiyi azaltır. Nitrojen oksit benzeri organik ve inorganik hava kirleticilerinin yıkılmasını sağlayıp yok ederek ve kısmen de olsa iyi elementlere ayrıştırarak enerji tasarrufu sağlar. Kirlenmeyi önleyen nanokaplamalar, kirlenmiş havanın temizliği ve hasta bina sendromu (HBS) etkilerinin azaltılması adına önemli gelişmeler vaad etmektedir. Kendi kendini temizleyen yüzeyler, aktive olmaları için güneş ışığının gerekliliği ve bu durumun iç mekâna etkileri gibi dezavantajlara sahiptir. İç mekandaki bu dezavantajların giderilebilmesi adına iki tabakalı metal hidroksitler, hava temizleme nanokristallerinin kullanılmasıyla hazırlanan kaplamalar, iç mekân havasını düzenlemek ve havalandırmaya duyulan ihtiyacı azaltmak için bina yüzeylerine uygulanarak enerji verimliliğine katkı sağlar.

		
Gün Işığı boya veya kaplama ürünü içindeki fotokatalizörü aktive eder.	Katalizör yüzeyde tutunmuş olan kir parçacıklarının bozulmalarını, hava hareketiyle çözünmelerini ve kısmen yüzeyden kopmalarını sağlar.	Yağmur ve kuruyan nemin etkisiyle kir parçacıkları çözünür ve cephe temizlenmiş olur.

Şekil 3.7. Fotokataliz olayının çalışma prensibi (URL-9)

Bu süreçte ışığın enerjisini kullanan katalizör, reaksiyon sırasında tükenmez. Burada gün ışığı, boya veya kaplama ürünü içindeki fotokatalizörü aktive eder. Bu katalizör, yüzeyde tutunmuş olan kir parçacıklarının bozulmalarını, hava hareketiyle çözünmelerini ve kısmen yüzeyden kopmalarını sağlar. Yağmur ve kuruyan nemin etkisiyle kir parçacıkları çözünür ve cephe temizlenmiş olur (Şekil 3.7.). Bu yöntem özellikle de yosun, mantar ve bakteri üremesine ve toz ile is parçacıklarına karşı etkilidir (URL-9).

Bir toplu konut yapısı olan G-Flat Binası tamaman cam ile kaplı olmakla birlikte bölme duvarlarla servis alanlarına bölünmüştür. Her dairedeki bölümler tam boy cam olmasına rağmen dairelerin bireysel olarak düzenlenmesine ve özel ve kapalı iklimlendirmeye izin verir. Bu tarz yapılar kendi şeffaflıklarını tam olarak gösterebilmeleri için temiz tutulmalıdırlar. Fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleyen nanokaplamalar sayesinde cam her zaman temiz kalır ve şeffaflığını korur (Leydecker, 2008).



Resim 3.5. G-Flat Binasında Fotokatalitik nanokaplama kullanılması (URL-10)

Kolay temizlenen malzemeler, kolay temizlenebilir yüzeyler su itici özelliğe sahiptir ve lotus etkisi gibi diğer kendi kendini temizleme fonksiyonlarıyla sık sık karıştırılır. Ancak aksine kolay temizlenebilir yüzeyler pürüzlü değil daha düzgün yüzeylerdir. Bu yüzeylerin daha düşük yüzey çekimine sahip olmaları yüzey enerjilerinde azalmaya neden olmaktadır bu da düşük yüzey adezyonu ile sonuçlanır. Bu durum damlacıkları oluşturan ve akışkan suyun itilmesine sebep olur. Kolay temizlenebilen yüzeyler fotokatalitik kendi kendini temizleme özelliğiyle de sık sık karıştırılır. Aradaki temel fark, kolay temizlenebilir yüzey kaplamalarının çalışması için UV ışınları gerekmez, onların hidrofobik yüzey özellikleri - hidrofilik özelliklere karşıt olarak- ince bir su filmi oluşturmak yerine damlalar şeklinde akmasına neden olur. (Leydecker, 2008)



Resim 3.6. Leke tutmayan ve kolay temizlenen yüzeyler (URL-11), (URL-12)

Araştırma merkezi, Degusa Firması için, Almanya Münih'te inşa edilmiştir. Şeffaf cephesi ile birlikte, açık formları ve renk konsepti şirket felsefesini yansıtacak şekilde tasarlanmıştır. Degusa bu yapıda geliştirdiği kendi kurum içi ürünlerinden faydalanarak, nano seramik duvar kaplamalarını kullanmıştır. Bu kaplama, su itici olmasının yanı sıra, esnek, darbelere dayanıklı ve buhar geçirgen özelliğiyle ön plana çıkmaktadır. (Leydecker, 2008)



Resim 3.7. Kolay temizlenebilir yüzey kaplamalarının kullanımı (Leydecker, 2008)

Kolay temizlenen yüzeyler hidrofobik (su sevmeyen) ve oleofobik (yağ sevmeyen) özellikler göstermektedir. Bu özellikler, seramik yüzeyli tesisatların ve duş kabinlerinin camlarında kullanılabilir. Hidrofobik kaplamalar ahşap, metal ve beton gibi yapı elemanları, deri ve tekstil ürünlerinde de kullanılabilir. Kolay temizlenen yüzeyler kir itici olmaları nedeniyle kir birikmesine daha az duyarlıdır (Atva ve diğerleri, 2015).

Antibakteriyel malzemeler, bakteri ve mantarların yüzeylerde üremesi, bina malzemelerinin yıkımı ve yaşanan sağlık sorunlarının temel sebeplerinden biridir. Nanomalzemelerin

kullanılmasıyla antibakteriyel ya da antimikrobiyal yüzeyler üretmek amacıyla çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan biri, bakır veya gümüş nanopartiküller ile üretilen nanokaplanmaların bulunmaktadır. Diğer bir yöntem ise nanoparçacıkların direkt olarak malzeme yüzeyine uygulanmasıdır. Bu iki yöntem de şu an zemin kaplamalarında, panellerde ve boyalarda kullanılmaktadır. Fotokatalitik etki, UV ışınlarına bağlı olarak doğal ya da yapay UV ışığının temas ettiği ürünlerde uygulanabilir ve bu işlemle birlikte antibakteriyel yüzeyler elde edilmektedir. Bu yöntem mimari olarak, bakterilerin çoğalmasından kaynaklanan renk bozulması ve lekelenmelerin önüne geçmek amacıyla çoğunlukla membran yapılarında kullanılmaktadır (Eisazadeh ve Allacker, 2016).

Organik maddeleri parçalayarak kendi kendine temizlenme ve kir tutmama özelliği olan fotokataliz, gümüş nanopartiküllerle birleştiğinde bakteri karşıtı yüzeylerin oluşumu sağlanabilmektedir. (Gür, 2010) Antibakteriyel malzemeler sayesinde bakteriler hedef alınarak imha edilir. Bu sayede dezenfektan kullanımı azaltılarak özellikle sağlık yapılarında hijyen yöntemleri desteklenmektedir. (Leydecker, 2008). Antibakteriyel malzemelerin kullanımı ile kimyasal temizlik malzemelerinde, harcanan iş gücünde ve temizliğe ayrılan zaman ve enerjide önemli oranda tasarruf sağlanmaktadır (Yılmaz and Vural, 2015).

Gümüş iyonlarının yavaş difüzyonunun devam etmesi gümüşün antibakteriyel etkisinin sonucudur. Nanopartiküllerin hacim oranının, çok yüksek yüzey alanlarında etkili olması iyonların daha kolay yayılabilmesi ve böylece bakterileri daha etkili bir şekilde öldürebilmesi anlamına gelir. Sağlık Hizmetlerinde dezenfektanların kullanımı henüz önlenemez, ancak bu kaplamaların temizlik kriterleri açısından yeterli olduğu kanıtlanmıştır (El-Samny, 2008). Antibakteriyel malzemeler duvar ve döşemelerde kaplama olarak kullanılabileceği gibi kapı kolu, elektrik düğmesi ve lavabo gibi yüzeylerde de kullanılabilir (Gür, 2010).

Gümüş ve bakır nanopartiküllerinin yanında karbon nanotüpler de antibakteriyel olarak etki göstermektedir. Yale Üniversitesi'nde yapılan araştırmalarda, karbon nanotüplerin Echerichia coli bakterisini öldürebildiği sonucuna ulaşılmıştır. Deneylerde, bu bakterilerin yaklaşık %80'lik kısmının bir saat süre sonunda ölmüş olduğu gözlemlenmiştir. Bu araştırmalara göre, karbon nanotüpler antibakteriyel yüzeyler oluşması için yapım sürecinde birleştirilerek ya da mevcut yüzeylere uygulanarak kullanılabilir. Bununla

birlikte karbon nanotüplerin bakteriler üzerindeki bu etkileri, ekosistemler açısından büyük risk taşımaktadır (Sev ve Ezel, 2014).



Resim 3.8. Antibakteriyel malzeme kullanımı (URL-13)

Anti grafiti (duvar yazısı tutmayan yüzeyler) malzemeler, duvar yazısı tutmayan kaplamalar, hidrofobik (suyu itici) bir yapıya ve kiri uzaklaştırma özelliklerine sahiptir. Bu kaplamalar beton, tuğla, kum taşı gibi geçirgen ve emici özelliğe sahip malzemelerde de uygulanabilmektedir. Bununla birlikte malzeme gözenekleri açık kaldığından, malzemenin nefes alması sağlanmaktadır. Antigrafiti fonksiyonunun binalarda ve inşaatlarda gürültü bariyerleri, duvarlar ve köprü ayakları gibi yerlerde çirkin duvar yazısı görünümlerini engellemek için önleyici tedbir olması amaçlanmıştır (Leydecker, 2008).



Resim 3.9. Anti grafiti malzeme kullanımı (URL-14)

Stephan Braunfels Architekten gerşekleşritilen projede Ulm, Almanya'daki New Centre Binasında Faceal Oleo HD, anti-graffiti ve kir tutmayan kaplama uygulaması yapılmıştır. İki ayrı bina olarak tasarlanan yapıda, net formlarda kesilmiş beton cepheler ön plana çıkmaktadır. Bu nedenle beton yüzeyler yüksek teknolojili nanokaplamalar ile kaplanmıştır. Bu nanokaplamalar ile yüzeylerin kir tutmaması ve duvar yazılarına karşı dayanıklı olması amaçlanmıştır. (Leydecker, 2008)



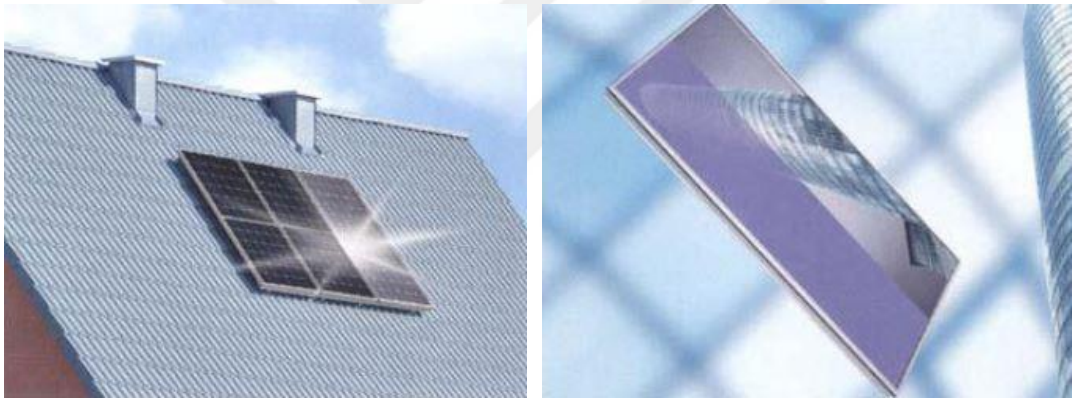
Resim 3.10. New Centre Binası ve antigrafiti kaplamaların kullanılması (Leydecker, 2008)

Buhar oluşumunu engelleyen malzemeler, konvansiyonel yüzeylerde buharlaşmayı engellemek mümkündür, ancak bu durum sürekli enerji girdisiyle sağlanabilmektedir. Nanoteknoloji ile birlikte elektrik kullanmadan kalıcı temizliği sağlamak, buharlaşmanın önüne geçmek mümkündür. Nanoölçekli TiO_2 ultra ince kaplamalar, yüksek bir yüzey enerjisi sergiler ve bu sayede daha fazla nem çekilir. Hidrofilik yüzeylerde ultra ince film su damlacıkları yerine nem oluşturur. Bu nem, yüzeyde yerleşir ancak kalıntıları görünmez. Şeffaf film, buharsız net bir görüntü oluşturur. Banyo aynaları bu kaplamaların en çok kullanılabileceği yerlerdir. Buhar oluşumunu engelleyen nanomalzemeler plastik yüzeylerde de uygulanabilmektedir (El-Samny, 2008).

Yansımayı engelleyen malzemeler, şeffaf nanoölçekli yüzey yapılarında, parçacıklar görünür ışığın dalga boyundan daha küçük olduğundan, sadece yenilikçi değil aynı zamanda düşük maliyetli ve etkili bir yansımayı engelleyen (anti reflektif) bir çözüm sunar. Bu parçacıkların yapısı dakikada 30-50 nm genişliğinde silikon dioksit topları oluşturur. 150 nm lik bir kaplama kalınlığı ideal olarak görülmektedir. Yansıyan ışık oranı %8 den, en az %1 oranına kadar azalır (Leydecker, 2008).

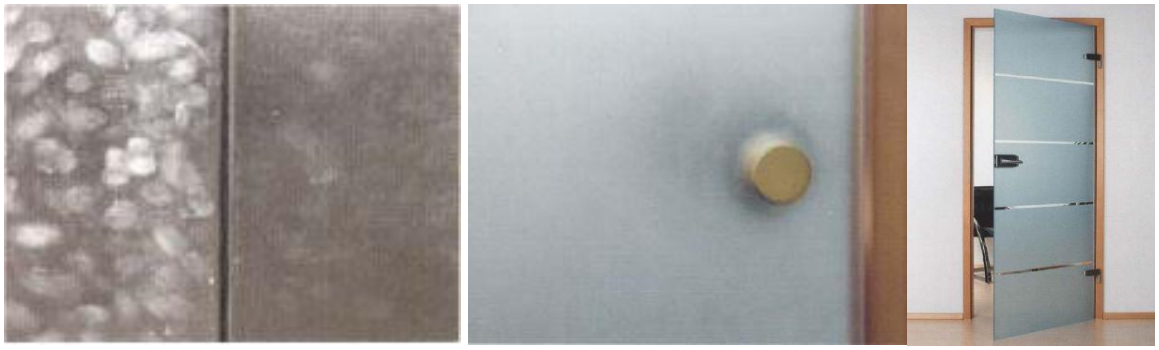


Resim 3.11. Buhar oluşumunu engelleyen nanokaplamalar buharsız, net bir görüntü oluşturur. (Leydecker,2008)



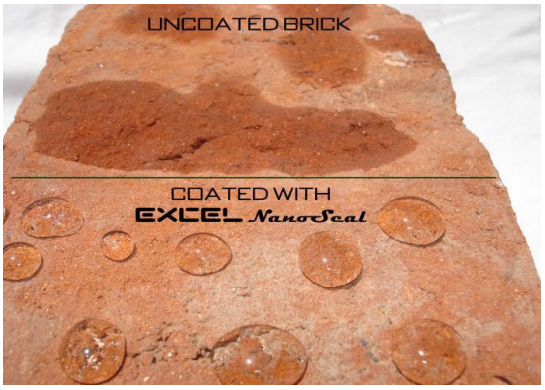
Resim 3.12. Yansımayı engelleyen cam kaplamalarının kullanıldığı ve kullanılmadığı fotovotaik paneller. (Leydecker,2008)

Parmak izi oluşumunu engelleyen malzemeler, çelik ve cam yüzeyler mimarlık ve iç mimaride oldukça sık kullanılan malzemelerdir. Ancak bu malzemelerin, sık temas edilen yerlerde parmak izlerini net bir şekilde göstermeleri dezavantaj olarak karşımıza çıkar. (Leydecker, 2008). Söz konusu şeffaf kaplamalar parmak izlerini ışığın yansıma açısını değiştirerek görünmez hale getirmektedir. Kullanım alanları asansörler, mobilyalar, beyaz eşyalar gibi parmak izlerinin sık görüldüğü yerlerdir (Gür, 2010).



Resim 3. 13. Parmak izi oluşumunu engelleyen nanokaplamaların kullanımı (Leydecker,2008)

Hidrofobik kaplamalar, su belli durumlarda binalar için tehlike oluşturabilecek bir bileşendir. Yapı malzemesi olarak tuğla kullanılan binalarda su, tuğlaların zaman içerisinde aşınmasına sebep olabilir ve yapıda hasar oluşturabilir. Bu durumun önlenebilmesi için, tuğlalara su itici hidrofobik kaplamalar uygulanabilmektedir. Tuğlalarda hidrofobik kaplamalar, istenmeyen suların uzaklaştırılması ve tuğlaların mukavemet, dayanıklılık, sertlik ve diğer fiziksel özelliklerinin korunmasında yardımcı rol oynar. Resim 3.14.'de hidrofobik kaplama uygulanmış ve uygulanmamış tuğla örnekleri görülmektedir.



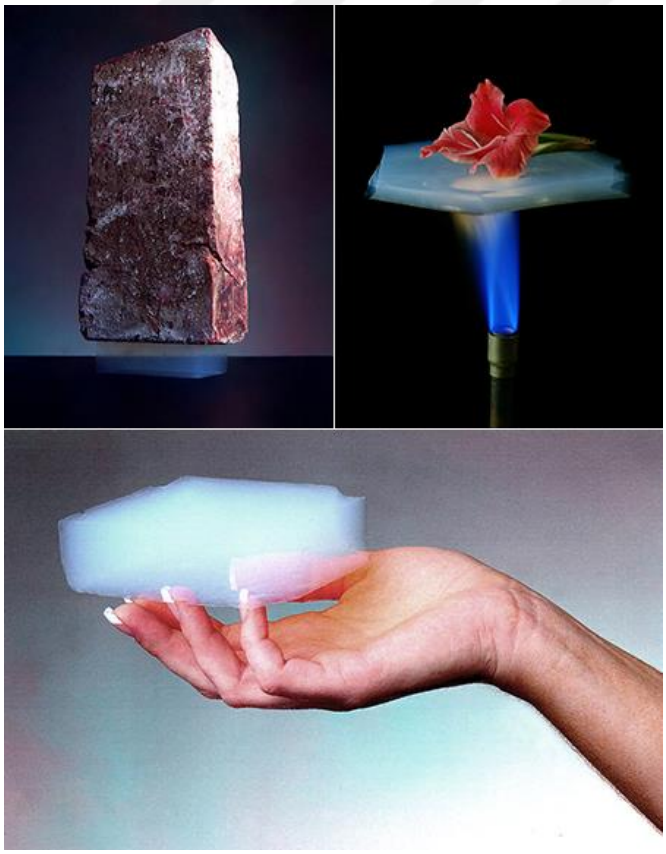
Resim 3.14 Tuğlalarda hidrofobik kaplama uygulanması (Kothari and Dewalkar, 2016)

Hidrofobik kaplamalar, zemin suyunun binaya hasar verme durumuna karşı temel inşası esnasında sert tabakaların altında bulunan tuğlalarda kullanılabilir. Cephe malzemesi olarak tuğla kullanılan yapılarda, tuğlaların kirli havadan ve doğal afetlerden korunması için hidrofobik kaplamalar uygulanabilir. Kuyu ya da havuzlarda su kaybının azaltılması amacıyla, tuğlaların kaplanarak yüzeyden su emiliminin en aza indirgenmesi sağlanabilir. Yapılabilecek bu uygulamalarla hidrofobik kaplamalar, inşaatlarda tuğla kullanılması durumunda büyük ölçüde koruma sağlayarak malzeme ömrünü uzatabilir. Bu sebeplerle

hidrofobik kaplama uygulamaları, akıllı yapıların inşası için önerilebilir (Kothari ve Dewalkar, 2016).

Enerji kullanımının azaltılması ve yalıtım

Aerojeller, "Yeryüzündeki en hafif katı madde" olarak tanımlanan aerojeller, içinde %95 ile %99,9 miktarında hava bulunduran havalandırılmış köpük olarak tanımlanmakta olup, kalan kısım ise cama benzeyen bir malzemedir, örneğin silika adıyla bilinen silikon dioksit. Nano ölçekteki köpüğün gözenek boşlukları hayati önem taşır. Nano gözeneklerin içine her biri ortalama 20 nm büyüklükte hava molekülleri sıkışmıştır (El-Samny, 2008). Nanometrik boyutta sıkışan hava molekülleri hareket edemezler. Bu da bu malzemeye yüksek ısı yalıtımı özelliğini kazandırır. (Altın ve Aşıkoğlu, 2014). Aerojel, cam levhalar arasında, U profil cam veya akrilik cam çoklu duvar panelleri arasında dolgu yalıtım malzemesi olarak çeşitli türlerde kullanılabilir. Bu nedenle binaların dış zarfları içerisinde kullanıma uygundur. Bu sayede aerojeller binalardaki ısıtma soğutma maliyetlerine önemli ölçüde katkıda bulunabilirler (El-Samny, 2008).



Resim 3.15. Aerojel yalıtım malzemesi (URL-15)

Aerojellerin karbon aerojel, organik aerojel ve inorganik aerojel gibi türleri vardır. İnorganik aerojel sınıfında yer alan silika aerojeller üstün özellikleri sebebiyle en çok kullanılan aerojel türüdür. Silika aerojellerin özellikleri incelendiğinde gözenek sayısının fazla olması, yüzey alanının çok geniş olması, kırılma katsayısının ve dielektrik sabitinin oldukça düşük olması gibi üstün özellikleri olan nano esaslı malzemeler olduğu görülmektedir. Aerojellerin sentezlenmesinde hammadde olarak tabiatta kolayca bulunabilecek malzemeler kullanılıyor olması sebebiyle daha ekonomik olarak üretilebilmektedir. Bu nedenle de endüstride yaygın olarak kullanılabilmektedir. Birçok farklı kullanım alanına sahip olmasıyla birlikte yalıtım malzemesi olarak oldukça geniş bir üretim alanı mevcuttur (Yılmaz, 2013).

Aerojellerin yüzeyi çok sayıda küçük deliklerden oluşması sebebiyle süngeri andırır. Aerojeller birçok farklı maddeden sentezlenebilir. Silika, demir oksit gibi metal oksit geçişlerinin birçoğu, Lantanit ve aktinit metal oksitler, birkaç ana grup metal oksitler (örneğin kalay oksit), organik polimerler, biyolojik polimerler (jelatin ve pektin gibi), yarı iletken nano yapılar (kadmiyum selenit kuantum noktaları gibi) karbon, karbon nanotüpler, metaller (bakır ve altın gibi), bunlardan bazılarıdır (URL-16).

Silika aerogeller olağanüstü katı malzeme özellikleri sebebiyle yüksek potansiyeli olan ısı yalıtım malzemeleridir. Silika aerogellerin yapısı hava ile dolu olan çok sayıda gözenekten ve çapraz bir şekilde bağlanmış SiO_2 zincirlerinden oluşur. Saf aerojel 10 ve 100 nm arasında oldukça küçük ortalama gözenek çapına sahiptir, ancak genel olarak silis aerojelleri üretim yöntemine ve saflığına bağlı olarak 5 ve 70 nm arasında değişkenlik göstermektedir. Toplam aerojel hacmi içerisinde %99,8 oranında olağanüstü küçük gözenek boyutları nedeniyle aerojeller dikkat çekici, fiziksel, termal, optik ve akustik özelliklere sahipken diğer taraftan çok düşük mekanik mukavemeti bulunmaktadır. Silika aerojeller 3 bar'a kadar yüksek sıkıştırma dayanımı ile yük taşıyabilmektedirler (Baetens and diğerleri, 2010).



Resim 3.16. Aerojel içerisindeki yarısaydam nanojel granüller (Leydecker, 2008)

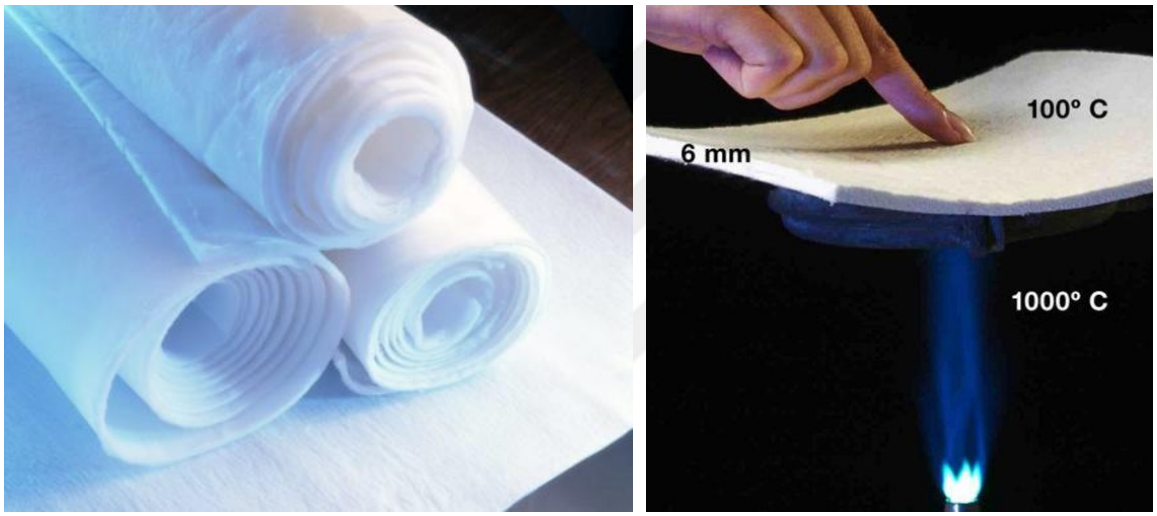
Aerojeller yapılı çevrelerde ısı yalıtım örtüleri, aerojel dolgulu malzemeler ve aerojel ince film kaplamalar olarak kullanılmaktadır. Aerojel esaslı ısı yalıtım örtüleri (Resim 3.3.) silika aerojel ve lifli katkı maddeleri kullanılarak üretilmektedir. Bu yalıtım örtüleri nano gözenekli monolitik aerojeller gibi kırılgan olmayıp, esnek yapılarıyla ön plana çıkan kompozit malzemelerdir. Esnek olmalarının yanı sıra, düşük ısı iletim katsayısına sahip olmaları, yüksek basınç dayanımı, nefes alan ve hidrofobik (su sevmeyen) yüzey özelliklerine sahiptirler. Yangın dayanım sınıfları ise kullanılan lifli katkı maddesine göre değişkenlik arz etmektedir (Yılmaz, 2014).

Çizelge 3.3. Silika aerojellerin fiziksel özellikleri (Riffat and Qui, 2013)

Özellik	Değer
Yoğunluk (kg / m ^{3})	3-350(genellikle~ 100)
Gözenek çapı (nm)	1-100 (tipik ~ 20)
Gözeneklilik	(%) 85-99,9 (genellikle~95)
Termal iletkenlik (W / m K)	0,01-0,02
Yüzey alanı (m ^{2} / g)	600-1000
Boyuna ses hızı (m / s)	100-300

Aerojellerin eşsiz özellikleri yapılı çevrelerde konvansiyonel malzemelerden farklı çok sayıda ve yeni uygulama fırsatı sunmaktadır. Aerogellerin benzersiz ısı yalıtımı ve optik şeffaflığı, saydam yapı bileşenlerinde ve güneş kolektörü kaplamalarında kullanılmasına imkân tanımaktadır. Aerogeller yapılı çevrelerde düşük ısı iletkenliği ve akustik özelliklerinden dolayı gürültünün azaltılması için kullanılmaktadır. Ayrıca iç ortam hava temizlemede absorbe edici ve katalizör, çevresel temizlikte fotokatalizör, yangın panolarında yanmayan malzeme olarak kullanılabilir. Yüksek ısıl direnci ve güneş ışığı geçirgenliği nedeniyle silis

aerojel, büyük termal performansı olan saydam yapı bileşenlerinin oluşturulması bakımından ilgi çekici bir malzemedir. Bununla birlikte, aerojel nem ve çekme gerilmesi bakımından zayıftır. Aerojeller su veya su buharı ile karşı karşıya kaldığında, bozulması kaçınılmazdır. Bundan dolayı, güneş kolektörlerinde, pencere bölmeleri ve kapaklar gibi yapı bileşenlerinde kullanılan aerojellerin su geçirmeyecek şekilde korunması gerekmektedir. Aerojel yalıtım malzemeleri yapılı çevrelerde duvarlar, çatılar, zeminler ve cihazlarda uygulanabilir. Aerojel yalıtım örtüleri/panelleri, ticari amaçlı olarak ve çeşitli talepleri karşılamak üzere 2000'li yılların başında üretilmeye başlandı (Riffat and Qui, 2013).



Resim 3.17. Aerojel esaslı ısı yalıtm örtüleri, (URL-17) (URL-18)

Aerojel ince filmler nano gözeneklere sahip silika jelden yapılmış, yüksek ısı yalıtım ve ışık geçirgenliği özellikleri olan malzemelerdir. Bu malzemelerin yapısını kuvars kumu (silika jel ve SiO_2) ve hava/boşluk oluşturur. Kırılgan yapıları bünyelerine eklenen lifli maddeler sayesinde esnetilebilmektedir. Cam yüzeye uygulandıklarında ışığı çok az yansıttıkları için %12 oranında daha fazla ışık geçirmektedirler. Aerojel ince filmler yapılı çevrelerde başta cam yüzeyler olmak üzere birçok yapı bileşeninde kullanılmaktadır. Yapılarda saydam yalıtım elemanlarının yüzeyine sandviç şeklinde uygulanabilmektedir (Yılmaz, 2014). Aerojel kullanımının;

- Enerji korunumu
- Minimum kaynak tüketimi
- Çevreye verilen zararın minimuma indirilmesi
- Günışığı ile aydınlatma yapılması nedeniyle yenilenebilir enerji kaynağı kullanımı

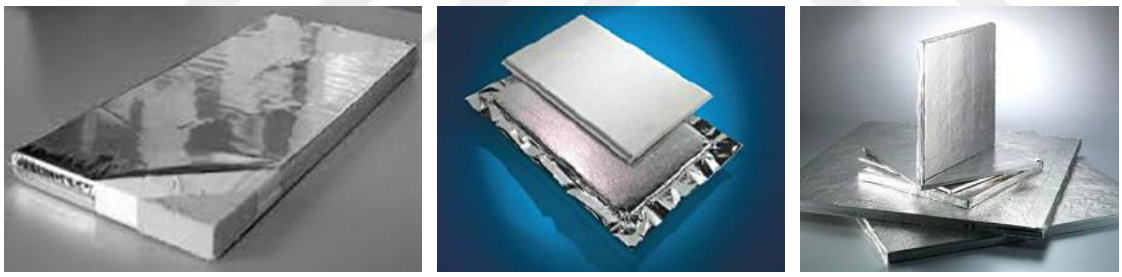
- İç mekânda termal, görsel ve akustik konfor şartlarının gerçekleştirilmesi sağlanmış ve sürdürülebilir yapılar elde edilmesi
- Akustik olarak yalıtım sağlaması
- Yangın karşı dayanıklı bir malzeme olması, (Altın ve Aşıkoğlu, 2014).
- Yüksek ışık iletimi- cm başına %75 yüksek kaliteli dağınık ışık ve ses azaltma
- Düşük ısı iletkenliği- 8 inç R-değeri (U değeri, 0.71 W / m^2K)
- Güneş enerjisinde ısı kazancının azaltılması
- Ses zayıflaması- iletilen gürültünün azalması
- Sürekliliğin, renk değişimine, küflenmeye ve performans düşüşüne karşı koyması
- Yeşil malzeme olması
- Bina enerji tüketiminde ve karbon ayak izinde azalma
- Mükemmel ışık difüzyonu sağlaması, UV'ye dayanıklı (renk değişikliği olmaz).
- Estetik açıdan çekici, mimari açıdan özgürlük sunması (Mohamed, 2015) gibi avantajları bulunmaktadır.

ABD Enerji Bakanlığı tarafından kaynak korunumu ve aylık faturaların azaltılması hakkında çocukların eğitimi konulu Solar Decathlon Öğrenci yarışması her yıl yapılmaktadır. 2007 yılında Georgia Üniversitesi Takımı tarafından hazırlanan Icarus Binası *Hayatı Işıkla Sürdürmek (Sustaining Life with Light*) söylemiyle tasarlanmış bir binadır. (URL-19) Bunu sağlamak için çatıda yalıtım malzemesi olarak Aerogel içeren ETFE paneller kullanılmıştır. Dokuz adet Aerojel dolgulu ve ETFE kaplı 4x1,5 metre boyutlarında panel kullanılmıştır. Çatının U değeri yaklaşık olarak 0.3 W/m2K'dir. Sonuç hafif, yarı-şeffaf, yüksek ısı yalıtımlı bir çatı olmuştur. Benzer şekilde çatıdaki aerojel dolgulu ETFE panellerin güneş kontrolü ise FV panellerle sağlanmakta, FV paneller bir yandan güneş ışınımından elektrik üretirken, diğer yandan yarı şeffaf panellerin istenmeyen güneş radyasyonu kazancını azaltmaktadır. Bir başka ifade ile iç mekânda istenen difüze/dağınık ışık içeri alınırken, istenmeyen ısı enerjisi, istenen/ihtiyaç duyulan enerji şekline yani elektriğe dönüştürülmektedir (Altın ve Aşıkoğlu, 2014).



Resim 3.18. Icarus Binasında Aerojel içeren ETFE paneller (URL-20) (URL-21) (URL-22)

Vakumlu yalıtım panelleri, vakum yalıtım panelleri (VYP), ısı yalıtım özellikleri açısından geleneksel ısı yalıtım malzemelerine oranla çok daha yüksek performanslı yalıtım malzemeleridir. Bilinen yalıtım malzemelerine (maks: 0.04 W/mK) kıyasla 10 kat daha fazla ısı yalıtımı VYP'ler (maks: 0.004 W/m^2K) sayesinde sağlanabilmektedir. VYP'ler, gözenekli halde bir iç dolgu malzemesinin (çekirdek) karakterine bağlı olarak, gaz giderici malzeme kullanılarak ya da tek başına bir dış zarfın içine konularak vakumlanması ve sızdırmazlığı sağlanarak atmosfere kapatılması ile oluşturulur (Bayrakçı ve diğerleri, 2011).



Resim 3.19. Vakumlu yalıtım paneli örnekleri (URL-23), (URL-24), (URL-25)

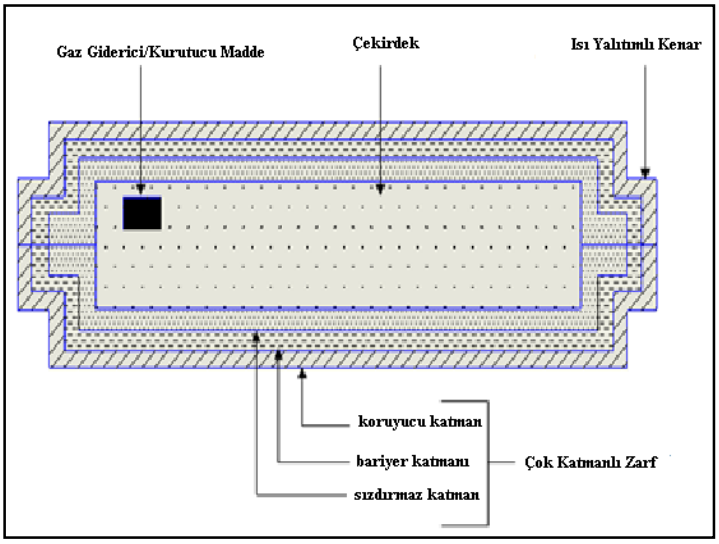
Vakumlu yalıtım panelleri hem yeni yapılan binalarda hem de dönüşümü ve yenileme çalışması yapılan binalarda kullanılabilir. Vakumlu yalıtım panelleri konvansiyonel malzemelere göre daha ince katmanlar halinde hazırlanırken, daha yüksek verimlilikle çalışmaktadır. Vakumlu yalıtım panelleri binaların yanı sıra boru hatlarını izole etmek, elektronik eşyaların ve özellikle de serin kalması gereken ilaçların taşınması sırasında da kullanılabilir (El-Samny, 2008).

Vakumlu Yalıtım Panelleri, son yılların gelişmiş yüksek performanslı yalıtım malzemelerinden biridir. Fırınlarda, soğutucularda, dondurucularda, su ısıtıcılarında ve buna benzer endüstriyel malzemelerin birçoğunda kullanılmaktadır. Vakumlu yalıtım

panelleri son dönemde özellikle soğutuculardа yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yapılı çevrelerde kullanılan vakumlu yalıtım panelleri; tavan, zemin ve yan duvarlarda, dış cephelerde, çatı ve tavan aralarında, pencere yalıtımlarında, hazır prefabrik beton panellerinde yalıtım malzemesi olarak kullanılabilmektedir.

VYP'lerinde kullanılan çekirdek malzemelerin özellikleri bu malzemelerin ısı yalıtım performanslarını direkt olarak etkilemektedir. Çekirdekte kullanılan malzemeler VYP' nin vakumlanabilirliğini ve atmosfer basıncına karşı destek görevi görmesini sağlamaktadır. Çekirdekten, çökme yapmadan atmosfer basıncına karşı durabilecek sağlamlıkta olması, vakumlanabilir mikro gözenekler içermesi ve ayrıca ısıyı iletmemesi beklenmektedir. Çekirdekte kullanılan malzeme, açık hücreli ve ısı transferlerini asgari seviyeye indirecek bir ısı yalıtım malzemesinden oluşur ve aynı zamanda binalara esneklik ve dayanıklılık sağlamaktadır. VYP'lerin iç dolgu malzemelerinde aerojel, açık hücreli poliüretan, geri dönüşümü yapılmış üretan (ruf), açık hücreli ekstrude edilmiş polistren, fiberglas ve toz malzemeler kullanılmaktadır. Bu konuda yapılmış çalışmalar genellikle silis tozu, polimer esaslı, hidrojel ve aerojellerden (SiO_2) meydana gelen iç dolgu malzemeleri ve bu malzemelerin farklı zarflarla bileşimleri ve bu bileşimlerin ısı iletim katsayıları üzerine odaklanmıştır.

Vakumlu yalıtım panellerinin 25 mm kalınlığındaki bir kesiti, 200 mm kalınlığındaki taşyünü kesiti ile aynı yalıtım özellikleri göstermektedir ve ayrıca yaklaşık bir birim maliyete sahiptir (Bayrakçı ve diğerleri, 2011). Vakumlu yalıtım panellerinin bileşenleri birkaç ana bölümden oluşmaktadır. Bu bölümler gözenekli iç çekirdek, dolgu maddesi olarak toz malzeme kullanılan çekirdekler için geçirimli "iç zarf", gaz geçirimsizliği sağlayan sızdırmaz "dış zarf (bariyer)" ve gaz giderici malzemelerdir (Şekil 3.8.). Zarflar, malzemenin çevresel etkilere ve taşıma gerilimlerine karşı dayanımını sağlamak amacıyla kalın metal levhalar veya çok katmanlı metalize polimerik tabakalardan oluşabilir. VYP'lerinin iç çekirdeğine, zarf bariyerinden geçebilecek gazları ve su buharlarını absorbe etmek için uygun bir gaz giderici malzeme yerleştirilir (Alam ve diğerleri, 2011).



Şekil 3.8. Vakumlu yalıtım paneli bileşenleri (Alam ve diğerleri, 2011)

Konvansiyonel vakum yapılmamış ısı yalıtım malzemelerinde, gözeneklerdeki konveksiyon, söz konusu malzemeler arasında belirgin ısı transferine sebep olmaktadır. Vakumlu yalıtım panellerinde bahse konu ısı aktarımı, çekirdekte kullanılan malzemenin içinde bir vakumla bastırılır. Bunlara statik vakumlu yalıtım panelleri de denir, çünkü vakum sadece üretim esnasında oluşturulabilir ve yararlı ömürleri boyunca tekrar vakumlanamazlar. Vakumlu yalıtım panelleri tabaka bazlı ve film bazlı olarak iki başlıkta incelenebilir. Tabaka bazlı vakumlu yalıtım panelleri, daha iyi yük taşıma kapasitesi sergilemektedir ve mekanik hasarlara karşı daha dayanıklıdır, ancak daha ağır ve daha büyük termal köprüleme etkisi bulunmaktadır. Diğer taraftan, ince, (100-150 μm) ve daha hafif çok katmanlı metalize polimer film zarfları, kullanım sırasında kolayca delinir (Alam ve diğerleri, 2011).

Vakumlu yalıtım panelleri yapılarda daha az yer kaplarken daha iyi bir ısı yalıtımı oluşmasına imkân tanır. Yeni nesil daha ince vakumlu yalıtım panellerinde, çekirdek malzemelerde aerojel veya füm silika kullanılması nedeniyle konvansiyonel yalıtım panellerinden 10 kat daha düşük ısı iletkenliğine sahiptir. Vakumlu yalıtım panelleri ince konstrüksiyonu ve yüksek yalıtım performansı sayesinde, binaların yenilenmesinde kullanılmaya elverişlidir. Vakumlu yalıtım panelleri malzeme ömrü sona erdiğinde geri dönüştürülebilir. Vakumlu yalıtım panelleri ile ilgili önemli bir sorun, su buharı ve çeşitli gazların contaya nüfuz etmesiyle başlayan ısıl direncin (yaşlanma) bozulmasıdır. Bağıl nem, bina zarfı tipi, vakum miktarı ve ürünün doğru kurulumu da oluşabilecek problemlerdir (Eisazadeh and Allacker, 2016).



Resim 3.20. Nanojel dolgulu çoklu duvar paneli kullanımı, spor salonu, Carquefou, Fransa, (URL-26)

Yedi katlı Seitzstrasse binası karışık işlevli olarak, konut ve ticari birimler olmak üzere tasarlanmıştır. Vakumlu yalıtım panellerinin kullanıldığı yapıda, bilinen ısı yalıtım malzemelerine göre 8-10 kata kadar daha fazla verim alınabilmektedir. Çok iyi yalıtım sağlayan ve oldukça ince olan bu paneller, enerji kaybını önemli oranlarda azaltmakla birlikte duvar kalınlıklarını da azalttığından, iç mekân kullanımında da verimlilik artmıştır.



Resim 3.21. Seitzstrasse Binasında vakumlu yalıtım paneli kullanımı (Leydecker, 2008)

Aydınlatma

Aydınlatmada enerji tasarrufu için en umut verici teknolojilerden biri (Işık Yayan Diyotlar) LED aydınlatma elemanlarıdır (Resim 3.22.). Bazı LEDlerin 100 000 saat kullanım ömrü olduğu ve mevcut işletmelerin uzun dönemli maliyetlerini en düşük seviyede tutacağı düşünülmektedir. LEDler yılda 3.5 katrilyon elektrik sarfiyatını kurtarabilir ve 300 milyon

ton karbon emisyonu yayılımını azaltır. Floresan gibi aydınlatma elemanlarıyla kıyaslandığında 10 kat enerji tasarrufu sağlar. Bu anlamda yeşil mimarlık ve enerji korunumlu binalar tasarlayabilmek adına LED kullanımı önem arz etmektedir (Candemir ve diğerleri, 2012).

OLED yani organik LEDler bir anot ve bir katot arasında sandviç edilmiş çok tabakalı ve ışık yayabilen bir organik yapıdır. (Şekil 3.9.) OLED teknolojisi sayesinde gerçek düzlemsel aydınlatma elemanları mümkün olmaktadır. Parlaklık açısından OLED aydınlatma elemanları Lümen/Watt verimi olarak mevcut durumda floresan ampülleri geride bırakmış durumdadır. OLED' lerin aydınlatmadaki avantajı enerji tasarrufu sağlayıp bakım gerektirmemesi, düşük enerji tüketimi, kolay kullanım, uzun ömür, ışık verimliliğinin yüksek olması, yüksek parlaklık, istenilen renk ve yoğunlukta kullanılabilmesi, sarsıntı ve darbelere dayanıklı olması, civa ve halojenler bulundurmadığı için çevreci olması, iç ve dış mekânda suya dayanıklı olmasıdır (Candemir ve diğerleri, 2012).

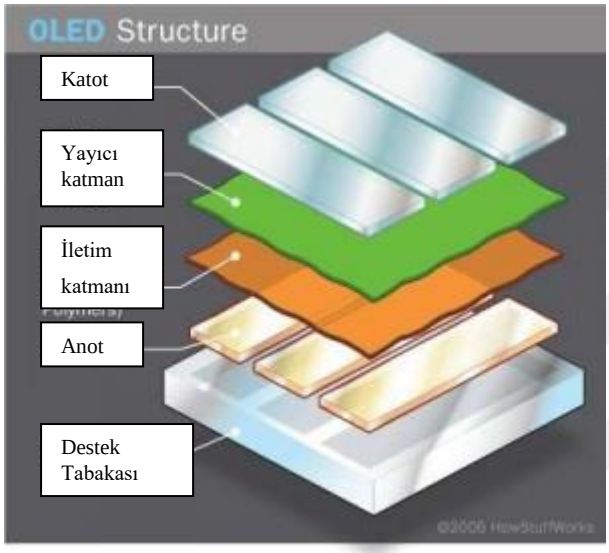


Resim3.22. LED aydınlatma elemanları (URL-27) (URL-28)

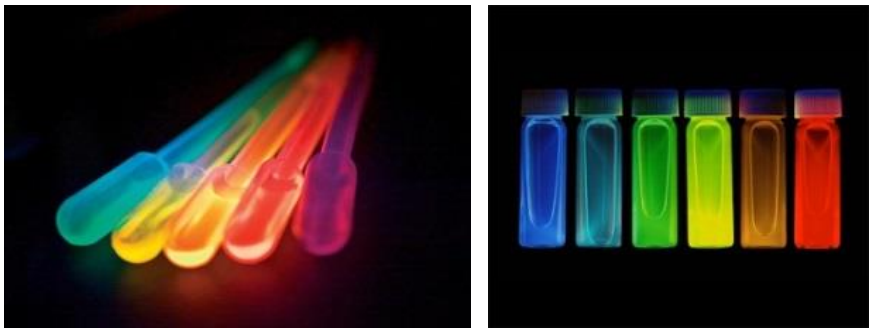
Kuantum noktalar (Quantum dot), nano boyutlu kristallerdir ve yarı-iletkendirler. Kuantum noktaları için birkaç atomdan, binlerce atoma kadar atom barındırabilen devasa yapay bir atom diyebiliriz. Her ne kadar binlerce atoma kadar barındırabilir desek de bugün farklı uygulamalarda kullanılan kuantum noktaların çapları genellikle 2-15 nanometre (10-75 atom) uzunluğundadır.

Optik ve elektriksel özelliklerinden kaynaklı en çok üretilen kuantum noktalar, CdSe, InAs, CdS, GaN, InGeAS, CdTe, PbS, PbSe, ZnS'dir. (Resim 3.23.) Yapay atom

denmesinin sebebi boyutlarının değiştirilmesiyle bant boşluğunun değiştirilebiliyor olmasıdır. Yani kuantum noktalarda boyut kontrol edilebilir bir parametredir ki, bu özellik 'kuantum sınırlaması' (quantum confinement) etkisi ile birleşince kuantum noktalar sıra dışı optik ve elektriksel özelliklere sahip olmaktadır. Çünkü kuantum kısıtlaması etkisiyle kuantum noktaların boyutlarının değişmesiyle birlikte yaptıkları ışımanın rengi de değişmektedir. Kuantum noktalar tıbbi görüntüleme işlemleri, LED'ler, güneş panelleri, elektronik ve bilgisayar uygulamaları için büyük gelişmeler vaat etmektedir (URL-29).



Şekil 3.9. OLED katmanları (Elvin, 2007)



Resim 3.23. Kuantum Noktalarla üretilen aydınlatma elemanları (URL-30)

Görüldüğü gibi nanomalzemeler binalarda çatı, cephe, strüktür, duvar ve döşeme bitirme malzemeleri kısımlarında farklı uygulamalarla kullanılabilmektedir. Yalıtım malzemeleri cephe, duvar ve döşemelerde daha çok uygulanırken kaplamalar, cephe, duvarlar ve şeffaf bileşenlerde kullanılmaktadır. Nanotüp güneş hücreleri ve ince film kaplamalar çatıda şeffaf bileşenlerde ve güneş panellerinde kazancı artırmak için kullanılmaktadır. Beton,

çelik ve ahşap gibi strüktür elemanları, bina strüktüründe performans artırıcı olarak kullanılırken cam, plastik ve seramik gibi malzemeler cephe, duvar, döşeme ve bitirme malzemelerinde kullanılmaktadır.

Faz değiştiren malzemeler, nanoteknolojinin ısı yalıtımına getirdiği diğer bir yenilik ise, faz değiştirme ve yüksek oranda enerji depolayabilme özelliklerine sahip malzemelerin üretilmesidir. Malzemelerin faz değiştirmesi, yer aldıkları mekânın ısısına bağlı olarak katılaşmaları veya erimeleri biçiminde görülmekte ve bu malzemeler buna bağlı olarak yüksek oranda enerjiyi bünyelerinde depolayabilmektedir. Gerekli durumlarda ise depoladıkları bu enerjiyi açığa çıkarabilmektedirler (Konuklu ve Paksoy, 2011). Faz değiştiren malzemelerin (FDM) gizli ısı depolama malzemeleri olarak sıcaklık düzenlemeleri için de kullanımı söz konusudur. Pik sıcaklıkları azaltmak ve sıcaklık dalgalanmalarını düzeltmek için kullanılır (Eisazadeh ve Allacker, 2016).

Uygulamalarda kullanılan faz değiştiren maddelerin ideal olabilmesi için, yüksek bir gizli ısı, yüksek ısıl iletkenlik, yüksek özgül ısı kapasitesi ve küçük hacim değişimine sahip olması gerekir. Ayrıca korozif ve toksik olmamalıdır ve aşırı soğuma özelliği göstermemelidir (Gür, 2010). Binalarda faz değiştiren malzeme kullanımı 1970 yılında tuz hidratlarının kullanımı ile başlamıştır. Faz değiştiren malzemeler, çevre ısısı yükseldiğinde mevcut ısıyı absorbe ederek sıvı hale geçerler, çevre sıcaklığı sabit kalır. Çevre ısısı düştüğünde faz değiştiren malzemeler bünyelerinde depolanmış olan ısıyı çevreye vererek katı hale dönüşür ve çevre sıcaklığı sabit kalır. Bu malzemeler binalarda duvarlarda beton ya da sıva malzemesi içine sızdırmaz mikro kapsüller içeren yapı malzemeleri şeklinde ya da plaka şeklinde kullanılabilmektedir. Şeffaf bileşenlerde iki cam arasına yerleştirilerek gündüz ve gece sıcaklık farklarını dengelemede kullanılabilirler. Yine çatıda da plakalar şeklinde kullanımları söz konusudur (Sarı, 2011).

Dış uyaranlar etkisiyle hal (katı, sıvı, gaz vb.) değiştiren malzemelerdir. Enerji depolama özelliği gösteren bu malzemeler mimari uygulamalarda genellikle pasif iklimlendirmede ısı enerjisini depolama maksadıyla kullanılmaktadır. Polimer mikrokapsüllenmiş parafin mumu esaslı bir FDM micronal adıyla ticari olarak piyasaya sunulmuştur; toz haldeki malzeme duvar veya tavanlarda kullanmak üzere sıva, dolgu vb. maksatlarla yapı malzemelerine katılmaktadır (Orhon, 2012). Isıtma ve soğutma işlemleri için gerekli olan enerji ihtiyacını azaltarak enerji tasarrufu sağlamanın yanında, Faz değiştiren malzemelerin

geri dönüşümü yapılabilir ve biyolojik olarak ayrıştırılabilirler. FDM'ler parafin ve tuz hidratları kullanılarak üretilir. 2-20 nm aralığında çap boyutlarına sahip parafin topları, kapalı bir plastik tabaka içerisinde geleneksel yapı malzemelerine (1 cm²'de 3 milyon kadar) entegre edilir. FDM ısıyı depolayarak tutmakta ve parafinin sıvılaştırılması amacıyla kullanmaktadır. FDM'ler alçı, alçıpan ve beton gibi konvansiyonel malzemelere ilave edilebilir (Eisazadeh and Allacker, 2016).



Resim 3.24. Sur Falveng Binası-Faz değiştiren malzemelerin kullanımı (Leydecker, 2008)



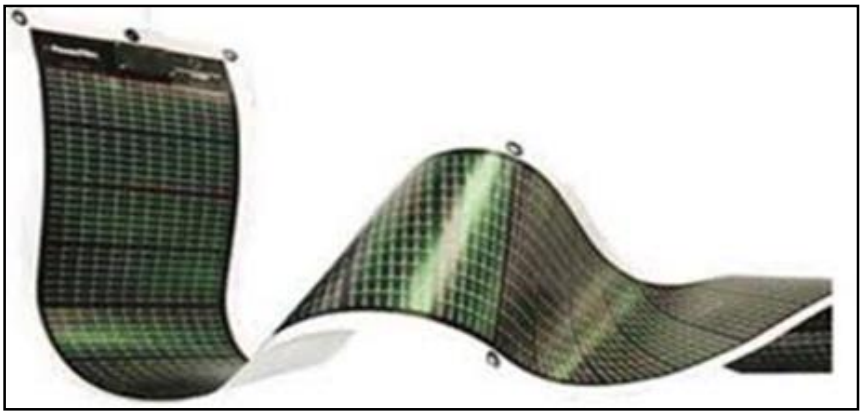
Resim 3.25. Sur Falveng Binası-Faz değiştiren malzemelerin kullanımı (Atwa ve diğerleri, 2015)

Bina İsviçre Alplerinde, engellilerin erişebileceği 20 daireden oluşmaktadır. Tüm daireler güney cepheye bakan geniş cam yüzeylere sahiptir. Daireler mevsime bağlı olarak pasif veya aktif olarak ısıtılır. 8 cm kalınlığında 3 katmanlı kompozit cam elemanının merkezi, tuz hidratlarından oluşan bir dolgu malzemesi içerir. Bu dolgu malzemesi gizli ısı deposu

olarak, güneş ısısı ve aşırı ısınmadan odaları korur. Gizli ısı deposu 15 cm lik kalınlıkta beton duvarın ısı emme kapasitesine sahiptir. Cam panel dolgu malzemesi erimiş olduğunda şeffaftır (El-Samny, 2008).

İnce film yalıtımı, yalıtım amaçlı kaplamalar ve yalıtımlı seramik yüzeyler, oldukça yüksek yüzey/hacim oranları sayesinde nanomalzemeler minimum kalınlıkta bir malzeme katmanı içerisinde havayı tutarak iyi bir yalıtım sağlamaktadırlar. Bu tip yalıtım sağlayan nanomalzemeler katı paneller arasına sıkıştırılarak, ince filmler şeklinde uygulanarak veya kaplama şeklinde boyanarak kullanılabilirler. Nanokaplamaların ve ince filmlerin en önemli avantajı mevcut yüzeylere de uygulanabilmesidir.

Güneş ve UV ışınlarına karşı koruyan nanomalzemeler, UV ışınlarından koruyan nano malzemeler, cam gibi malzemelere film tabakası olarak kaplanır. UV ışınlarının zararlı etkilerinden koruyan bu malzeme, yapıda daha geniş şeffaf yüzeylerin kullanılmasına olanak sağlar. Güneşten gelen ısının miktarına göre camlar koyulaşır ve güneşten koruma durumuna geçer. Bu nano malzeme de ortam koşullarına kendiliğinden uyum sağlayarak bir fonksiyonu kendiliğinden gerçekleştirmiş olur (Harman, 2011). UV ve güneşten koruma sağlayan nanomalzemeler etkin bir güneş kontrolü sağlayarak gereksiz ısıl kazançları en aza indirgerler.



Resim 3.26. UV ışınlara karşı kullanılan ince film yalıtımı (URL-31)

Güneş panellerinde kullanılan nanoteknolojik uygulamalar, fotovoltaik güneş pillerinde nanotüp güneş hücreleri kullanılmaya başlamıştır. Nanopv mevcut güneş pili malzemelerine göre titanyum (Ti) ince filmler halinde daha ince, daha esnek, daha hafif ve güneş enerjisi kazancını maksimuma çıkaran yapısıyla enerjinin üretilmesinde,

depolanmasında ve kullanılmasında önemli katkıları bulunduğu ve uygulama kolaylıkları sağladığı görülmektedir (Ayçam ve Kaman, 2009).

Yangına dayanıklı malzemeler, Degussa kimyasal maddeler firması tarafından üretilen Aerosil, çok farklı özellikleri olmasının yanında yangına karşı oldukça dayanıklı bir malzemedir. Malzeme, 4-20 milimikrometre arasında parçacıklardan üretilmektedir ve yarım yüzyıldan fazla zamandan beri bu alanda en önemli üreticidir. Aerosilin hammaddesi pirojenik silisik asit boya endüstrisi başta olmak üzere çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. (Atwa ve diğerleri, 2015) Malzeme, yalnızca 3 mm kalınlığında cam bölmeler arasında dolgu malzemesi olarak kullanılmakta ve yangın korunumlu nanocamların üretilmesini sağlamaktadır. Camların arasında bulunan jel biçimindeki malzeme aleve maruz kaldığında opaklaşarak ısı yalıtımı oluşturması sonucunda nanocamın yangına karşı dayanıklı hale gelmesi sağlanmaktadır. Fonksiyonel dolgu malzemesi 1000 ºC sıcaklığa sürekli maruziyete karşı 120 dk. dan fazla yangına karşı dayanıklılık sağlamaktadır Nanocamlar uzun süre yangına karşı dayanıklı olmakla birlikte ince, hafif, ışık geçirgenliği yüksek, ultraviyole ışınlara karşı dayanıklı ve darbe dayanımı yüksek malzemelerdir. Yangın korunumlu nanocamlar, daha çok yüksek katlı ofis binalarında kullanılmakla birlikte, koridorlar, fuayeler vb. yapı bileşenlerinin yangın güvenliğine katkı sağlamaktadır (Gür, 2010).

Nanoteknoloji ve su yalıtımı, yapılı çevrelerde yapıların ve malzemelerin su yalıtımı yüzyıllardır sorun olagelmişir. Bilim ve teknolojideki yeni gelişmelerle birlikte neredeyse tüm yapı malzemelerinde su yalıtımı sağlayan çevre dostu organo-silikon ürünler, üretilebilmektedir. Nano teknoloji ile birlikte üretilen bu ürünlerin hizmet sürelerinin 20-30 yıldan daha fazla olması öngörülmekte, yaşam döngüsü maliyetlerinin oldukça ekonomik hale gelmesini sağlamaktadır. Yapı malzemelerindeki su geçirgenliğinin sebebinin içsel gözeneklilik ve mikro çatlaklardaki su geçişlerinden kaynaklanmaktadır (Saurav, 2012).

4. NANOMALZEMELERİN İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNDEKİ OLASI ETKİLERİ ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME

Nanoteknoloji nanoölçekte çalışan her teknoloji ve bilime atıfta bulunan kolektif bir tanımdır. Nanopartiküller daha büyük partiküllerden farklı özelliklere sahiptir ve bu özellikler ilaç sektörü, bilgi teknolojileri, enerji üretimi ve depolanması, yapı malzemeleri, imalat ve çevresel uygulamalar gibi oldukça geniş bir alanda kullanılabilmektedir.

Nano kaynaklı uygulamalar çok önemli potansiyellere sahip olmalarına rağmen, insan sağlığı ve çevre üzerinde nanopartiküllerin potansiyel olumsuz etkilere sahip olduğu konusunda bazı endişeler söz konusudur. Nanopartikülleri böyle umut verici yapan farklı özellikler aynı zamanda ekosistemler ve canlılar üzerinde muhtemel etkilere sahiptir. Malzemeler nanoölçeğe indirgendiğinde, özellikler değişir ve nanopartiküller büyük partiküllerden farklı optik, manyetik ve elektriksel özelliklere sahiptir (Helland, 2004).

Nanomalzemelerin kullanım alanı ve yapılı çevrelerdeki uygulamalarının artırılması, çevresel etkilerinin büyük oranda artış göstermesiyle sonuçlanmaktadır. Nanoparçacıkların yüksek yüzey-hacim oranları, elektronik yapıları, ara yüzey reaktiviteleri gibi farklı fizikokimyasal özellikleri sebebiyle farklı çevresel etkiler oluşturabilecekleri tahmin edilmektedir. Bununla birlikte, ekosistemdeki farklı bileşenlerle olan doğrudan etkileşim esnasında işlenmiş nanopartiküllerin, kendileriyle birlikte bulunması istenmeyen maddelerle birlikte hareket ettiklerinde çevresel akıbetlerinin değişebileceği öngörülmektedir. Bu nedenle, çevreyle etkileşim içindeki nanomalzemelerin potansiyel olumsuz etkileri büyük önem taşıyan bir araştırma konusuna dönüşmüştür (Tunca, 2015).

İşlenmiş nanomalzemeler, üretim, nakliye, kullanım ve bertaraf sırasında çevreye girer. Bu süreçler sırasında nanomateryallere ve nanopartiküllere maruz kalmak, insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerin artmasının temel nedenidir. Nanomalzemelerin üretim ve kullanım sırasında etkisi üç mekanizma ile meydana gelebilir: Soluma, dermal temas, yutma ve tedavi esnasında enjeksiyon.

Günümüzde nanomalzemelerin inşaat sektöründe kullanılması ile ilgili problemlerden biri, hizmet süresi bittiğinde çevreye olan zararlarıdır. Nanopartiküllerin biyodegradasyonu (organizmaların bileşikleri parçalaması) tam olarak bilinmemektedir ve canlılarla temas

kurduklarında veya hava, su ve toprakta dağılarak, çevreyi ne kadar olumsuz etkiyecekleri kesin olarak incelenmemiştir. Nano-parçacıklar genelde toprak içeriğinde ve sucul ortamlarda bulunan minerallerin gözenekli yapısına kolaylıkla bağlanması ile çevreyi olumsuz etkileyebilmektedir. Son dönemde nano ve mikro parçacıkların insan vücuduna nüfuz etmesinin farklı hastalıklara sebep olduğuna dair kanıtlar çoğalmıştır (Moreno and Torre, 2017).

Yapılı çevrelerde kullanılan nanomalzemelerin nanopartikülleri insan sağlığı üzerinde bilinmeyen etkileri ile cilt, akciğer ve bağırsaklardan geçebilecek kadar küçüktür. Vücuda alım açısından bakıldığında, nanopartiküller insan vücudunda gezerek, örneğin beyne ulaşabilirler (Helland, 2004). Nanopartiküllerin yapı malzemelerinde ya da farklı uygulama ve ürünlerde kullanımı hücrelerde toksisite oluşumuna sebep olabilmektedir. Nanomalzemelerden kaynaklanan sitotoksisitenin etkileri değerlendirildiğinde tek duvarlı nanotüplerin hücre duvarı bütünlüğünü bozması, çok duvarlı nanotüplerin nükleik asit hasarına neden olması, titanyum dioksitin oksidatif stres oluşturan reaktif oksijen türleri üretmesi, toksik ağır metaller salınması gösterilebilir. TiO_2 nanopartiküllerin 2-5 nm aralığında birincil partikül büyüklüğünde solunmasının akciğer iltihabına sebep olduğu rapor edilmiştir. Ultra-ince SiO_2 nanopartiküllerin kullanımının insanlarda karsinojen etki (kanser yapıcı) gösterdiği bildirilmiştir. Yapılan araştırmalarda, nanopartikül kullanımının, toksisite etkisi bilinmeyen materyaller için halihazırda kurumlarda kullanılmakta olan şekliyle, yani, eldivenlerin dermal teması önleyecek şekilde kullanılması ve solumanın önlenmesi için hava çıkarma cihazlarının kullanılması gerektiği belirtilmiştir. Nanopartikül kullanımının sonradan kanser gelişimine sebep olan DNA hasarı oluşturabileceği ifade edilmiştir. Bunlarla birlikte nanotoksisitenin risk oluşturması için nanopartikül tipleri, boyutları, özellikleri ve konsantrasyon hacmine bağlı olduğu da belirtilmiştir. Yapılan bir literatür taramasının sonuçlarında, Çevre Koruma Ajansı'nın karbon nanotüpleri zehirli ürünler yasası kapsamında ele alınması gereken yeni bir karbon türü olduğu açıklanmıştır. Ve ayrıca önümüzdeki yıllarda ayırma ve geri dönüşüm işlerini kolaylaştırabilmek amacıyla nanopartiküllü ürünlerin etiketlenmesi tavsiye edilmektedir (Sev ve Ezel,2014).

4.1 Nanoteknolojinin Günlük Yaşamımızdaki Kullanım Alanları

Nanoteknoloji disiplinlerarası bir bilim dalı olması sebebiyle cok farklı alanlarda kullanımı söz konusudur. Günlük yaşamda da birçok farklı alanda karşımıza çıkmaktadır. Kozmetik

alanında nanoteknoloji oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle içeriğindeki titanyum dioksit sayesinde UV ışınlara karşı koruma sağlayan güneş kremleri sektörde sıkça kullanılmaktadır.

Tekstil ürünleri alanında üretilen yeni nesil kumaşlar nanoteknoloji yardımıyla çevresel şartlara göre fiziksel özelliklerini değiştirebilen özelliklere sahip olabilmektedir. Nanopartiküllerin tekstilin içine girmesiyle su, leke ve kırışıklıklara direnç sağlayan çok hafif ve dayanıklı tekstil ürünleri üretilebilmektedir (Helland, 2004).

Tıbbi uygulamalar ve ilaç sektörü nanoteknoloji konusunda büyük beklentilerin olduğu alanlardan biridir. Nanoteknoloji ve biyoteknolojinin kombinasyonu sayesinde yeni malzemelerin üretilmesi, hasarlı sinir hücrelerinin onarılması, hasarlı cilt, doku ya da kemik hücrelerinin yerini alabilecek hücre büyümesinin sağlanması, yapay organ ve implantlar yapılması mümkün olabilir.

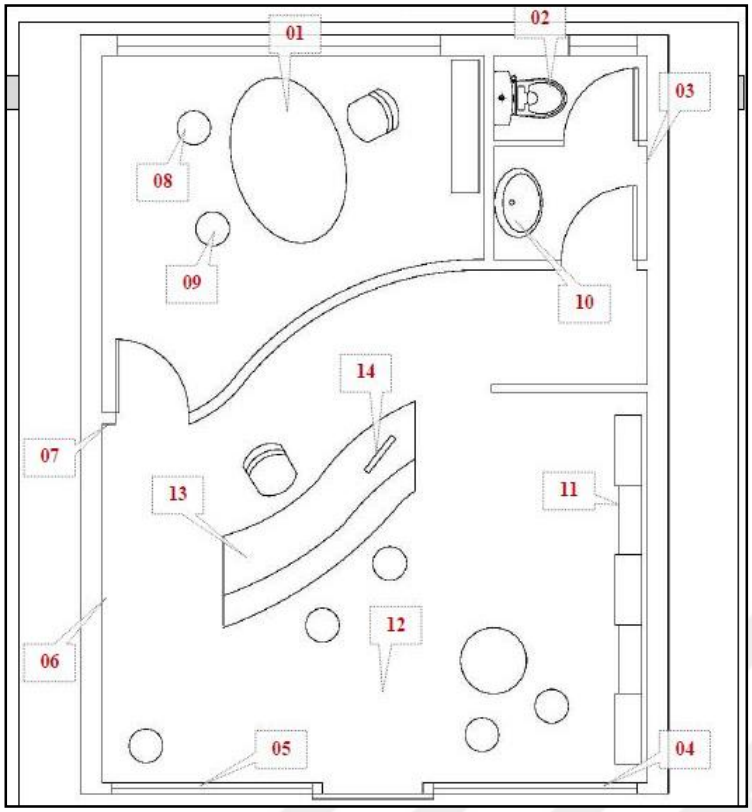
Nanoteknoloji ayrıca çevresel getiriler için toprak temizleyici olarak kullanılabilir. Bunun dışında su ve hava arıtımı için, yenilenebilir enerjinin kullanımı ve depolanması için de kullanılabilmektedir.

Günlük yaşamda nanoteknoloji nanomalzemelerin yanı sıra tekstil, medikal, elektronik ve diğer cihazlarda etkin şekilde kullanılmaktadır. (Şekil 4.1.) (Helland, 2004) Yapılı çevrelerde nanomalzeme kullanımı odağında ise iç ortamda birçok farklı nanomalzeme kullanıldığını görmek mümkündür (Şekil 36), (El-Samny).



Şekil 4.1. Günlük yaşamda kullanılan nanomalzemeler (Helland, 2004)

1. Ekran İçin OLED (Organik ışık yayan diyotlar)
2. Işığı elektrik enerjisine çeviren fotovoltaik film
3. UV ışınlarıyla kendi kendini temizleyebilen, çizilmeye karşı dayanıklı kaplamalarla kaplanmış pencereler
4. Lekelere ve ısı kontrolüne karşı malzemelerle kaplanmış kumaşlar
5. Nabız ve solunum için önlem alan akıllı kumaşlar
6. Hafif ama çok güçlü boru çerçeve
7. Biyo uyumlu malzemelerden yapılmış kalça eklemi
8. Korozyon karşıtı nanopartikül boya
9. Işığı düzenleyen termokromik cam
10. Kompakt veri belleği için manyetik tabakalar
11. Araçlar ve güç elektroniği için Karbon nanotüp yakıt hücreleri
12. Nano-üretimli koklear implant (Helland, 2004)



Şekil 4.2. Günlük yaşamda kullanılan nanomalzemeler (El-Samny, 2008)

1. Masa camı, parmak izi tutmayan kaplama
2. W.C. Kolay temizlenebilen yüzey kaplaması
3. Duvar; nanoparçacıklı seramik duvar kaplaması
4. Fotokromik veya elektrokromik kendi kendine temizlenebilen cam
5. Fotokatalitik etkiyle kendi kendine temizlenebilen cam
6. Duvar; nanoparçacıklı seramik duvar kaplaması
7. Anahtarlar ve kolları; Antibakteriyel ve yapışmaz
8. Sandalyeler; kir itici
9. Döşeme; hava arıtmalı
10. Vitrifiye; parmak izi tutmayan kaplama
11. Ekran; yansıtmayan kaplama
12. Halı; hava arıtmalı
13. Hesaplayıcı; parmak izi tutmayan kaplama
14. Ekran; yansıtmayan kaplama (El-Samny,2008)

Yapılı çevrelerde kullanılan nanomalzemelerin insan sağlığı üzerindeki etkilerinin kesin olarak öğrenilebilmesi amacıyla oldukça detaylı testlerin yapılması gerekmektedir. Özellikle çok sıklıkla kullanılan nanokaplamalar ve yalıtım ürünleri gibi yaşam alanlarında sürekli aynı ortamda yer alınan malzemelerin insan bedeniyle nasıl etkileşime girdikleri, iç ortam da solunan havada ne kadar yer aldıkları gibi soruların cevapları araştırılmalı ve buna göre seçici davranılmalıdır.

4.2. Çevrede ve İnsan Vücudunda Nanopartikül Maruziyeti

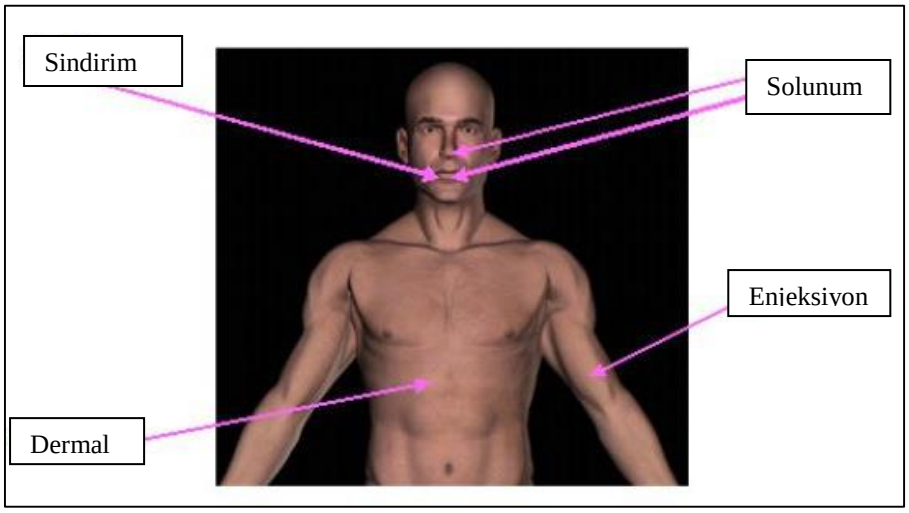
Tasarlanmış nanomalzemelerin ve diğer nanopartiküllerin çevre ve insan sağlığına olan etkileriyle ilgili endişeler 2000'lerde başlamıştır. Nanopartiküllerin çevre ve biyolojik sistemler üzerindeki hareketleri, taşınmaları, maruziyet yolları ve toksisiteleri hakkındaki araştırmalar güncelliğini korumaktadır (Abudayyak, 2015).

İnsan vücudunda nanopartikül maruziyeti doğal yollarla ve tasarlamış nanomalzemelerle olabilmektedir. Toz fırtınaları, orman yangınları, volkanların püskürttüğü partiküller, okyanus ve su buharlaşmaları ile organizmalardan kaynaklı nanopartikül maruziyeti günlük yaşamda karşılaşılan durumlardır (Buzea, Blandino and Robbie, 2007). Yapılı çevrelerde tasarlanmış nanomalzemelerin kullanılmaya başlanmasıyla birlikte bu malzemelerin insan sağlığı üzerinde ne tür etkilerinin olduğu tartışılmaya başlanmıştır.

Günümüzde güncel nanoteknoloji uygulamalarının etkisi sebebiyle mesleki ve kullanıcı maruziyetine neden olan birçok maruziyet yolu bulunmaktadır. Bu maruziyetler, nanomateryallerin nasıl uygulandığına bağlı olarak solunum, yutma ya da ciltten emilme şeklinde olabilir. (tedavi esnasına enjeksiyon da dahil olabilir.) Bu bağlamda zamana bağlı olarak çeşitli nüfus gruplarında, nanomateryallere maruziyet seviyesinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Maruziyet değerlendirmesi, kullanıcıların, işçilerin ve diğer çevresel alıcıların maruz kaldığı kütlesel konsantrasyonların sonuçlarının birçok farklı açıdan tahmin edilebilmesini sağlayacaktır. Nanomateryallerin üretilme şartları, üretilme düzeyi, endüstriyel uygulamaları ve kullanılmaları, kullanıcı davranışları, çevresel etkiler ve bu etkilerin dağılımı gibi bilgilerin içinde bulunduğu bir maruziyet değerlendirmesi için oldukça kapsamlı verilere ihtiyaç vardır. Maalesef bu tarz detaylı bilgileri her tür nanomalzemeden elde etmek oldukça zordur ve teknik problemler, bulunulan mekânda olduğu kadar çevresel ortamda da nanomalzemelerin etkilerinin doğru ölçülebilmesini

kısıtlar. Son dönemdeki birçok gelişmeye rağmen nanomalzemelerin katettiği biyolojik ve çevresel yol büyük oranda araştırılamamıştır. Yapılan çalışmalarda söz konusu maruz kalma değerlendirme yollarının uygulanabilmesi ve kimyasallar için hazırlanmış kılavuzlar, mevcut bilgiler eşliğinde de tekrar değerlendirilmiş fakat hem bilgi yetersizliği hem de gerekli bilgilere ulaşımın zayıflığı sebebiyle bu çabalar sonuca çok fazla ulaşamamıştır. Bu konuda belli zorlukların olduğu ve muhtemel sağlık ve çevresel risklerin daha iyi değerlendirilmesinin sağlanması adına bu zorlukların aşılması gerektiği açıktır (WHO Report, 2012).

Nanomalzemelerin sahip oldukları farklı özelliklerin insan sağlığı, yaban hayatı ve çevre üzerindeki etkileri birtakım endişeleri de beraberinde getirmiştir. Büyük partiküllere kıyasen nanopartiküller insan vücudunda dokulara işleyerek, (fare deneylerinde görüldüğü üzere), vücutta gezebilir, hücrenin içine girerek hücre çekirdeklerine erişebilir, anne karnındaki bebeğin plasentasına nüfuz edebilir ve kan yoluyla beyne ulaşabilirler. İnsan vücudunda nanopartiküllerin birincil hedefi akciğerler olmakla birlikte, kalp-damar sistemi üzerindeki olumsuz etkilerini ortaya koyan epidemiyolojik çalışmalar mevcuttur. Üç Avrupa ülkesinde yapılan bir araştırmada, kalp-damar hastalığı bulunan kişilerde artan oranda nanopartikül maruziyetinin egzersiz esnasında miyokardiyal iskemi (atardamarlardan kalbe giden kanın belli nedenlerle azalması ve buna bağlı gelişen kalp rahatsızlıkları) rahatsızlığı yaşama ihtimalini büyük oranda artırdığını göstermiştir (Keskin, 2015).



Şekil 4.3. İnsan vücudunda nanomalzeme maaruziyet noktaları (İstif ve Coşkunses, 2014)

İnsan vücudu nanomalzemelere sindirim yolu, dermal yol, solunum yolu ve enjeksiyon yolu ile olmak üzere 4 farklı yoldan temas edebilir (Şekil 4.3.). Solunum yolunda ilk hedef akciğerlerdir. Yapılan araştırmalarda nanopartiküllerin alveoller üzerinde biriktiği ortaya konmuştur. Nanomalzemelerin inflamatuar tepkimelere neden olduğu kanıtlanmıştır. (İstif ve Coşkunses, 2014) Bilindiği gibi cilt, akciğerler (soluma yoluyla) ve mide-bağırsak sistemi (yutma yoluyla) çevre ile devamlı olarak teması bulunan organlardır ve bu nedenle de doğal veya tasarlanmış nanoparçacıklar için vücuda en muhtemel giriş yerleridir. Nanoparçacıklar nanoboyutlu olmaları sebebiyle bu yerlerden dolaşım ve lenf sistemlerine buradan da vücut dokuları ile beyin, karaciğer ve böbrek gibi organlara taşınabilmektedir (Abudayyak, 2015).

2000'li yılların başından beri, karbon nanotüplerle (KNT) ile ilgili endişeler gündemde yer almaktadır. Bu endişelerin sebebi başlarda KNT'lerin asbest lifleri ile olan fiziksel benzerliklerinden kaynaklanıyordu ve 2004'ten itibaren yapılan bazı deneysel çalışmalar, KNT'lerin asbeste benzeyen birtakım etkiler gösterdiğini ortaya koydu. Bundan dolayı Amerika Birleşik Devletleri Ulusal İş Güvenliği ve Sağlığı Enstitüsü (NIOSH), tavsiye edilen maruz kalma düzeyini, solunabilir temel karbon kütlesinde, 8 saatlik zaman ağırlıklı ortalama konsantrasyonu, bir metre küp/1 mikrogram (µg) olarak vermiştir. Titanyum dioksit nanoparçacıklarının (20-30 (nm) boyutunda), mikro-parçacık (>100 nm) eşdeğerlerine göre, solunum sağlığı açısından daha toksik olduğu belirtilmiştir. İnsanlarda, nanoparçacıkların akciğer alveollerinde biriktiği bilinen bir gerçektir. Alveollerde makrofaj hücrelerinin etkin olduğu mekanizmalarla temizlenmektedirler. Nanoparçacıkların bir kısmı fizikokimyasal özelliklerine göre yer değiştirebilir, bununla birlikte sürekli maruziyetin hastalığın ortaya çıkmasına yetecek kadar parçacık birikimesine sebep olup olmadığı tam olarak bilinmememektedir. NIOSH Titanyum dioksit için, mesleki maruz kalma sınırı olarak, daha büyük titanyum dioksit parçacıkları için 2,4 mg / m^3 önerirken, nano-titanyum dioksit için 0.3 mg / m^3'lük bir sınır belirtmiştir.

Genel anlamda sağlıklı bir cilt nanopartiküller için solunum yoluna göre daha iyi bir engeldir, fakat formülasyonlar ve kaplamalar ile hasara uğramış cilt (yanma veya gerilme etkisi) üzerinde ne gibi olumsuz etkileri olduğunu bilebilmek adına daha çok araştırma gerekmektedir. Nanopartiküllerin aktarılması ve sistemik olarak dağılmasının, oral maruziyet sonrasında bağırsaklar ile gerçekleştiği ve karaciğer ve retiküloendotelyal sistem organlarında birikmeler olduğu belirtilmiştir (WHO Report, 2012).

4.3. Mimarlıkta Kullanılan Nanopartiküllerin Sağlık Üzerindeki Etkileri ve Yapılan Deneyler

Nanopartiküllerin kullanımı çok yeni olmasına rağmen, potansiyel toksisite ile ilgili endişeler hızlı bir şekilde gündeme gelmiştir. Yapılan araştırmalarda TiO_2 partiküllerinin solunum üzerindeki etkileri, 2 ile 5 nm arasındaki ölçekte belli parçacıklarla yapılan araştırmada incelenmiş ve 8,8 mg/m³ konsantrasyonda akciğer iltihabı tespit edilmiştir. Yine yapılan araştırmalarda bazı nanopartiküller ile ilgili olarak üniversitelerde toksisite etkisi bilinmeyen malzemelerde kullanıldığı gibi hava ile teması önleyen cihazlar ve cilt temasını önleyen eldiven kullanılması tavsiye edilmektedir. Nanopartiküllerin toksisite etkisi, nanopartikül tipine, konsantrasyon hacmi ve yüzeysel özelliklerine bağlıdır (Torgal and Jalali, 2011).

Nanoteknoloji yeni bir bilimsel konu olması sebebiyle, sağlık riskleri ve bu risklerin tahmin ve kontrol edilebilmesi bağlamında çeşitli eksiklikler vardır. Nanoparçacıkların sağlık üzerindeki etkileri (solunum, dermal, yutma ve enjeksiyon) konusundaki bilgilerin çoğunluğunu hayvan deneylerinden elde edilen veriler oluşturmaktadır. Bu konudaki en büyük riskin soluma olduğu öngörülmektedir. Nanopartiküllerin sağlık açısından risk oluşturmasının nedenleri;

- Büyük boyutlu parçacıklara oranla solunum yollarında toplanma ihtimali daha fazladır.
- Nano boyutlarda olmaları sebebiyle hücre zarından geçebilir.
- Boyutlarına göre yüzey alanının çok fazla olması nedeniyle biyolojik açıdan daha aktif olabilir.
- Aynı malzemenin daha büyük boyutlu parçacıklarına göre daha toksik olabilir.
- Uzun süre havada asılı kalabilir.
- Dokularda birikerek gecikmiş toksisiteye sebep olabilir.
- Aynı malzemenin farklı özelliklerini sergilemeleri risk sebebi olabilir. (örnek olarak altın, nanoboyutlarda kırmızı renklidir.)

  şeklinde açıklanabilir (URL-32).

Nanopartiküller, kan dolaşımı yoluyla, akciğerlerdeki duyu sinirleri üzerinden ya da koku sinirleri aracılığıyla beyne ulaşabilmektedirler. Yapılan araştırmalar nanopartiküllerin beyin üzerinde de toksik etkilerinin bulunduğunu ortaya koymaktadır. Titanyum dioksit nanoparçacıkların yapılan fare deneylerinde beyin hasarına neden olduğu, ağır bir metal

olan manganezin (Mn) nanoparçacık boyutunda beyinde toplanarak Parkinson sendromuna yol açtığı, beyinde reaktif oksijen ürünleri ile dopamin tüketimini artırdığı belirtilmiştir. Bir başka çalışmada farelere verilen (23.5 nm) bakır nanopartiküllerinin böbrek, karaciğer ve dalakta bakır mikropartiküllerine (17 μm) oranla oluşturduğu hasarın daha fazla olduğu ortaya konulmuştur. Tek duvarlı karbon nanotüplerin cilt hücrelerinde oksidatif stres ve iltihaplanmaya sebep olabilecekleri başka bir çalışmada belirtilmiştir. Nanopartiküllerin insan göbek kordonu ve epitel hücrelerinde doğrudan sitotoksik etkiyle yapısal değişikliklere yol açtığını, intihaplanma sürecini başlattığını ve hücre büyümesine neden olduğunu saptanmıştır (Berk ve Akkurt, 2012).

Nanoparçacıkların insanlardaki negatif etkilerinin gösterildiği ilk araştırma 2009 yılında yayımlanmıştır. (Song ve diğerleri, 2009). Bu araştırmaya göre Pekin'de Ocak 2007-Nisan 2008 tarih aralığında önceden sağlık sorunu bulunmayan, sigara alışkanlığı olmayan, benzer klinik tabloda yer alan, aynı işi-mesleksel maruziyeti tanımlayan, yaşları 18-47 arasında olan yedi kadın hasta incelenmiştir. Hastalar klinik tablonun maruziyetleriyle ilişkisinin araştırılması, tetkik ve tedavi amacıyla takibe alınmıştır. Hastalardaki ortak şikayetlerin nefes darlığı, nedeni bilinmeyen plevral (akciğer zarları arasında su birikmesi) veya perikardiyal efüzyon (kalp ve çevresinde su birikmesi) olduğu belirtilmiştir. Hastalara tanı amaçlı laboratuvar incelemeleri yapılmış ve çalıştıkları fabrikalardan nümuneler alınarak çeşitli analizler yapılmıştır. Bu analizlerde poliakrilik esterler saptanmış, bunların da elektron mikroskobik incelemesinde nanopartiküllere rastlanmıştır. Ayrıca, hastaların akciğer hücrelerinde de bu nanopartiküller görülmüştür. Bu çalışmanın sonuç kısmında nanopartiküllere uzun süreli maruziyetin akciğerlerlerde ciddi hasarlar oluşturabileceği vurgulanmaktadır (Berk ve Akkurt, 2012).

Çizelge 4.1. Mimarlıkta kullanılan bazı nanopartiküller ve kullanım amaçları. (Kothari and Dewalkar, 2016)

Nanopartikül	Kullanım Amacı
Nanosilika	Betonu yoğunlaştırma ve erken dayanımı sağlama amaçlı olarak çimento parçasının yerine kullanılır.
Amorf nanosilika çamuru	Kendiliğinden yerleşen betonlarda segregasyon direncini artırmak amacıyla kullanılır.
Oksitlenmiş çok duvarlı nanotüpler (MWNT)	Betonda basınç ve eğilme dayanımını artırmak amacıyla kullanılır.
Nano ölçekte Shewanella mikroorganizması, 105 hücre / ml konsantrasyonu	Betonda % 25 oranında arttırılmış basınç dayanımı sağlar.
Bakır nanopartiküller kullanılarak üretilen düşük karbonlu, yüksek performanslı çelik	Korozyon direnci ve daha iyi kaynak yapımı için köprüler oluşmasını sağlar.
Lamine nano yapılı modifiye çelik	Hafif, sünek, korozyona dayanımı yüksek ve yorulmaya dirençli uygulamalar yapılması ve daha düşük inşaat maliyeti oluşturur.
Füm silika nanopartiküller	Yangına karşı koruyucu cam yapımında kullanılır.
Nanoölçekli Titanyum dioksit (TiO_2), Bimetalik nanopartiküller Fe / Pd, Fe / Ag, Zn / Pd	Şeffaf yapı bileşenleri için yansıma önleyici kaplamalar, kendi kendini temizleyen pencereler, dayanıklı boyalar, anti-grafiti kaplamalar, antibakteriyel kaplamalar ve ısı kontrolü, su itici yapılar, halılar, koruyucu giysiler, farklı dalga bantlarında ışığın yansıtılması ve iletilmesinde kullanılır.
Gümüş (ag) nanopartiküller	Antibakteriyel yüzeyler oluşturma
Nanoteknoloji etkin sensörler (Nano ve Mikro elektrik mekanik sistemler)	Sıcaklık ile nemi izleme ve kontrol amaçlı, duman, gürültü, stresler, titreşimler, çatlaklar ve korozyonun izlenmesi ve rapor edilmesi için kullanılır.
Farklı polimer nanoölçekli ince film sensörlerinin düzenlenmesine dayalı elektronik burunlar, tek kullanımlık fişler, kimyasal sensörler	Su kalitesini izleme ve radyo ile kirlilik uyarılarını gönderme ve betonda akıllı agrega kullanımını sağlar.
Gömülü organik moleküllerle birlikte üretilen nano gözenekli silika bileşikleri	Optimum enerji verimliliği amacıyla üstün yalıtım özellikleri sağlar.
Atmosferik plazma ile birlikte karbon nanotüpler	Elektrik ve ısıya dayanıklı, hafif elyaf takviyeli plastiklerin üretilmesini sağlar.
İki elektrot arasına sıkıştırılmış nanorod polimer	Foto voltaik özellikli plastik güneş yakıt hücrelerinin üretiminde kullanılır.
Organik olarak modifiye edilmiş bentonit asfalt	Daha dayanıklı yol yapımında kullanılır.

Yapılı çevrelerde kullanılan, titandumdioksit (TiO_2), silisyumdioksit (SiO_2), gümüş (Ag), alüminyum oksit (Al_2O_3), bakır (Cu), çinko oksit (ZnO) ve kil parçacıkları gibi nanopartiküller yaygın kullanım alanına sahiptir (Yılmaz, 2014). Bunlarla birlikte karbon nanotüpler, nanosensörler gibi, yeni nesil ürünler de yapılı çevrelerde kullanılmaya başlanmıştır.

Titanyumdioksit (TiO_2) nanopartiküller:

Titanyumdioksit yapılı çevrelerde oldukça geniş kullanım alanına sahip, titanyum oksitinden elde edilen beyaz renkte, oksijenle tepkimeye girmiş titanyum elementidir. Titanyumdioksit nanopatiküllerin üretimi diğer nanopartiküllere kıyasen daha kolay ve ucuzdur. TiO_2 nanopartiküller yapılı çevrelerde; üstün yapılı beton malzemeler geliştirmek, kendi kendini temizleyen yüzeyler oluşturmak, üstün yansıtıcı özelliklere sahip kaplamalar elde etmek ve UV koruyucu yüzeyler oluşturmak için yoğunlukla kullanılmaktadır. TiO_2 nanopartiküller organik kirletici maddeleri, uçucu organik bileşenleri, zararlı maddeleri üstün fotokatalitik özelliği sayesinde parçalamasından dolayı, genellikle zararlı zararsız mikroorganizmaların yok edilmesi amacı ile boyalarda, kaplamalarda çimentoda ve camlarda kullanılmaktadır (Yılmaz, 2014).

Titanyum dioksit, hidrojen ve elektrik enerjisi üreten güneş pillerinde, gaz sensörlerinde, seramiklerin optik varyasyonlarında, varistörler gibi elektrikli cihazlarda kullanılabilmektedir. Yer bilimlerinde ve kemik implantlarının biyo uyumluluğunun sağlanması amacıyla da kullanılabilir. Bunlara ek olarak, nano ölçekteki titanyum dioksit, daha yoğunlukla fotokatalitik olması nedeniyle kullanılmaktadır. TiO_2'nin fotokatalitik özelliği, nanopartiküllerin yüksek yüzey-hacim oranı sayesinde büyük oranda artmıştır. Titanyum dioksit, diğer metal oksit fotokatalistlerle kıyaslandığında yüksek verimi sebebiyle yaygın kullanım alanına sahiptir. Nispeten daha az güneş ışığı varlığında bile fotokatalitik aktivite göstermesi, daha ucuz olması, kimyasal stabilite göstermesi, hiçbir sorun oluşturmadan birçok malzeme ile uyumlu olarak çalışabilmesi performans olarak ön plana çıkmasına sebep olmaktadır (Goffredo, 2013).



Resim 4.1. Titanyum dioksit maddesi (URL-33)

Titanyum dioksit (TiO_2) nanpartiküllerin insan sağlığı üzerine etkileri ile ilgili olarak fareler üzerinde yapılan deneylerde solunum yolu kanseri gibi olumsuz etkilere neden olabildiği ortaya konulmuştur. Bununla birlikte, fareler üzerinde yapılan bir başka deneyde farelerin içme suyuna konulan TiO_2 in etkileri incelenmiş, 5 günlük süre sonunda titanyum dioksit nanopartiküllerin DNA sarmalında hem tek hem de çift iplikte kırılmalara ve kromozomlarda hasara sebep olduğu ve bununla birlikte iltihaplanmalara yol açtığı tespit edilmiştir (Trouiller ve diğerleri, 2009).

Titanyum dioksit hücrelere ve dokulara ulaştığında, çok küçük olduğu için herhangi bir kimyasal tepkimeye girerek çözünmez. Bu özelliği nedeniyle hücre ve dokularda birikerek onları toksik hale getirir. Yapılan bir başka deneye göre titanyum dioksit fare dokularına uygulandığında katyonik titanyum dioksit parçacıkları kan beyin bariyerinde çok hızlı toksik etki gösterebilir. Akciğerler üzerinde iltihaplanmaya yol açarak akciğer kanseri riskini artırır (Weir, 2011).

Hayvan deneyleri TiO_2 nanopartiküllerinin Grup 2B Kanserojeni (insanlar için olası kanser yapıcı madde) olduğuna dair yeterli kanıt vermiştir. Bununla birlikte altı Avrupa ülkesinde yapılan bir araştırmaya göre, TiO_2 nanoparçacık üretim endüstrisinde çalışan işçilerin genel nüfusa oranla akciğer kanserine yakalanma olasılığı daha fazladır (Weir, 2011).

Nano ölçekli titanyum dioksit ve karbon siyahının, büyük hacimli endüstriyel kimyasal olduğu bilinmektedir. Bundan dolayı mesleki ortamlarda nano ölçekli titanyum dioksit ve

karbon siyahına hava yolu ile maruz kalma ihtimali yüksektir. Nanopartiküllerin insan vücuduna hava yolu ile nüfuz etmesi riski çeşitli endişelere sebep olmaktadır. Solunum yolu ile insan vücuduna dahil olan nanopartiküllerin büyük çoğunluğu, arınma ve temizlenmenin oldukça yavaş ilerlediği akciğerlerin alveolar kısmında birikebilmektedir. Titanyum dioksitin uzun süreli solunması akciğerlerde uzun süreli yan etkilere yol açabilmektedir. Yapılan bir araştırmada akciğerlerdeki titanyum dioksit birikmesi, akciğer dokusunda 5 ve 25 gün sonra titanyum dioksit içeriği ölçülerek değerlendirilmiştir. Maruziyetten 5 gün sonra, titanyum dioksit birikiminin yaklaşık % 24'ünün hala akciğer dokusunda olduğu tespit edilmiş, 25 gün sonra, akciğerlerdeki nanotitanyum dioksit miktarının % 21 olduğu tespit edilerek ne denli yavaş temizlendiği görülmüştür (Who Report, 2012).

Yapılan araştırmalarda, daha küçük TiO_2 nanopartiküllerinin farelerde daha büyük nanopartiküllere oranla daha şiddetli pulmoner (akciğerlerde ödem oluşması) hasara sebep olma eğilimi gösterdikleri, daha küçük (SiO_2) nanopartiküllerinin sıçanlarda daha büyük akciğer inflamasyonu (iltihaplanma) oluşturdukları, TiO_2 partikül boyutlarının küçüklüğü ile farelerdeki karaciğer konsantrasyonunun yüksekliği arasında ters orantı olduğu ortaya konulmuştur. Köpeklerde, FeO nanopartiküllerinin tek doz damar içi uygulaması sonrasında hipoaktivite (yavaş hareket etme), ataksi (dengesiz yürüme), emez, ekoftalmoz (gözlerin öne doğru büyümesi), salivasyon (tükrük salgılanması), lakrimasyon (gözyaşı salgılanması), renksiz ve mukoid (sümüksü) dışkı ve gözlerde sarılık oluşmasına neden olduğu gözlemlenmiştir. Bunula birlikte sıçanlar ve tavşanlarda fetal iskelet malformasyonlarında (organ ya da dokularda yapısal bozukluk) artış görülmüştür (Hristozov and Malsch, 2009).

Çizelge 4.2. Titanyum dioksit nanopartiküllerin kıyas tablosu (yazar tarafından oluşturulmuştur)

Nanopartikül	Kullanıldığı yerler	Özellik	Dezavantaj
Titanyum dioksit (TiO_2)	Kaplamalar Yalıtım Güneş enerjisi Seramik yüzeyler Cam yüzeyler Nanotüp güneş pilleri Beton	Fotokatalizle kendi kendini temizleme Antibakteriyel yüzeyler oluşturma Güneşin uv ışınlarından koruma Buhar oluşumunu engelleme Güçlü beton üretimi	Grup 2B Kanserojeni Kan beyin bariyerinde yüksek toksik etki Akciğerlerde ödem ve iltihaplanma Hücre ve dokularda birikerek toksik hale getirme

Gümüş (Ag) nanopartiküller:

Gümüş elementi bakteri karşıtı özelliği ile bilinen bir elementtir. Gümüş nano boyutlara (1-100 nm) indirgendiğinde; bakteri, virüs ve mantarlar üzerinde yok etme ve yüzeyin özelliğini uzun süre koruma etkileri sağlamaktadır. Gümüş nanopartiküller maddelerin yüzeyine kaplandığında, yüzey alanı birkaç milyon kat artmakta, güçlü bir bakteri karşıtı etki görülmektedir. Bakteri, virüs veya mantar hücreleri bu nanopartiküller ile karşılaştığında metabolizmaları bozularak, elektrolit dengesi yok olmakta ve enzimleri etkisiz hale gelerek ölmektedir. Yapılan araştırmalarda, gümüş nanopartiküllerin mutasyona uğramış veya uğramamış olarak bilinen 650 patojeni kısa bir süre içinde etkisiz hale getirdiği tespit edilmiştir. Gümüş nanopartiküller, herhangi bir yüzeye uygulandığında kimyasal reaksiyona girmeksizin işlevini gerçekleştirdiğinden, şekli bozulmadan işlevine sürekli olarak devam edebilmektedir. Bundan dolayı ortama sürekli gümüş takviye edilmesi gerekmemektedir (Yılmaz, 2014).

Metal nanopartiküllerinin beyin ve nörolojik fonksiyonlar üzerindeki etkileri üzerine fareler üzerinde yapılan bir araştırmada, gümüş, alüminyum ve bakır nanopartiküllerinin çeşitli dozlarda uygulanmasının kan beyin bariyeri fonksiyonunda önemli değişikliklere sebep olduğu, beyinde kan akışının azaldığı ve beyin ödemlerinin oluştuğu gözlemlenmiştir. (Sharma ve diğerleri, 2009) Bununla birlikte insan beyni üzerinde yapılan

araştırmalarda ise gümüş nanopartiküllerin hücre canlılığını azalttığı, beyin bariyeri bütünlünü bozduğu ve oksidatif stres kaynağı oluşturduğu belirlenmiştir. Ancak gümüş nanopartiküller üzerinde bir kaplama malzemesi kullanılarak bu zararlı etkiler azaltılabilmektedir (Cramer ve diğerleri, 2014). Gümüş nanopartiküllerin hammadde olarak kullanıldığı nanomalzemelerde, günümüz teknolojisinde mevcut risk azaltılabilmekte ve insan sağlığına zararları önlenebilmektedir.

Çizelge 4.3. Gümüş nanopartiküllerinin kıyas çizelgesi (yazar tarafından oluşturulmuştur)

Nanopartikül	Kullanıldığı yerler	Özellik	Dezavantaj
Gümüş	Kaplamalar Seramik yüzeyler Cam yüzeyler	Antibakteriyel yüzeyler oluşturma	Hücre canlılığını azaltma Beyin bariyeri bütünlünü bozma ve oksidatif stres

Silisyum dioksit (SiO_2) nanopartiküller:

Silisyumdioksit (SiO_2), silisyum elementinin oksijenle tepkimeye girmesiyle oluşmaktadır. Silisyum dioksit silis ya da kuvars olarak da bilinmekte ve doğada kum ve kuvars şeklinde bulunmaktadır. SiO_2 kendi ağırlığının %120' si kadar nem çekme özelliği sayesinde, genellikle beton malzemelerin dayanımını arttırmak amacıyla kullanılmaktadır (Yılmaz, 2014).

Nano silisyum dioksit, uçucu kül ve çimento partiküllerinin aralarındaki gözeneklerin dolmasını sağlayarak, içeriğinde büyük uçucu kül hacmi bulunan betonlarda basınç dayanımının büyük oranda artmasını sağlayabilir. Nano-silika, silika dumanına göre (mikrosilika) harç zamanını azaltır ve sağladığı iyileşme ile ayrışmayı azaltır. (Olar, 2011) Nano silikanın, aşınma karşıtı, kaymama, yangından koruma ve yansımayı önleme gibi birçok fonksiyonu bulunmaktadır (Daryoush ve Darvish, 2012).

Yapılan deneylerde ultra ince SiO_2 nanopartiküllerinin insanlar için kanser yapıcı madde olduğu belirtilmiştir. SiO_2 nanopartiküllerine maruziyetin alveoler hücre toksisitesine sebep olduğu ve sıçanlarda tümör oluşmasına neden olan genleri uyardığı ortaya çıkarılmıştır. Suda yüksek oranlarda bulunan silika nanoparçacıklarının da bakterilerde hasar oluşturduğu bildirilmiştir (Lee ve diğerleri, 2009).

Çizelge 4.4. Silisyum dioksit nanopartiküllerin kıyas tablosu (yazar tarafından oluşturulmuştur)

Nanopartikül	Kullanıldığı yerler	Özellik	Dezavantaj
Silisyum Dioksit	Beton	Dayanıklı beton malzemeler üretme, Aşınma, kayma, yangın ve yansıma karşıtı	Kanser Yapıcı etki Akciğerlerde iltihaplanma Sıçanlarda tümör oluşturma Bakterilere hasar verme

Alüminyum oksit (Al_2O_3) nanoparçacıklar:

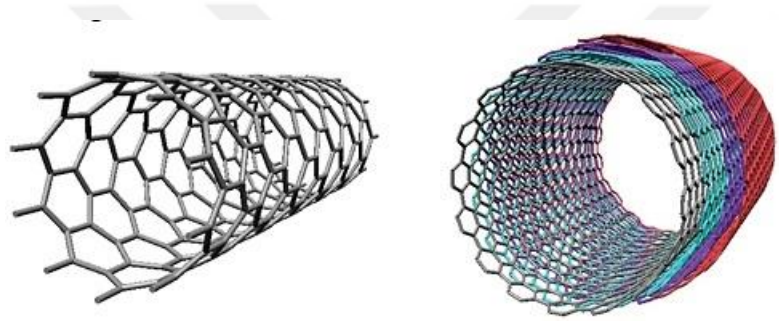
Alüminyum oksit (Al_2O_3), doğada korundum (az miktarda demir, magnezyum silis içeren ve oldukça sert olan doğal alüminyum oksit) olarak bulunan, alüminyumun oksijenle yakılması veya hidroksit, nitrat veya sülfatın ısıtılmasıyla elde edilen maddedir. Suda hemen hemen hiç çözünmeyen Al_2O_3; yüksek sertlik, düşük yoğunluk, ısısal kararlılık, korozyon direnci gibi üstün özelliklere sahiptir. Doğada en fazla boksit cevherinde bulunan Al_2O_3' in %90'ı, alüminyum üretiminde kullanılmaktadır. Al_2O_3 nanoparçacıklar, beton malzemelerin eğilme ve çekme dayanımını güçlendirmek, kaplamalarda ve seramiklerde yangın dayanımı arttırmak, yüksek ısı ve ışık yansıtma değerleri ile aydınlatma elemanları gibi alanlarda kullanılmaktadır. Alüminyum oksitler çok yüksek konsantrasyonlarda olmadığı sürece daha az toksik özellik gösteren maddelerden biridir. Ancak alüminyum oksit tozunun solunmasının akciğerler üzerinde oluşturduğu etkiye dair kanıtlanmış bilgiler mevcut değildir (URL-34).

Çizelge 4.5. Alüminyum oksit nanopartiküllerin kıyas çizelgesi (yazar tarafından oluşturulmuştur)

Nanopartikül	Kullanıldığı yerler	Özellik	Dezavantaj
Alüminyum oksit (Al_2O_3)	Beton Kaplamalar Seramikler Aydınlatma elemanları	Dayanıklı beton malzemeler üretme Yangın dayanımını artırma Isıs ve ışık yansıtma	-

Karbon nanotüpler

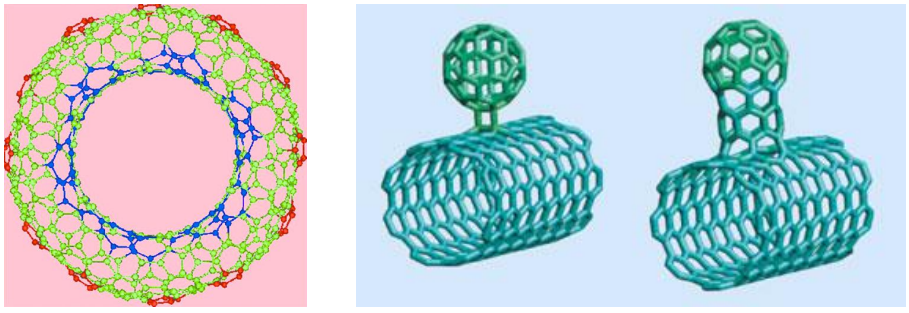
Karbon Nanotüp, nanoölçekte bir çapı olan, karbon esaslı, tüp şeklinde, grafen yapısında tek atom kalınlığında yalnızca karbon-karbon bağlarından oluşan, bal peteği şeklinde sıkıca paketlenmiş bir malzemedir. (Şekil 4.4.) Karbon Nanotüpler, farklı tabakalardan oluşan bir yapıya sahiptir. Tek duvarlı ve çok duvarlı nanotüpler, nanotorus ve nanobudlar olarak dört kısımda incelenebilir. Tek Duvarlı Nanotüplerin (TDKNT) çoğu, yaklaşık 1 nanometre çapa sahiptir ve bu durum çok daha uzun tüp boyutları anlamına gelmektedir. Tek duvarlı nanotüplerin yapısı, grafen olarak isimlendirilen tek atomdan oluşan bir grafit tabakasının silindire sarılması ile ifade edilebilir.



(a) (b)

Şekil 4.4. a) Tek duvarlı karbon nanotüpler, b) Çok duvarlı karbon nanotüpler (URL-35)

Çok duvarlı nanotüplerin yapıları iki şekilde tanımlanabilir. (Şekil 4.4.) Birincisi, biri küçük diğeri daha büyük iç içe geçirilmiş eş merkezli silindirlerden (İki duvarlı KNT) oluşur. Diğeri ise ikiden daha fazla silindirin iç içe geçirilmesiyle oluşur. Tek duvarlı ve çok duvarlı nanotüplerin özellikleri birbirinden farklılık gösterir.



(a) (b)

Şekil 4.5. a) Nanotorus, b) Nanobudlar (URL-36) (URL-37)

Nanotorus donut şekli verilmiş (Şekil 4.5.) karbon nano tüpler olarak tanımlanabilir. Nanotorusların, belirli yarıçaplarda beklenenden 1000 kat daha büyük manyetik momentler sağlaması gibi birçok benzersiz özelliği olduğu tahmin edilmektedir. Manyetik moment, termal stabilite türü özellikler, tüpün yarıçapına bağlı olarak büyük oranda değişkenlik gösterebilir. Nanotorus parçacıkları nano-fotonik uygulamalarında ümit vericidir.

Karbon Nanobudlar, iki karbon allotropunu, karbon nanotüpler ile fullerenleri birleştiren yeni oluşturulmuş bir malzeme olmakla birlikte hem fullerenlerin hem de karbon nanotüplerin faydalı özelliklerini taşımaktadır (Şekil 4.5.). Bu yeni malzemede fullerene benzer tomurcuklar karbon nanotüpün dış yan duvarlarına kovalent olarak bağlanır (Varshney, 2014).

Karbon nanotüpler, tüpün boyu doğrultusunda çekilme dayanımı oldukça yüksek malzemelerdir, hasar oluşmadan dayanabilirler. Yaklaşık 1-2 nm çapındaki karbon nanotüplerden oluşan bir demeti koparabilmek amacıyla uygulanan çekme kuvveti yaklaşık 36 GPa (Gigapaskal) büyüklüğündedir. Bu büyüklük günümüzde bilinen en sağlam malzeme özelliğini ifade etmektedir. Karbon nanotüplerle oluşturulmuş liflerin gerilme dayanımı çok yüksektir ve elmas kadar dayanıklı olmakla birlikte çok yüksek elastik modülleri (1,0-1,4 TPa) bulunmaktadır. En yüksek dayanımlı çelik alaşımının 30 katı daha güçlüdürler ve bunun yanında düğüm olabilecek kadar esnek malzemelerdir. Yoğunlukları, alüminyumun yarısı ve çeliğin altıda biri kadardır. 3000 °C’ ye kadar kararlı yapıları bozulmaz (Yılmaz, 2014).

Karbon nanotüpler (KNT); Yapılan deneylerde tek duvarlı karbon nanotüplerin, fare ve sıçanlarda dokular arası iltihaplanma ve çeşitli anomalilere sebep olabildiği gözlemlenmiştir. Başka bir deneyde ise tek duvarlı nanotüplerin sıçanlarda akciğerlerde iltihaplanmaya oluşturduğu gözlemlenmiştir. Yavru gökkuşağı balıkları üzerinde yapılan bir araştırmada ise tek duvarlı karbon nanotüplerin solungaçalarda ödem, hücre artışları ve değiştirilmiş mukosit gözlemlenmiştir.

Karbon nanotüplerin memelilerde pulmoner toksisiteye sebep olabileceği belirtilmiştir. KNT'ler, direkt fiziksel etkileşim ya da hücre duvarı hasarına neden olan oksidatif stres yolu ile antibakteriyel özellik gösterirler (Lee ve diğerleri, 2009).

Çizelge 4.6. Karbon nanotüplerin kıyas çizelgesi (yazar tarafından oluşturulmuştur)

Nanopartikül	Kullanıldığı yerler	Özellik	Dezavantaj
Karbon nanotüpler	Beton Plastikler	- Betonda basınç dayanımı ve eğilme mukavemetinin artırılması, - Elektrik ve ısıl iletkenliği olmayan elyaf takviyeli plastiklerin üretilmesi	- Dokular arası iltihaplanmave anomaliler - Akciğerlerde iltihaplanma

Kuantum noktalar

Yapılan deneylerde canlı hücrelerin toksisitesinin kuantum noktalardan etkilenmesinin bileşim, boyut, yüzey yükü ve kuantum noktaların kaplanması faktörlerine bağlı olduğu gözlemlenmiştir. Araştırmacılar bir deneyde daha küçük (2.2 ± 0.1 nm), pozitif yüklü kuantum noktaların aynı şartlarda daha büyük (5.2 ± 0.1 nm), eşit derecede yüklü kuantum noktalara kıyasen daha güçlü sitotoksisite ortaya koyduğu belirtilmiştir. Kuantum noktaların sitotoksisitesi ışığa maruz kalma ve sıcaklıktan da etkilenmektedir. Kuantum noktaların bir kadmiyum sülfür (CdS) matrisinde 37 °C sıcaklıkta kanser hücrelerine toksik olduğunu, ancak 4 ° C sıcaklıkta toksik olmadığı gözlemlenmiştir (Hristozov and Malsch, 2009).

Kuantum noktalar, içeriğinde kadmiyum, kurşun ve çinko gibi ağır metaller bulunan ve floresan nanopartiküllerdir. Çekirdek metallerin salınımı, kuantum noktaların hem bakteri hem de memeli hücrelerinde toksisitenin birincil sebebidir. Bazı yüzey kaplamalarının memeli hücrelerinde toksik etki oluşturduğu gözlemlenmiştir. Kuantum noktalar toksisiteye ek olarak, oksidatif stres, nükleik asit hasarı ve sitotoksisiteye belli etkenlere bağlı olarak neden olabilmektedir (Lee ve diğerleri, 2009).

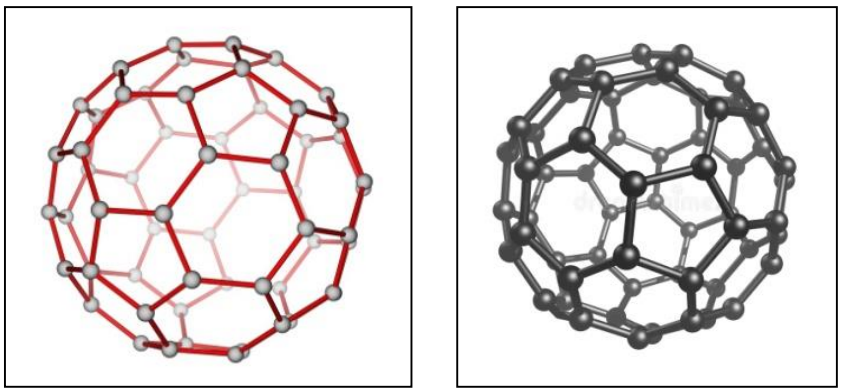
Çizelge 4.7. Kuantum Noktaların kıyas çizelgesi (yazar tarafından oluşturulmuştur)

Nanopartikül	Kullanıldığı yerler	Özellik	Dezavantaj
Kuantum Noktalar	Aydınlatma, LED'ler, güneş panelleri, elektronik ve bilgisayar uygulamaları	Aydınlatmada enerji tasarrufu sağlama	Hücrelerde toksisite, oksidatif stres, nükleik asit hasarı ve sitotoksisite

C60 fullerenler

Fullerenler, ilk olarak 1985 yılında deneysel olarak keşfedilmiştir. Amerikalı mimar Buckminster Fuller'in bir yapısında kullandığı, jeodezik kubbeye benzediği için adını alan, Buckminsterfullerene, bir grup bilim adamı tarafından gözlemlenmiştir. Bu keşfin hemen sonrasında da farklı sayıda atomlarla diğer fullerenler keşfedilmiştir. (Şekil 4.6.) 60 karbon atomu içeren Buckyball fullerenlerin en çok bilinenidir. Laboratuvar ortamında, He ortamında karbonun buharlaştırılması ile elde edilen C60, kolay ve ucuz şekilde üretilebilmektedir. Fullerenler antioksidan özellikleri sebebiyle medikal sektöründe sıkça kullanılmaktadır. Güneş pilleri, hidrojen depolama özelliği nedeniyle yakıt depoları ve tungsten disülfit ile birlikte kurşungeçirmez yelek yapımında kullanılmaktadır (URL- 38).

Fullerenlerin mimarlıkta en çok kullanıldığı yerler güneş hücreleridir. Organik güneş pillerinin üretiminde kullanılarak çok daha esnek ve binanın birçok farklı yüzeyine uygulanabilme özelliği gösterirler.



Şekil 4.6. Fullerenler, (URL- 39) (URL- 40)

Yapılan deneylerde C60 fullerenlerin toksikolojik etkilerinin, canlı organizmalarda oksidatif strese neden olabilecekleri gözlemlenmiştir. Bir deneyde erkek melez köpeklerde 18 damar yolu uygulamasından sonra oksidatif stres belirtilerinde ciddi artış gözlemlenmiştir. Sıçanlarda maruz kaldıktan 1 gün sonra beyaz kan hücrelerinin sayısında artma ve 1 hafta sonra oksidatif stres değerlerinde önemli bir artış saptanmıştır (Hristozov and Malsch, 2009).

Çizelge 4.8. C60 Fullerenlerin kıyas çizelgesi (yazar tarafından oluşturulmuştur)

Nanopartikül	Kullanıldığı yerler	Özellik	Dezavantaj
C60 Fullerenler	Güneş pilleri	Yüksek verimlilik ve esnek kullanım imkânı	Oksidatif stres

Mimarlıkta kullanılan bazı nanopartiküller ile ilgili hazırlanan tablolarda, birçok nanopartikülün insan sağlığı açısından büyük riskler taşıdığı görülmektedir. Elde edilen bulguların birçoğu hayvan deneylerinden elde edilmiş bulgulardır. İnsan sağlığı konusundaki etkilerinin kesin olarak bilinmesi için detaylı deneylerin yapılması gerekmektedir. Sağlık açısından zararsız gibi görünen nanopartiküller de daha fazla araştırılmalı ve risklerinin olup olmadığı ortaya konulmalıdır. Nanopartiküllerin mimarlıkta kullanımıyla ilgili tartışılması gereken bir başka konu da yapılı çevrelerdeki nanopartiküllerin insan vücuduna ne ölçüde nüfuz ettiğidir. Örnek olarak dış cephede kullanılmış kendi kendine temizleme özelliği bulunan bir nanokaplama, bina içindeki kullanıcıların vücuduna ne derece nüfuz edebilir? Bu soruların yanıtlanması gerekmekte ve kullanım kararlarının bu testlerin sonuçlarına göre verilmesi gerekmektedir.

Çizelge 4.9. Genel değerlendirme çizelgesi

Nanopartikül	Kullanım Alanı	Kullanım Amacı	Sağlık üzerindeki etkisi
Titanyum Dioksit (TiO_2)	- Kaplamalar - Pencereler - Boyalar - Seramik yüzeyler - Cam yüzeyler - Nanotüp güneş pilleri - Beton	- Fotokatalizle kendi kendini temizleme - Antibakteriyel yüzeyler oluşturma - Buhar oluşumunu engelleme - Güçlü beton üretimi - Şeffaf yapı bileşenleri için yansıma önleyici kaplamalar, - Dayanıklı boyalar, - Anti-grafiti kaplamalar, - Isı kontrolü,	- Grup 2B Kanserojeni - Kan beyin bariyerinde yüksek toksik etki - Akciğerlerde ödem ve iltihaplanma - Hücre ve dokularda birikerek toksik hale getirme

Çizelge 4.9. (devam) Genel değerlendirme çizelgesi

		- Su itici yapılar, - Farklı dalga bantlarında ışığın yansıtılması ve iletilmesinde kullanılır.	
Gümüş	Kaplamalar Seramik yüzeyler Cam yüzeyler	Antibakteriyel yüzeyler oluşturma	Hücre canlılığını azaltma Beyin bariyeri bütünlünü bozma ve oksidatif stres
Silisyum Dioksit (SiO_2)	Beton	Dayanıklı beton malzemeler üretme	Kanser Yapıcı etki Akciğerlerde iltihaplanma Sıçanlarda tümör oluşturma Bakterilere hasar verme
Alüminyum oksit (Al_2O_3)	Beton Kaplamalar Seramikler Aydınlatma elemanları	Dayanıklı beton malzemeler üretme Yangın dayanımını artırma Isıs ve ışık yansıtma	-
Karbon nanotüpler	Beton Plastikler	- Betonda basınç dayanımı ve eğilme mukavemetinin artırılması, - Elektrik ve ısıl iletkenliği olmayan elyaf takviyeli plastiklerin üretilmesi	- Dokular arası iltihaplanma ve anomaliler - Akciğerlerde iltihaplanma
Kuantum Noktalar	Aydınlatma, LED'ler, güneş panelleri, elektronik ve bilgisayar uygulamaları	Aydınlatmada enerji tasarrufu sağlama	Hücrelerde toksisite, oksidatif stres, nükleik asit hasarı ve sitotoksisite
C60 Fullerenler	Güneş pilleri	Yüksek verimlilik ve esnek kullanım imkânı	Oksidatif stres

Yapılı çevrelerde kullanılan nanomalzemelerin temel yapı taşlarını oluşturan nanopartiküllerin mimaride kullanım alanları, avantajları ve olumsuz özellikleri genel değerlendirme tablosunda kıyaslanmıştır. Bu tabloya göre yapılı çevrelerde en yaygın kullanım alanına sahip olan nanopartikül (TiO_2) titanyum dioksittir. Titanyum dioksit nanopartiküller binalarda birçok farklı alanda kullanılabilmekte ve birçok üstün özellik gösterebilmektedir. Bununla birlikte insan sağlığı ve çevre üzerinde en fazla olumsuz etkiye sahip olan da yine (TiO_2) nanopartiküllerdir. Canlı hücrelerde toksisite, akciğerlerde iltihap oluşturma ve kanserojen olma gibi birçok olumsuz özellik taşıdığı görülmektedir.

Gümüş nanopartiküller anti bakteriyel özellikleri sayesinde bilhassa seramik ve camlı yüzeylerde kullanılmaktadır. Diğer nanopartiküllere kıyasen belli kaplamalarla zararlı özelliklerin giderilebiliyor olması nedeniyle insan sağlığı için daha az zararlı olduğu söylenebilir, ancak hücre canlılığını azaltma, beyin bariyeri bütünlünü bozma ve oksidatif stres kaynağı oluşturma etkileri yine de söz konusudur.

Silisyum dioksit (SiO_2) nanopartiküller beton harçlarında kullanılarak, betona çeşitli üstün özellikler kazandırmaktadır. Canlı hücrelerde, kanser yapıcı etki, akciğerlerde iltihaplanma gibi zararlı etkileri bulunmaktadır.

Alüminyum oksit (Al_2O_3) nanopartiküller, beton, kaplamalar, seramikler ve aydınlatma elemanlarında yoğunlukla kullanılırken, yapılı çevrelerde dayanıklı beton malzemelerin üretilmesi, yangına karşı dayanıklılık ve ısı-ışık yansıtma gibi avantajlar sağlamaktadır. (Al_2O_3) nanopartiküllerin canlı hücreler üzerindeki etkilerine dair herhangi bir bilgi tespit edilememiştir.

Karbon nanotüpler, birçok farklı uygulamada kullanılmakla birlikte özellikle beton ve plastiklerde, dayanımı yüksek betonlar ve iletim değerleri düşük plastik malzemelerin üretilmesi gibi üstün katkılar sağlamaktadır. Yapılı çevrelerde kullanılan karbon nanotüplerin bu etkili özelliklerinin yanı sıra canlı hücrelerde dokular arası iltihaplanma ve anomaliler ile akciğerlerde iltihaplanma gibi zararları bulunmaktadır.

Kuantum noktalar özellikle aydınlatma elemanlarında ve elektronik malzemelerde sıklıkla kullanılmakta ve enerji tasarrufu sağlamaktadır. Kuantum noktaların yapılı çevrelerde kullanılması canlı hücrelerde toksisite, oksidatif stres, nükleik asit hasarı ve sitotoksisite gibi dezavantajlara neden olmaktadır. C60 fullerenler güneş pillerinde kullanılmakta yüksek verimlilik ve esnek kullanım imkânı sağlamaktadır. Bu üstün özelliklerin yanında canlı hücrelerde oksidatif stres kaynağı oluşturması zararlı etkilerini ortaya koymaktadır.

Nanoteknolojinin sağladığı üstün ve etkili özellikler, dezavantajlarıyla birlikte değerlendirilmeli ve bu konularda yapılan ar-ge çalışmaları artırılarak yeşil nanomalzemelerin kullanımı yaygınlaştırılmalıdır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Nanoteknoloji 21. yüzyılın devrimsel anlamda yenilikler getiren disiplinlerarası bilim dalıdır. Nanoteknoloji, inşaat sektöründe yepyeni bir dünyanın anahtarlarını kullanıcılarına sunmaktadır. Nano ölçekte üretilen yeni materyallerin eşsiz özellikleri mimarlıkta hem tasarım hem de yapım aşamalarında kullanılarak, bina ömrünü ve yaşam döngüsü maliyetlerini değiştirme potansiyeline sahip, geleceğe yönelik umut verici gelişmelerin yaşandığı bir araştırma alanıdır. Nanoteknoloji binalarda yüksek performans, yüksek verimlilik ve dayanıklılık gibi birçok avantaj sağlamaktadır. Nanoteknoloji gelişmiş ülkelerde 2000'li yıllardan sonra aktif olarak kullanılırken, ülkemizde kullanımı henüz çok fazla yaygınlaşamamıştır.

Konuyla ilgili yapılan araştırmalarda mimarlıktaki nanoteknoloji uygulamalarının odağını kullanılan nano esaslı malzemelerin oluşturduğu görülmüştür. Bununla birlikte nanoteknolojinin gelecekte tasarım anlayışının değişmesi ve farklı formların ortaya çıkarılmasında büyük rol oynayacağı öngörülmektedir (Çizelge 5.1.).

Nanoteknolojinin mimarlıkta etkin şekilde kullanılması, yalnızca nanomalzemelerin ve yapım yöntemlerinin uygulanması ile değil, bununla birlikte biçimlerin ve tasarım yöntemlerinin tekrar ele alınması ile (ultra yüksek performanslı binalar gibi) nanomimarlığın ortaya çıkmasına neden olmuştur.

Çizelge 5.1. Nanoteknolojinin mimarlıktaki etki alanları

Nanomimarlık	
Yeni biçimlerin ortaya çıkması, tasarım anlayışının değişmesi	Benzersiz ve üstün özelliklere sahip yeni malzemelerin üretilmesi

Günümüzde konvansiyonel malzemelere göre geliştirilmiş fiziksel, kimyasal, mekanik ve elektriksel özellikleri bulunan nanomalzemeler mimarlıktaki kullanım alanını ve önemini her geçen gün artırmaktadır. Yalıtım alanında geliştirilen faz değiştiren malzemeler, vakumlu yalıtım panelleri, aerojeller gibi nanomalzemeler çok etkili yalıtım ve enerji korunumu açısından birçok katkı sağlamaktadır. Kendi kendini temizleme, çizilmez ve leke tutmaz yüzeyler, buğulanma ve parmak izi karşıtı özellikleri olan kaplamalar gibi

oldukça etkili yüzeyler nanoteknoloji sayesinde mimarlıkta yerini almıştır. Bu yüzey özellikleri ile birlikte hem enerji etkinliği sağlanmakta, hem de işçilik maliyetlerinde önemli ölçüde tasarruf edilebilmektedir. Çok daha hafif ve güçlü yapısal kompozitler, düşük bakım kaplaması, boru eklenti malzemelerinin ve tekniklerinin geliştirilmesi, çimento esaslı malzemelerde özelliklerin geliştirilmesi, yangın geciktiren malzemeler ve yalıtımda ısı iletim oranlarının düşürülmesi, akustik etkinin artırılması, şeffaf bileşenlerde yansıtıcılığın artırılması, laboratuvarların ve hastanelerin mikroplardan arındırılması, etkin su yalıtımlı yapılar nanoteknolojinin mimarlığa kattığı eşsiz faydalardan bazılarıdır.

Nanoteknoloji uygulamalarında kullanılan yeni nesil yapı malzemeleri ve ürünler, bina yapımında teknoloji seçimlerinin ve tasarımların çevreye ve insan sağlığına duyarlı bir biçimde yapılması adına önemli bir kaynak oluşturmaktadır. Belirli nanomalzemelerin çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkilerini engellemek ya da azaltmak günümüz teknolojisi içerisinde mümkündür. Önümüzdeki yıllarda yapılacak araştırmalar sayesinde farklı malzemelerin de nanoölçümünün kontrolü ve manipülasyonundaki artışla geleneksel inşaat kuralları ile bina performansları ve görünüşleri de değişebileceği gibi insan sağlığı ve çevreye olan duyarlılıkları da belirlenebilecektir. Teknoloji ve tasarım arasındaki temel ilişki bağlamında, nanotek yenilikler tasarım ve üretim süreci arasındaki etkileşimleri belirleyerek, yalnızca yeni materyalleri değil, aynı zamanda yeni mimari kavramları da ortaya çıkaracaktır.

Yapılan araştırmalar nanomalzemelerin sağladığı bu üstün avantajların yanı sıra çevre ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilerinin de bulunduğunu ortaya koymaktadır. Malzemeler nano ölçekte çok farklı fiziksel özellikler göstermektedirler. Nanopartikülleri böyle umut verici yapan farklı özellikler aynı zamanda ekosistemler ve canlılar üzerinde muhtemel etkilere sahiptir. Bunun yanında nanopartiküllerin çok küçük boyutta olmaları sebebiyle tespit ve kontrol edilmesi günümüz teknolojisi düşünüldüğünde çok fazla yaygınlaşamamıştır. Nanopartiküller daha büyük boyutlu partiküllere göre daha toksik olabilmektedir. İnsan vücudunda nanopartikül maruziyeti 4 farklı yolla olmaktadır. Nanopartiküller soluma, sindirim (yutma), dermal ve enjeksiyon yoluyla insan vücuduna nüfuz edebilmektedir. Nanopartiküllerin insan sağlığı için risk oluşturmasının sebeplerinden bazıları, büyük boyutlu parçacıklara oranla solunum yollarında toplanma ihtimalinin daha fazla olması, nano boyutlarda olmaları sebebiyle hücre zarından geçebilmeleri, boyutlarına göre yüzey alanının çok fazla olmasından dolayı biyolojik

açıdan daha aktif olabilmeleri, aynı malzemenin daha büyük boyutlu parçacıklarına göre daha toksik olabilmeleri, uzun süre havada asılı kalabiliyor olmaları, dokularda birikerek gecikmiş toksisiteye sebep olabilmeleri, aynı malzemenin nano boyutta farklı özellikler sergilemesidir (örnek olarak altın, nanoboyutlarda kırmızı renklidir.)

Nanopartiküllerin insan sağlığına olan etkileri ile ilgili oluşan endişelerin giderilebilmesi ve kesin bilgilerin ortaya konulabilmesi adına bu konuda yapılan çalışmaların ve deneylerin büyük ölçüde artırılması gerekmektedir. Yapılan araştırmaların bu konudaki hazırlanmış veri tabanına katkıları çık büyüktür. Ancak bununla birlikte oldukça yetersiz olduğu söylenebilir. Özellikle yapılı çevrelerde kullanılan nanomalzemelere ne şekilde maruz kalınabileceği konusu araştırılması gereken önemli konulardan biridir. Nanoteknoloji esaslı ürünlerin kullanımı ile ilişkili risk faktörleri son derece açık olmalı, uluslararası düzeyde yapılacak düzenlemelerle belirlenmeli ve tasarımcıların farkındalığına sunulmalıdır.

Yeşil nanoteknoloji, nanoteknolojinin sağladığı üstün nanomalzemeleri, çevreye ve insan sağlığına zarar vermeden, güvenli bir şekilde kullanabilmeye olanak sağlayacaktır. Nanomalzemelerin toksik maddeler içermeksizin çevreye ve insan sağlığına zararsız olması, daha az ve yenilenebilir enerji kullanımı, tasarımlarda yaşam döngüsü konseptinin uygulanması, atıklar, su ve hava kirliliği için temizlik faktörü olması, çevresel kirliliğin izlenebilmesi, yakıt tasarrufu ve malzeme tüketimini azaltacak yeni taşıtların ortaya çıkması gibi özellikler yeşil nanoteknoloji olarak tarif edilebilir. Yeşil nanoteknolojilerin mimarlıkta kullanılması insan ve çevre sağlığı başta olmak üzere yapılı çevrelerde büyük faydalar sağlayacaktır. Bu sayede hem nanoteknolojinin getirmiş olduğu üstün özellikler mimarlıkta kullanılarak malzeme konusunda bir devrim yaşanmış olacak, hem de insanlar ve çevre için zararlı ögeler kullanılmamış olacaktır.

KAYNAKLAR

Abdellatif, A. A. (2010). *Towards sustainable architecture with nanotechnology*, Al-Azhar Engineering Eleventh International Conference, Cairo, Egypt.

Abudayyak, M. (2015). *Bazı Metal Bazlı Nanomateryallerin Toksik Etki Potansiyellerinin Araştırılması,* Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Açıksarı, C.ve Karasu, B. (2018). Akıllı Camlar ve Teknolojik Gelişimleri. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5(2), 437-457.

Alam, M., Singh, H. and Limbachiya, M. C. (2011). Vacuum Insulation Panels (VIPs) for building construction industry–A review of the contemporary developments and future directions, *Applied energy*, 88(11), 3592-3602.

Allam, S. (2014). Nanoscience and Nanotechnology in Architecture. *International Journal of Scientific & Engineering Research,* 5 (11), 478-488.

Altın, M. ve Aşıkoğlu, A. (2014). Sürdürülebilir Yapılarda Aerojel Kullanımı, *Yalıtım Dergisi*, 123, 58-70.

Atwa, H. M., Al-Kattan, A. and Elwan, A. (2015). Research Article Towards Nano Architecture: Nanomaterial In Architecture- A Review Of Functions And Applications, *International Journal of Recent Scientific Research,* 6(4), 3551-3564.

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

Bayrakçı, H.C., Davraz, M. ve Başpınar, E. (2011). Yeni Nesil Isı Yalıtım Malzemesi: Vakum Yalıtım Paneli, *SDU Teknik Bilimler Dergisi*, 1(2), 1-12.

Baetens, R., Jelle, B.P. and Gustavsen, A. (2011). Aerogel insulation for building applications: A state-of-the-art review, *Energy Build*, 43, 761-769.

Berk, S. ve Akkurt, İ. (2012). Nanopartikül: Geleceğin korkulu rüyası. *Tuberk Toraks*, 60(2), 180-184.

Buzea, C., Blandino, I. and Robbie, K. (2007). Nanomaterials and nanoparticles: Sources and toxicity, *Biointerphases*, 2(4), 17-71.

Candemir, B., Beyhan, B. ve Karaata, S. (2012). İnşaat Sektöründe Sürdürülebilirlik: Yeşil Binalar ve Nanoteknoloji Stratejileri, İMSAD ve TÜSİAD ortak yayını, yayın no: İMSAD-R/2012-11/374. *İstanbul*, 23-76.

Cengiz, G. (2017, 19-22 Nisan). *Nanoteknolojik Malzemelerin Binalarda Sürdürülebilirliğe Katkısının İncelenmesi*, 13. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir.

Cramer, S., Tacke, S., Bornhorst, J., Sachan, A. K., Klingauf, J., Schwerdtle, T. and Galla, H. J. (2014). The Influence of Silver Nanoparticles on the Blood-Brain and the Blood Cerebrospinal Fluid Barrier in vitro. *Nanomed Nanotechnol*, 5(5), 225.

Daryoush, B. and Darvish, A. (2012). A Case Study and Review of Nanotechnology and Nanomaterials in Green Architecture, *Research Journal of Environmental and Earth Sciences,* 5(2), 78-84.

Das, B. B. and Mitra, A. (2014). Nanomaterials for Construction Engineering-A Review. *International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing,* 2(1), 41-46.

Demirdöven, J.B. (2012). Yapılarda ve Yapım Yönetiminde Nanoteknoloji Uygulamaları. *2. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi*, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Urla, İzmir.

Dhingra, R., Naidu, S., Upreti, G. and Sawhney, R. (2010). Sustainable Nanotechnology: Through Green Methods and Life-Cycle Thinking. *Sustainability*, 2(1), 3323-3338.

El-Samny, M. F. (2008). *Nano Architecture Nanotechnology and architecture*. Master's Thesis, University of Alexandria, Eygpt, 31-72.

Elvin, G. (2007). Nanotecnology for Green Building, Green Technology Forum

Eisazadeh, N. and Allacker, K. (2016). Nanotechnology and Its Impact on Sustainable Architecture. Guillaume Habert, Arno Schlueter (Eds), *Expanding Boundaries - Systems Thinking in the Built Environment*. Zurich. Sustainable Built Environment (SBE) Regional Conference, 688-694.

Gao, T., Gustavsen, A. and Jelle, B. P. (2010). Nanoelectrochromics with Applied Materials and Methodologies. *Zero emission buildings- proceedings of Renewable Energy Conference*, 61-71. Trondheim, Norway.

Ge, Z. and Gao, Z. (2008). Applications of nanotechnology and nanomaterials in construction. Bittnar, Z., Bartos, P.J.M., Nemecek, J., Smilauer, V., Zeman, J. (Eds), *Nanotechnology in Construction 3,* Chennai, India. Proceedings of the NICOM3, 235-240.

Goffredo, G. B. (2013). *Smart surfaces for Architectural Heritage: self-cleaning titanium dioxide nano-coatings on travertine*. Doctoral School on Engineering Sciences Università Politecnica delle Marche.

Gür, M. (2010). Nanomimarlık Bağlamında Nanomalzemeler. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi,* 15(1), 81-90.

Harman, S. (2011). *Nanoteknolojinin Mimariye Etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 37-47.

Helland, A. (2004). *Nanoparticles: A Closer Look at the Risks to Human Health and the Environment, Perceptions and Precautionary Measures of Industry and Regulatory Bodies in Europe*. Master's thesis. IIIEE, Lund University, 1-12.

Hristozov, D. and Malsch, I. (2009). Hazards and Risks of Engineered Nanoparticles for the Environment and Human Health. *Sustainability*, 1(2), 1161-1194.

İnternet:URL-1: Jetson Green Kule URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.jetsongreen.com%2F2008%2F06%2Fnano-vent-skin.html, Son Erişim tarihi: 13.07.2018.

İnternet:URL-2: Tek duvarlı karbon nanotüp içeren hidrate olmuş Portland çimentolu kompozit malzemedeki çatlağın nanotüplerle engellenmesi URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.betonvecimento.com%2Fbeton-2%2Fbeton-ve-nanoteknoloji, Son Erişim tarihi: 13.07.2018.

İnternet:URL-3: Elektrokromik cam katmanları URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fhome.howstuffworks.com%2Fhome-improvement%2Fconstruction%2Fgreen%2F+smart-window4.htm, Son Erişim tarihi: 13.07.2018.

İnternet:URL-4: Lotus etkisi ile kendi kendini temizleme özelliği URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.hk-phy.org%2Fatomic_world%2Flotus%2Flotus02_e.html, Son Erişim tarihi: 13.07.2018.

İnternet:URL-5: Hidrofilik ve Hidrofobik yüzeyler URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.hk-phy.org%2Fatomic_world%2Flotus%2Flotus02_e.html, Son Erişim tarihi: 13.07.2018

İnternet:URL-6 . Süperhidrofilik yüzey özellikleri URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Ffigure%2FSchematic-showing-the-self-cleaning-phenomena-on-superhydrophilic-surface_fig1_269515796, Son Erişim tarihi: 13.07.2018.

İnternet:URL-7: Lotus bitkisinin üzerindeki su damlalarını hareket ettirerek kendinden uzaklaştırması URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fsites.psu.edu%2Fabcdesigns%2F2014%2F04%2F11%2Fself-cleaning-paints-lotus-leaf%2F, Son Erişim tarihi: 13.07.2018.

İnternet:URL-8: Ara Pacis Müzesi URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.richardmeier.com%2F%3Fprojects%3Dara-pacis-museum-2, Son Erişim tarihi: 13.07.2018.

İnternet:URL-9: Fotokataliz olayının çalışma prensibi URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.yapi.com.tr%2Furun haberleri%2Fbaumit-nanopor-photokat+125613.html, Son Erişim tarihi: 13.07.2018.

İnternet:URL-10: G-Flat Binasında Fotokatalitik nanokaplama kullanılması URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.archdaily.com%2F266997%2Fg-flat-architecture-workshop%2F50384a6828ba0d445400002f_g-flat-koh-kitayama-architecture-workshop_gflt_020_-jpg%2F, Son Erişim tarihi: 13.07.2018.

İnternet:URL-11: Leke tutmayan ve kolay temizlenen yüzeyler URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.polyrise.com%2Fproducts%2Fcleanrise-easy-to-clean-coatings%2F%3Flang%3Den, Son Erişim tarihi: 13.07.2018.

İnternet:URL-12: Leke tutmayan ve kolay temizlenen yüzeyler URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Ffuturemarketsinc.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2018%2F01%2FNano-textile-1100x733.jpg, Son Erişim tarihi: 13.07.2018.

İnternet:URL-13: Antibakteriyel malzeme kullanımı URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fnanokar.com%2Fblog%2Fkategori%2FAntimikrobiyal-Haber-Bulteni-1.html, Son Erişim tarihi: 13.07.2018.

İnternet:URL-14: Antigrafiti malzeme kullanımı URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.grandetr.com%2Fcategory%2F57%2Fanti-graffiti-koruyucular+, Son Erişim tarihi: 13.07.2018

İnternet:URL-15: Aerojel yalıtım malzemesi URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.techeblog.com%2Findex.php%2Ftech-gadget%2F5-mind-bending-videos-of-aerogel-the-world-s-lightest-material, Son Erişim tarihi: 13.07.2018

İnternet:URL-16 Aerojel yalıtım malzemesi URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.aerogel.org%2F%3Fp%3D3, Son Erişim tarihi: 13.07.2018.

İnternet:URL-17: Aerojel esaslı ısı yalıtm örtüleri, URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.apartmenttherapy.com%2Faerogel-emerging-ecofriendly-i-111377, Son Erişim tarihi: 13.07.2018.

İnternet:URL-18: Aerojel esaslı ısı yalıtm örtüleri, URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.cafr.ebay.ca%2Fitm%2FSuper-Light-Silica-Aerogel-Insulation-Hydrophobic-Mat-++Lightest-Solid-200x150x10-%2F262873560740, Son Erişim tarihi: 13.07.2018.

İnternet:URL-19: Solar Dekatlon öğrenci yarışması 2007 URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.solardecathlon.gov%2Fpast%2F2007, Son Erişim tarihi: 13.07.2018.

İnternet: URL-20: Icarus Binasında Aerojel içeren ETFE paneller URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Ffranca-trubiano.squarespace.com%2Fsd-test%23%2Fnew-page-76%2F, Son Erişim tarihi: 13.07.2018.

İnternet:URL-21: Icarus Binasında Aerojel içeren ETFE paneller URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Ffranca-trubiano.squarespace.com%2Fsd-test%23%2Fnew-page-76%2F, Son Erişim tarihi 13.07.2018.

İnternet:URL-22: Icarus Binasında Aerojel içeren ETFE paneller URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Ffranca-trubiano.squarespace.com%2Fsd-test%23%2Fnew-page-76%2F, Son Erişim tarihi 13.07.2018.

İnternet:URL-23: Vakumlu yalıtım paneli örnekleri URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.tesisatmarket.com%2Fceviri%2Fvakum-yalitimli-paneller-buzdolabi-geri-donusum-sektoru-icin-iddial, Son Erişim tarihi: 13.07.2018.

İnternet:URL-24: Vakumlu yalıtım paneli örnekleri URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.greenbuildingadvisor.com%2Fblogs%2Fdept%2Fenergy-solutions%2Fdoes-vacuum-insulation-make-sense, Son Erişim tarihi: 13.07.2018.

İnternet:URL-25: Vakumlu yalıtım paneli örnekleri URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Ftruthweek.com%2F2018%2F03%2F01%2Fworld-vacuum-insulation-panel-vip-market-manufacturer-2018, Son Erişim tarihi: 13.07.2018

İnternet:URL-26: Nanojel dolgulu çoklu duvar paneli kullanımı URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fdocplayer.net%2F2984129-Www-mastteam-it-enrico-ercolani-department-of-industrial-engineering-via-del-politecnico-1-00133-rome-italy-enrico-ercolani-uniroma2.html, Son Erişim tarihi: 13.07.2018

İnternet:URL-27: LED aydınlatma elemanları URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.mygreenlighting.co.uk%2Ffurniture_lights%2Funder_cabinet_lights_round%2F1656.html Son Erişim tarihi: 13.07.2018.

İnternet:URL-28: LED aydınlatma elemanları URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.alibaba.com%2Fproduct-detail%2FModern-outdoor-plastic-LED-illuminated-pillar_60696581322.html%3Fspm%3Da2700.7724857.normalList.133.288b530bnXlomb, Son Erişim tarihi: 13.07.2018

İnternet:URL-29: LED aydınlatma elemenları URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.comm.com.tr%2F, Son Erişim tarihi: 13.07.2018

İnternet:URL-30: Kuantum Noktalarla üretilen aydınlatma elemanları URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.metalurji.org.tr%2Fdergi%2Fdergi160%2Fd160_3134.pdf, Son Erişim tarihi: 13.07.2018

İnternet:URL-31: UV ışınlara karşı kullanılan ince film yalıtımı URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.circuitstoday.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2011%2F06%2FThin-Film-Solar-Cell.jpg, Son Erişim tarihi: 13.07.2018.

İnternet:URL-32: Nanotechnology Safety and Health Program URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.ors.od.nih.gov%2Fsr%2Fdohs%2FDocuments%2FNanotechnology%2520Safety%2520and%2520Health%2520Program.pdf, Son Erişim tarihi: 16.07.2018.

İnternet:URL-33: Titanyum dioksit maddesi URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fdrebru.com%2FTR%2Funt%2Farticles%2Fkozmetik-icerikler%2Ftrgzellik-sorusu-titanyum-dioksit-nedirenbeauty-question-titanium-dioxide%2F, Son Erişim tarihi: 13.07.2018.

İnternet:URL-34: Alüminyum oksit nanopartiküllerin özellikleri URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fnanopartikel.info%2Fen%2Fnanoinfo%2Fmaterials%2Faluminium-oxides%2Foverview, Son Erişim tarihi: 13.07.2018.

İnternet:URL-35: Tek duvarlı ve çok duvarlı karbon nanotüpler URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fuwaterloo.ca%2Ffoldvari-group%2Fresearch-program%2Fdrug-delivery, Son Erişim tarihi: 13.07.2018

İnternet:URL-36: Nanotorus URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Ffigure%2FThe-geometry-of-a-nanotorus-Reprinted-from-Sun-71_fig1_258404108, Son Erişim tarihi: 13.07.2018

İnternet:URL-37: Nanobudlar URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fsocratic.org%2Fquestions%2Fwhat-are-the-three-allotropes-of-carbon-also-explain-their-internal-structures, Son Erişim tarihi: 13.07.2018

İnternet:URL-38: Fullerenler URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fmalzemebilimi.net%2Ffullerenler-buckyballs.html, Son Erişim tarihi: 13.07.2018.

İnternet:URL-39: Fullerenler URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2F+https%3A%2F%2Fpixers.com.tr%2Fcikartmalar%2Ffulleren-c60-molekuler-yapi-38468913, Son Erişim tarihi: 13.07.2018

İnternet:URL-40: Fullerenler URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.dreamstime.com%2Fstock-photo-fullerene-c60-

image23786180++https%3A%2F%2Fwww.dreamstime.com%2Fstock-photo-fullerene-c60-image23786180, Son Erişim tarihi: 13.07.2018.

İnternet:URL-41: Moleküler kurgulu ev URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.johnmjohansen.com%2FFuture-of-Architecture.html, Son Erişim tarihi: 02.08.2018.

İnternet:URL-42: Çok katlı apartman URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.ona.vg%2Fvision%2Fmultistoryapartment.html, Son Erişim tarihi: 02.08.2018.

İstif, M. ve Coşkunses, F.I. (2014). Nanomalzemeler ve Tehlikeleri. Editör: Fazıl Aydın. İş Sağlığı ve Güvenliği Uygulamaları Rehberi. Çalışma Ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı Yayın No: 09, 269.

John, G., Croome, D. and Jeronimidis, G. (2005). Sustainable building solutions: a review of lessons from the natural world. *Building and Environment,* 40(3), 319-328.

Kazanasmaz, T. ve Diler, Y. (2011). *Gelişmiş cam teknolojileri ile enerji etkinliğin değerlendirmesi*. VI. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, İzmir, 84-93.

Keskin, S.S., (2015). Atmosferik Nanopartiküllerin Sağlık ve Çevre Etkileri, 20. Mevcut Ölçüm Teknikleri. *6. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu*, İzmir, 469-479.

Konuklu, Y. ve Paksoy, H.Ö. (2011). *Faz Değiştiren Maddeler ile Binalarda Enerji Verimliliği,* X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 919-930.

Kothari, Y. ve Dewalkar, S. (2016). Application of Nanotechnology in Smart Civil Structures. *International Journal of Technical Research and Applicatons,* 4(3), 13-17.

Leone, M. F. (2012). Nanotechnology for Architecture. Innovation and Eco-Efficiency of Nanostructured Cement-Based Materials Architectural Engineering Technology. *Architec Eng Technol*, 1(1), 102.

Leydecker, S. (2008). *Nanomaterials in Architecture, Interior Architecture and Design*, Berlin, Almanya, Birkhäuser Verlag, 72-172.

Mahdy, M. (2012). Nano Architecture Applying Nano Materials on Built Environment. *2nd Internatıonal Conference on Quality Of Life a Vision Towards Better Future,* Egypt, 1-17.

Mohamed, A. S. Y. (2015). Nano-innovation in construction, A new era of sustainability, *International Conference on Environment And Civil Engineering*, Pattaya (Thailand) 95-114.

Moreno, S. H. and Torre, S.C. (2017). Nano-Technological Products In Architecture And Construction. *HOLOS,* 33(2), 35-51.

Moreno, S. H. and Torre, S.C. (2017). Applications of Nanocomposites in Architecture and Construction. *Contexto*, XI (14), 63-75.

Olar, R. (2011). Nanomaterials and Nanotechnologies For Civil Engineering. Buletinul Insitutului Politehnic Dın Iaşi Publicat De Universitatea Tehnică Gheorghe Asachi Din Iaşi Tomul LIV (LVIII), Fasc. 4, 110-117.

Orhon, A.V. (2012). Akıllı Malzemelerin Mimarlıkta Kullanımı, *Ege Mimarlık Dergisi*, Aralık sayısı, 18-21.

Orhon, A.V. (2014). Kendini Temizleyen Cephe Sistemleri, *7. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumunda sunuldu*, YTÜ, İstanbul, 1-9.

Parthenopoulou, M. ve Malindretos, M. (2016). The use of innovative materials in innovative architectural applications. Combining forces for high performance structures. *12th International Conference on Nanosciences & Nanotechnologies & 8th International Symposium on Flexible Organic Electronics*, 3(3), 898-912.

Pekmezci, B. Y. ve Atahan, H. N. (2014). Kimyasal ve Nano Katkılar: Betonda Kullanımı ve Beton Performansına Etkileri. *Hazır Beton Dergisi*, Mayıs-Haziran, 69-82.

Report of the WHO expert meeting. (2012, December, 10-11). Nanotechnology and human health: Scientific evidence and risk governance. Bonn, Germany, 21-33.

Sarı, A. (2011). Faz Değişimi Yoluyla Isıl Enerjinin Depolanması Ve Bu Alanda Yapılan Çalışmalar. *Kimya Öğrencileri Araştırma Projesi Eğitimi Çalıştayında sunuldu*, Çanakkale 18 Mart Üniversitesi, Çanakkale.

Sarıköse, M. and Arslan Selçuk, S. (2018, April, 24-27) *Towards a Nanotechnologically Built Environment: A Review on Nanomaterial Usage in Architecture*, 3rd International Conference on Civil and Environmental Engineering (ICOCEE-Çeşme), 280-292.

Saurav. (2012). Aplication of Nanotechnology in Building Materials. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 2(5), 1077-1082.

Sev, A., Ezel, M. (2014). Nanotechnology Innovations for the Sustainable Buildings of the Future. World Academy of Science, *Engineering and Technology International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering*, 8(8), 886-896.

Sharma, H. S., Ali, S. F., Hussain, S. M.,Schlager, J. J. and Sharma, A. (2009) Influence of engineered nanoparticles from metals on the blood-brain barrier permeability, cerebral blood flow, brain edema and neurotoxicity. An experimental study in the rat and mice using biochemical and morphological approaches. *Nanosci Nanotechnol* 9, 5055-5072.

Simpson, J., Hunter, S. and Aytug, T. (2015). Superhydrophobic materials and coatings: a review. *Reports on Progress in Phys*ics, 78(1), 14-15.

Song, Y., Li, X. and Du, X. (2009). Exposure to nanoparticles is related to pleural effusion, pulmonary fibrosis and granuloma. *Eur Respir J,* 34(1), 559-67.

Torgal, F. and Jalali S. (2011). Nanotechnology: Advantages and drawbacks in the field of construction and building materials. *Construction and Building Materials,* 25(1), 582–590.

Trouiller, B., Reliene, R., Westbrook, A., Solaimani, P. and Schiestl, R. H. (2009). Titanium dioxide nanoparticles induce DNA damage and genetic instability in vivo in mice. *Cancer Research,* 69(22), 8784-8789.

Tunca, E.Ü. (2015). Nanoteknolojinin Temeli Nanopartiküller ve Nanopartiküllerin Fitoremediasyonu. *Ordu Üniv. Bil. Tek. Derg*., 5(2), 23-34.

Varshney, K. (2014). Carbon Nanotubes: A Review on Synthesis, Properties and Applications, International *Journal of Engineering Research and General Science*, 2 (4), 660-677.

Weir, A. A. (2011). *TiO_2 Nanomaterials: Human Exposure and Environmental Release*. Master's thesis. Arizona State University, USA.

Yılmaz, S. (2014). *Nanomalzemelerin mimaride kullanım olanakları*. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 21-90.

Yılmaz, S. ve Vural, N. (2015). Sürdürülebilir Yapıların Tasarlanmasında Nanoteknolojinin Rolü, *II. Uluslararası Sürdürülebilir Bina Sempozyumu*, Gazi üniversitesi, Ankara, 294-302.

Yılmaz, Y. (2013). *Farklı Başlangıç Maddeleri Kullanılarak Sol-Jel Yöntemiyle Monolitik Silika Aerojel Ve Silika Aerojel Sentezi Ve Karakterizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-2.

Yüksek, İ. ve Mıhlayanlar, E. (2015, 28-3 Mayıs). Yaşam Döngüsü Sürecinde Yapı Malzemesi Çevre Etkileşimi. *2nd International Sustainable Buildings Symposium*, Gazi Üniversitesi, 975-983.

Zhu, W., Partos, P.J.M. and Porro, A. (2004). Application of Nanotechnology in Construction. *Materials and Structures*, 37(4), 649-658.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : SARIKÖSE, Melek

Uyruğu : T.C.

Doğum tarihi ve yeri : 31.01.1985, Bandırma

Telefon : 0 (543) 603 00 15

e-mail : melekkmeb@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Mimarlık	Devam ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi / Mimarlık	2009
Lise	Adnan Hunca Ç.P. L.	2002

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Sarıköse, M., Arslan Selçuk, S., (2018) *Towards a Nanotechnologically Built Environment: A Review on Nanomaterial Usage in Architecture*, 3rd International Conference on Civil and Environmental Engineering (ICOCEE-Çeşme) April, 24-27

Hobiler

Kitap okumak, seyahat etmek



GAZİ GELECEKTİR...