

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİMARLIK ANABİLİM DALI

NANOMALZEMELERİN MİMARİDE KULLANIM OLANAKLARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mimar Semih YILMAZ

HAZİRAN 2014

TRABZON

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MİMARLIK ANABİLİM DALI

NANOMALZEMELERİN MİMARİDE KULLANIM OLANAKLARI

Mimar Semih YILMAZ

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“YÜKSEK MİMAR”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih :22.05.2014

Tezin Savunma Tarihi :12.06.2014

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Nilhan VURAL

Trabzon 2014

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Mimarlık Anabilim Dalında

Semih YILMAZ Tarafından Hazırlanan

NANOMALZEMELERİN MİMARİDE KULLANIM OLANAKLARI

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 27/ 05/ 2014 gün ve 1555 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Nihan ENGİN

.....
.....

Üye : Yrd. Doç. Dr. Şirin KURBETCİ

.....

Üye : Yrd. Doç. Dr. Nilhan VURAL

.....
.....

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

“Nanomalzemelerin Mimaride Kullanım Olanakları” isimli bu araştırma, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Tez çalışmam süresince bilgi ve deneyimleriyle beni yönlendiren danışmam hocam Yrd. Doç. Dr. Nilhan VURAL’ a; KTÜ Mimarlık Bölümü Yapı Bilgisi Anabilim Dalı’nda görevli tüm öğretim elemanlarına; öğrenim hayatım boyunca edindiğim mesleki bilgilerim için KTÜ Mimarlık Bölümü ailesine; tez çalışmam süresince destek ve yardımlarıyla yanımda olan değerli arkadaşlarım ve aileme teşekkür ederim.

Semih YILMAZ

Trabzon 2014

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Nanomalzemelerin Mimaride Kullanım Olanakları” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Yrd. Doç. Dr. Nilhan VURAL’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 22/05/2014

Semih YILMAZ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ BEYANNEMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VIII
SUMMARY.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.1.1. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	2
1.2. Nanoteknoloji.....	3
1.2.1. Nano Kavramı ve Nano Ölçek	3
1.2.2. Nanoteknoloji Kavramı.....	5
1.2.3. Nanoteknolojinin Tarihsel Gelişimi	7
1.2.4. Nanoteknolojinin Amacı ve Yararları	10
1.2.5. Nanoteknoloji ve Potansiyel Riskler.....	11
1.2.6. Nanoteknolojinin Kullanım Alanları	13
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	18
2.1. Literatür Çalışması..	18
2.1.1. Nanoteknolojinin Mimaride Kullanımı	19
2.1.1.1. Nanomalzemeler	20
2.1.1.1.1. Nanokompozitler	27
2.1.1.2. Nanoteknoloji ve Strüktür Uygulamaları	28
2.1.1.2.1. Nanoteknoloji ve Beton Strüktür Uygulamaları	29
2.1.1.2.2. Nanoteknoloji ve Çelik Strüktür Uygulamaları	32
2.1.1.2.3. Nanoteknoloji ve Ahşap Strüktür Uygulamaları	35
2.1.1.2.4. Nanoteknoloji ve Yeni Nesil Strüktür Uygulamaları.....	36
2.1.1.2.5. Strüktür Uygulamalarında Nanoteknoloji Kullanımı Analiz Tablosu.....	37
2.1.1.3. İşlevsel Nanokaplamalar.....	39
2.1.1.3.1. Kendi Kendini Temizleyen Nanokaplamalar.....	40

2.1.1.3.1.1	Lotus Etkisiyle Kendi Kendini Temizleyen Nanokaplamalar.....	41
2.1.1.3.1.2.	Fotokatalitik Etkiyle Kendi Kendini Temizleyen Nanokaplamalar..	47
2.1.1.3.2.	Kolay Temizlenen Nanokaplamalar.....	58
2.1.1.3.3.	Havayı Temizleyen Nanokaplamalar.....	61
2.1.1.3.3.1	İç Mekanda Havayı Temizleyen Nanokaplamalar.....	62
2.1.1.3.3.2	Dış Mekanda Havayı Temizleyen Nanokaplamalar.....	65
2.1.1.3.4.	Buğu Tutmayan Nanokaplamalar.....	68
2.1.1.3.5.	Bakteri Karşıtı Nanokaplamalar.....	71
2.1.1.3.6.	Parmak İzi Tutmayan Nanokaplamalar.....	76
2.1.1.3.7.	UV Işınlardan Koruyan Nanokaplamalar.....	78
2.1.1.3.8.	Çizilmeyen ve Aşınmaya Dirençli Nanokaplamalar.....	81
2.1.1.3.9.	Kaplama Uygulamalarında Nanoteknoloji Kullanımı Analiz Tablosu.....	83
2.1.1.4.	Nanoteknoloji ve Yalıtım Uygulamaları.....	85
2.1.1.4.1.	Nanoteknoloji ve Isı Yalıtım Uygulamaları.....	85
2.1.1.4.1.1.	Aerojel Isı Yalıtım Malzemeleri.....	87
2.1.1.4.1.1.1.	Aerojel Isı Yalıtım Örtüleri.....	89
2.1.1.4.1.1.2.	Aerojel Dolgulu Paneller.....	90
2.1.1.4.1.1.3.	Aerojel İnce Filmler.....	91
2.1.1.4.1.2.	Vakumlu Isı Yalıtım Panelleri.....	93
2.1.1.4.1.3.	Isı Yalıtımı Uygulamalarında Nanoteknoloji Kullanımı Analiz Tablosu.....	102
2.1.1.5.	Nanoteknoloji ve Fotovoltaik Paneller.....	106
2.1.1.6.	Diğer Nano Malzemeler.....	115
2.1.1.6.1.	Nano Yapıştırıcılar.....	115
2.1.1.6.2.	Nano Plastikler.....	119
2.1.1.6.3.	Nano Aydınlatma Elemanları.....	122
2.2.	Ön Araştırmalar.....	124
2.2.1.	Veri Toplama ve Örneklerin Seçimi.....	124
2.2.2.	Yapı Analiz Tablolarının Oluşturulması.....	125
2.2.2.1.	Yapıya Ait Bilgiler.....	125
2.2.2.2.	Kullanılan Nanomalzeme ve Uygulama Bilgileri.....	126
3.	BULGULAR VE İRDELEME.....	128

3.1.	Yapıya Ait Bilgiler ile İlgili Bulgular ve İrdeleme.....	128
3.2.	Kullanılan Nanomalzeme ve Uygulama Bilgilerine Ait Bulgular ve İrdeleme.....	130
4.	SONUÇLAR.....	140
4.1.	Nanomalzemelerin Yapılarda Kullanımı ile İlgili Sonuçlar.....	140
4.2.	Genel Sonuçlar.....	141
5.	KAYNAKLAR.....	143
6.	EKLER.....	162
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

NANOMALZEMELERİN MİMARİDE KULLANIM OLANAKLARI

Semih YILMAZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Nilhan VURAL
2014, 162 Sayfa, 41 Ek Sayfalar

Atom ve moleküllerin bir araya getirilmesi ile nanoölçekte işlevli yapıların oluşturulması “*nanoteknoloji*” olarak tanımlanmaktadır. Nanoteknolojiyi bilinen tüm diğer teknoloji alanlarından ayıran en önemli özelliği “atomik düzeyde hassasiyettir”. Moleküler düzeyde atom atom dizilmiş ve tasarlanmış yapıların ulaşabileceği mükemmel yakın “hatasızlık/kusursuzluk” niteliği nanoteknoloji ile ilgili beklentileri yükseltmektedir.

Nanoteknoloji disiplinler arası bir bilim dalıdır. Özellikle malzeme bilimindeki gelişmeler mimariyi de yakından etkilemektedir. Nanoteknoloji, geleneksel yöntemler ile üretilen malzemelere oranla daha sağlam, daha kaliteli, daha uzun ömürlü, daha hafif ve daha küçük yapıların geliştirilmesine olanak tanımaktadır.

Bu çalışmada mimaride kullanılan ve yakın gelecekte kullanılma potansiyeli bulunan nanomalzemeler incelenmiş; nanomalzemelerin uygulama alanı bulunduğu başlıklarda örnek yapılar analiz edilmiştir. Amaç, yeni bir sanayi ve bilgi devrimi olarak 21. yüzyıla damgasını vuracağı tartışılan nanoteknolojiyi ve nanoteknoloji ürünü nano malzemeleri, mimarideki kullanım olanakları açısından irdelemektir.

Dört bölümden oluşan çalışmada mimaride nanomalzemeler kullanılarak geleneksel malzemeler ile çözülemeyen pek çok soruna çözüm bulunabileceği; strüktürel olarak daha hafif, daha dayanımlı, daha geniş açıklıklar geçebilen sistemlerin kurgulanabileceği; farklı işlevlere sahip kaplamaların malzeme kullanımında avantajlar sunacağı, daha ince kalınlıklarda daha etkili ısı yalıtımı sağlanabileceği sonuçlarına ulaşılmıştır. Bununla birlikte nanoteknoloji ile ilgili çalışmalar sürdüğü için maliyetler yüksektir ve olası potansiyel riskler nedeniyle insan ve çevre sağlığı üzerine çalışmalar devam etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Nanoteknoloji, mimarlık, nano-ölçek, nanomalzeme

Master Thesis

SUMMARY

APPLICATIONS OF NANOMATERIALS IN ARCHITECTURE

Semih YILMAZ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Architectural Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Nilhan VURAL
2014, 162 Pages, 41 Pages Appendix

Described as the manipulation of molecular structures, nanotechnology is differentiated with respect to its main focus on the direct control of matter on atomic scale. There is an increasing expectation on the possibility of ‘perfection’ thanks to once seemingly impossible idea of designing atoms and their relationships at molecular levels.

Being a multidisciplinary realm, nanotechnology has impacts on architecture, with the developments on material knowledge in particular. Nanotechnology gives opportunities to develop structures that are sounder, better in quality, have longer life-expectancy, lighter in weight, and smaller in size than those that have developed with traditional techniques.

Nanomaterials which are currently in use and will be available in the near future in architecture have been researched, and buildings that have nanomaterial applications have been analysed in this study. The aim of the study is examining the usage possibility of nanotechnology, a new industrial and information revolution of the 21st century, and nanomaterials, product of nanotechnology, in architecture.

This study, which consists of 4 sections, have reached the conclusions such as: the usage of nanomaterials can provide solutions for issues that cannot be solved with traditional materials; structurally lightweight, more durable, wider-spanning systems can be designed; coatings that have different properties can provide advantages in material usage; thinner material thicknesses can provide better insulation. In addition, costs are high due to continuing studies on nanotechnology, and potential risks on human wealth and environment is a subject of ongoing researches.

Key Words: Nanotechnology; architecture; nano-scale; nanomaterials;

ŞEKİLLER DİZİNİ

		<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. 1.	1 metre = 10^3 Milimetre = 10^6 Mikrometre = 10^9 Nanometre.....	4
Şekil 1. 2.	Nanometre boyutunu anlatan görseller.....	4
Şekil 1. 3.	Nanomalzeme kullanımına yönelik tarihi örnekler, kilise cam süslemeleri ve Lycurgus' un kupası.....	8
Şekil 1. 4.	Xe atomundan IBM yazısı.....	9
Şekil 1. 5.	Nanoteknoloji kullanım alanlarının şematik gösterimi.....	13
Şekil 2. 1.	A-Grafit, B-Grafen levha, C-Karbon nanotüp.....	25
Şekil 2. 2.	Karbon nanotüp türleri, A-Koltuk, B- Zikzak, C-Bükük.....	26
Şekil 2. 3.	Matrisle güçlendirilmiş ve tabakalanmış nanokompozitler.....	27
Şekil 2. 4.	Kendi kendini onaran beton matrisin şematik gösterimi.....	32
Şekil 2. 5.	Nanoteknolojik çelik ve geleneksel çelik dayanım grafiği.....	33
Şekil 2. 6.	Geleneksel çelik donatı örgüsü ile Nanoteknolojik çelik donatı örgüsü.....	34
Şekil 2. 7.	Su seven, su sevmeyen ve süper-su sevmeyen yüzeylerin şematik gösterimi.....	41
Şekil 2. 8.	Lotus yaprağının nanoboyutlarda yüzeyi ve yüzeyde bulunan çıkıntıların şematik gösterimi.....	42
Şekil 2. 9.	Lotus yaprağı yüzeyinde su damlacıkları.....	43
Şekil 2. 10.	Lotus yaprağı yüzeyinde su damlacığı hareketinin şematik gösterimi.....	43
Şekil 2. 11.	Nanoboyutlu, pürüzlü yüzey ile su teması şematik gösterimi.....	44
Şekil 2. 12.	Peptit molekülleri kullanılarak lotus etkili yüzey oluşumun şematik gösterimi, nanoboyutlarda peptit yüzeylerin görüntüsü.....	45
Şekil 2. 13.	Lotus etkili nanokaplama uygulanmış cam, seramik ve metal yüzeylerde su damlacıklarının aldığı şekil.....	45
Şekil 2. 14.	Lotus etkili boya uygulanmış müstakil bir konut, Palu-Hırvatistan...	46
Şekil 2. 15.	Lotus etkili boya uygulanmış yüzeyin mikro boyutlarda yapısı, lotus etkili yüzeyde su damlacıklarının yüzeyi temizleme hareketi...	46
Şekil 2. 16.	TiO ₂ in fotokatalitik, klorofilin fotosentez etkisi.....	48
Şekil 2. 17.	Fotokatalitik etkili nanokaplama uygulanmış malzeme yüzeylerinde temizlenme süreci aşamaları.....	49

Şekil 2. 18.	Kendi kendini temizleme özelliğine sahip nanokaplama uygulanmış ve uygulanmamış cam malzeme yüzeyinde su hareketi.	50
Şekil 2. 19.	Helen De Vos Çocuk Hastanesi, Michigan-ABD.....	51
Şekil 2. 20.	Ge Plaza Kubbesi, Vancouver-KANADA.....	52
Şekil 2. 21.	Fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleme özelliğine sahip nanokaplama uygulanmış ve uygulanmamış membran malzeme.....	52
Şekil 2. 22.	Hyatt Regency Garden Şapel, Nacional Mané Garrincha Stadyumu.	53
Şekil 2. 23.	Casalgrande Padana Tasarım Merkezi, İtalya.....	54
Şekil 2.24.	Fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleme özelliğine sahip nanokaplama uygulanmış ve uygulanmamış kiremit malzeme.....	55
Şekil 2.25.	Fotokatalitik etkiye sahip nanokaplama uygulanmış ve uygulanmamış beton yüzey.....	55
Şekil 2.26.	Vodafone Ofis Binası, Milano- İtalya.....	56
Şekil 2.27.	Fotokatalitik etkili boya uygulanmış malzeme yüzeyinde gerçekleşen temizlenme olayının şematik gösterimi.....	57
Şekil 2.28.	Umberto-I tüneli ve beton gürültü duvarları, Roma-İtalya.....	57
Şekil 2.29.	Kolay temizlenen nanokaplama uygulanmış ve uygulanmamış malzeme yüzeyinde su damlacıklarının şematik gösterimi.....	58
Şekil 2.30.	Kolay temizlenen nanokaplama uygulanmış malzeme yüzeyinde su damlacıklarının hareketi.....	59
Şekil 2.31.	Kolay temizlenen nanokaplama uygulanmış yüzey ile uygulanmamış yüzey görüntüsü.....	59
Şekil 2.32.	Kolay temizlenen nanokaplamaların yapılarda kullanımına yönelik örnekler.....	60
Şekil 2.33.	Havayı temizleyen nanokaplamaların yüzeyinde gerçekleşen kimyasal olayların şematik gösterimi.....	63
Şekil 2.34.	İç mekanda havayı temizleme özelliğine sahip boya ile gerçekleştirilmiş uygulama örnekleri.....	64
Şekil 2.35.	Havayı temizleme özelliğine sahip alçı ve alçı uygulanmış yüzeyler.....	64
Şekil 2.36.	Havayı temizleme özelliğine sahip perde uygulaması.....	65
Şekil 2.37.	The Manuel Gea González Hastanesi, Meksiko-Meksika.....	66
Şekil 2.38.	Tree Mural in Bologna, Bologna-İtalya.....	67
Şekil 2.39.	Jean Bleuzen Caddesi, Vannes-Fransa.....	67
Şekil 2.40.	Hotel de Police, Bordeaux-Fransa.....	68

Şekil 2.41.	Buğu tutmayan nanokaplama(TiO_2) uygulanmış ve uygulanmamış yüzeylerde su damlacıklarının zaman içerisinde aldığı şekil.....	70
Şekil 2.42.	Buğu tutmayan nanokaplama uygulamalarına yönelik örnekler.....	71
Şekil 2.43.	Bakteri karşıtı nanokaplama uygulanmış ahşap zemin kaplamaları..	73
Şekil 2.44.	Bakteri karşıtı nanokaplama uygulanmış seramik malzeme uygulamaları.....	74
Şekil 2.45.	Bakteri karşıtı nanokaplama uygulanmış seramik malzeme uygulamaları.....	75
Şekil 2.46.	Bakteri karşıtı etkiye sahip kumaş ve perde.....	75
Şekil 2.47.	Parmak izi tutmayan nanokaplama uygulanmış ve uygulanmamış cam yüzeyi.....	77
Şekil 2.48.	Parmak izi tutmayan nanokaplama uygulama örnekleri.....	77
Şekil 2.49.	İnorganik UV koruyucu nanokaplama uygulanmış, uygulanmamış ahşap yüzeylerin 6 aylık kullanım sonrası karşılaştırılması.....	79
Şekil 2.50.	UV koruyucu nanokaplama uygulanmış ahşap malzeme kullanım örnekleri.....	80
Şekil 2.51.	UV koruyucu nanokaplama uygulanmış yüzeyler, doğal taş, metal ve seramik.....	80
Şekil 2.52.	Çizilme ve aşınma dayanımı kazandırılmış yüzeyin şematik gösterimi.....	82
Şekil 2.53.	Kendi kendini temizleyen, UV koruyucu ve çizilme dayanımına sahip nanokaplama uygulanmış cam malzeme kullanım örnekleri....	82
Şekil 2.54.	Silika aerojelin elektron mikroskop görüntüsü, Silika aerojel.....	87
Şekil 2.55.	Aerojel ısı yalıtım örtüsü, aerojel ısı yalıtım örtüsünün duvar yüzeyine montajı.....	90
Şekil 2.56.	Aerojel dolgulu panel ve uygulama örneği.....	91
Şekil 2.57.	İnce film ısı yalıtım malzemesi, ince film uygulanmış cam.....	92
Şekil 2.58.	Gözenek boyutlarına göre havanın ısı iletim katsayısı değişimi.....	93
Şekil 2.59.	VYP yapısının şematik gösterimi ve içeriği.....	94
Şekil 2.60.	Isı yalıtım uygulamalarında kullanılan geleneksel malzemeler ve VYP.....	96
Şekil 2.61.	Farklı iç dolgu malzemelerinin ısı iletim katsayıları.....	97
Şekil 2.62.	İki VYP arasında oluşan termal(ısı) köprü.....	98
Şekil 2.63.	Isı yalıtım uygulanmasından öncesine ve sonrasına ait yapı görüntüleri.....	99

Şekil 2.64.	VYP' lerin Polistiren ile kaplanması, VYP uygulanmış dış duvar...	100
Şekil 2.65.	VYP uygulanmış yapıya ait cephe görüntüleri.....	100
Şekil 2.66.	VYP uygulanmış yapı dış duvar kesiti.....	101
Şekil 2.67.	VYP sandviç panel çeşitleri.....	102
Şekil 2.68.	Dünya üzerine düşen güneş ışınlarının dağılımı.....	107
Şekil 2.69.	Fotovoltaik sistem bileşenleri.....	108
Şekil 2.70.	Silikon esaslı fotovoltaik hücre, modül, panel ve dizi.....	109
Şekil 2.71.	Fotovoltaik panellerin çatıda kullanımına yönelik örnekler.....	110
Şekil 2.72.	Fotovoltaik panellerin cephede kullanımına yönelik örnekler.....	111
Şekil 2.73.	Fotovoltaik panellerin yapıdan bağımsız kullanımına yönelik örnekler.....	112
Şekil 2.74.	7 katmandan oluşturulan, standart bir silikon esaslı güneş pilinin şematik gösterimi.....	113
Şekil 2.75.	6 katmandan oluşturulan, organik malzeme esaslı ince film güneş pilinin şematik gösterimi.....	114
Şekil 2.76.	İnce film güneş pili ve uygulama biçimi.....	115
Şekil 2.77.	Cam yüzeyine tırmanan geko, gekoların ayak yapısı, gekoların ayaklarında bulunan, nanoboyutlu kıl yapıları.....	118
Şekil 2.78.	Gekolardan ilham alınarak oluşturulan, nanoboyutlu yüzey yapısı...	119
Şekil 2.79.	Plastik malzeme üretim, kullanım ve geri dönüşüm döngüsü.....	122
Şekil 2.80.	Nanoteknoloji ile üretilen plastik malzeme.....	122
Şekil 3. 1.	Analiz edilen yapılarda kullanılan nanomalzemelerin kullanım alanlarına göre dağılımı.....	132
Şekil 3. 2.	Strüktür uygulamalarında nanomalzeme kullanılan yapıların sürtüktür sistemlerine göre dağılımı.....	138
Şekil 3. 3.	Analiz edilen yapılarda kullanılan nanomalzemelerin uygulama başlıklarına göre dağılımı.....	139

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Nanoparçacıkların, mimaride kullanılan kompozit malzemelere kazandırdığı öne çıkan özellikler.....	24
Tablo 2.2. Strüktür sistemlerinde nanoteknoloji uygulamaları.....	38
Tablo 2.3. Kaplama uygulamalarında nanoteknoloji kullanımı.....	83
Tablo 2.4. Silika aerojelin, silika esaslı madde olan camla kıyaslanması.....	88
Tablo 2.5. Aerojel ince film ısı yalıtım malzemesi teknik özellikleri (airglass).....	92
Tablo 2.6. Isı yalıtım uygulamalarında nanoteknoloji kullanımı.....	103
Tablo 2.7. Aerojel ısı yalıtım örtüsü ile geleneksel ısı yalıtım malzemelerinin karşılaştırılması.....	104
Tablo 2.8. Vakumlu ısı yalıtım örtüsü ile geleneksel ısı yalıtım malzemelerinin karşılaştırılması.....	105
Tablo 3.1. Analiz edilen yapıların işlevlerine göre dağılımı.....	129
Tablo 3.2. Analiz edilen yapıların yapım yerlerine göre dağılımı.....	130
Tablo 3.3. Analiz edilen yapıların nanomalzeme uygulama yıllarına göre dağılımı.....	131
Tablo 3.4. Analiz edilen yapılarda kullanılan nanomalzemelerin boyutlarına göre dağılımı.....	133
Tablo 3.5. Analiz edilen yapılarda kullanılan nanomalzemelerin kullanım yerlerine göre dağılımı.....	134
Tablo 3.6. Analiz edilen yapılarda kullanılan nanomalzemelerin kullanım amaçlarına göre dağılımı.....	135
Tablo 3.7. Analiz edilen yapılarda kullanılan nanomalzemelerin kullanım biçimlerine göre dağılımı.....	136
Tablo 3.8. Analiz edilen yapılarda kullanılan nanomalzemelerin nano yapılarına göre dağılımı.....	137
Ek Tablo 1. Yapı analiz tablosu örneği.....	163
Ek Tablo 1.1. Gärtnerplatzbrücke Köprüsü analiz tablosu.....	164
Ek Tablo 1.2. Kaliforniya Bilim Akademisi analiz tablosu.....	165
Ek Tablo 1.3. Escala Condominiums analiz tablosu.....	166
Ek Tablo 1.4. Vizcayne Condo Miami analiz tablosu.....	167
Ek Tablo 1.5. Acute hastanesi analiz tablosu.....	168
Ek Tablo 1.6. Freundorf villası analiz tablosu.....	169

Ek Tablo 1.7.	Underhill evi analiz tablosu.....	170
Ek Tablo 1.8.	Air France yönetim binası analiz tablosu.....	171
Ek Tablo 1.9.	İtalcementi ar-ge merkezi analiz tablosu.....	172
Ek Tablo 1.10.	ELE genel merkez binası yapı analiz tablosu.....	173
Ek Tablo 1.11.	Am Kaiser' s Turm analiz tablosu.....	174
Ek Tablo 1.12.	Kayar ev(shift house) analiz tablosu.....	175
Ek Tablo 1.13.	NBV ofis binası analiz tablosu.....	176
Ek Tablo 1.14.	Sir John Lyon evi analiz tablosu.....	177
Ek Tablo 1.15.	Dallas kovboyları stadyumu analiz tablosu.....	178
Ek Tablo 1.16.	Armidale adliye binası analiz tablosu.....	179
Ek Tablo 1.17.	Forest Lodge ekolojik evi analiz tablosu.....	180
Ek Tablo 1.18.	One World ticaret merkezi analiz tablosu.....	181
Ek Tablo 1.19.	Jubilee Kilisesi analiz tablosu.....	182
Ek Tablo 1.20.	Milenyum sağlık merkezi analiz tablosu.....	183
Ek Tablo 1.21.	La Vecchia okulu analiz tablosu.....	184
Ek Tablo 1.22.	Araç park alanı analiz tablosu.....	185
Ek Tablo 1.23.	The Westin Gaslamp Oteli analiz tablosu.....	186
Ek Tablo 1.24.	Ritz Carlton Oteli analiz tablosu.....	187
Ek Tablo 1.25.	Eski değirmen evi analiz tablosu.....	188
Ek Tablo 1.26.	İmparatorluk savaş müzesi analiz tablosu.....	189
Ek Tablo 1.27.	Bozeman kütüphanesi analiz tablosu.....	190
Ek Tablo 1.28.	Hamilton Stage gösteri merkezi analiz tablosu.....	191
Ek Tablo 1.29.	Metea Valley Lisesi analiz tablosu.....	192
Ek Tablo 1.30.	Omaha North Lisesi analiz tablosu.....	193
Ek Tablo 1.31.	Rosslyn şapeli analiz tablosu.....	194
Ek Tablo 1.32.	Yaşam ve ticaret binası analiz tablosu.....	195
Ek Tablo 1.33.	Höhenweg Zug analiz tablosu.....	196
Ek Tablo 1.34.	Buckingham yolunda 3 ev analiz tablosu.....	197
Ek Tablo 1.35.	Expo 2010 ABD pavyonu analiz tablosu.....	198
Ek Tablo 1.36.	Jako Bau ofis binası analiz tablosu.....	199
Ek Tablo 1.37.	Berlin merkez istasyonu analiz tablosu.....	200
Ek Tablo 1.38.	Toyota parça merkezi analiz tablosu.....	201
Ek Tablo 2.	Analiz edilen örnek yapı görselleri.....	202
Ek Tablo 3.	İncelenen yapılara ait genel analiz tablosu.....	203

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Teknolojinin, hızla gelişmekte olduğu günümüzde birçok alanda önemli dönüşümler yaşanmakta ve insanoğlu her geçen gün yeni kavramlarla tanışmaktadır. Bu kavramların arasında “nanoteknoloji” oldukça önemli bir yere sahiptir. Nanoteknolojinin, hemen hemen tüm sektörlerle getirdiği olanaklar doğrultusunda yaşanan dönüşüm ve yenilikler bir devrim niteliği taşımaktadır. Bu devrim, küresel boyutta yaşanan rekabet ortamında kendisini kullananların bir adım öne geçmesini sağlayacak etkiye sahiptir.

Nanoteknoloji, maddeleri nanoölçekte kontrol edip, atom ve molekül seviyesinde çalışarak, gelişmiş ve/veya tamamen yeni fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklere sahip yapılar elde edilmesine imkân sağlamaktadır.

Nano, fiziksel bir büyüklüğün bir milyarda birini ifade etmek için kullanılır ve nanometre, 1 metrenin milyarda biri ölçüsünde bir uzunluğu temsil etmektedir. Nano ölçek, bilim, mühendislik ve teknolojiyi içeren nanoteknolojinin, maddenin görüntülenmesinin, ölçülmesinin, modellenmesinin, tasarımının gerçekleştirildiği ve yapısının değiştirildiği boyuttur[1, 2, 5].

Nanoteknoloji genel anlamıyla, nanometre ölçeğindeki malzemelerin tasarımını, üretimini, bir araya getirilmesini, tanımlanmasını ve bu malzemelerden elde edilmiş nano ölçekli işlevsel sistemlerin uygulanmasını inceleyen ve hızla gelişen disiplinler arası araştırma-geliştirme faaliyetlerinin tümünü temsil etmektedir[1].

Araştırma, üretim gibi faaliyetlerin nanoteknoloji kapsamında kabul edilebilmesi için genel kabul görmüş ölçütler vardır. Bu ölçütler, yapılan çalışmaların nano ebat aralığında (1-100 nm) gerçekleştirilmesi, geliştirilen yapıların ve sistemlerin üstün özelliklerini nano boyut ve buna bağlı uygulamalar ile kazanmış olmaları, atomik ve/veya moleküler düzeyde bir kontrol, uyarılma veya müdahale sürecinin söz konusu olmasının gerekliliği şeklinde özetlenebilir[3, 4, 5].

Nanoteknolojik gelişmeler ile birlikte 21. yüzyılın giderek bir “nanoteknoloji çağı” olacağı ve geleceğin dünyasının tümüyle “nanoteknoloji” etrafında şekilleneceği öngörülmektedir. Nanoteknoloji sayesinde yapıların, malzeme ve sistemlerin nanoboyutlarda sahip oldukları özelliklerin anlaşılması, kontrolü ve atomik seviyede

değiştirilip işlenmesi sonucunda ortaya çıkan değişik özellikleri kullanarak yeni teknolojik nanoaygıtların, nanomalzemelerin, nanosistemlerin üretilmesi ve bu ürünlerin günlük hayatımızda kullanılabilir hale getirilmesi mümkün olacaktır[3, 4, 5].

Nanoteknolojinin pek çok alanda olduğu gibi mimarlık alanında da köklü bir devrim yaratacağı ve mimarlığın bugün bilinenden çok farklı noktalara erişeceği söylenebilir. Nanoteknolojinin mimaride etkin olarak kullanılması ile özgür biçimler uygulama olanağı bulacak, geçmişin hayali olarak değerlendirilen yapıları gerçeğe dönüşebilecek, yeni malzemeler ve teknolojiler ile yapı adeta yaşayan bir organizma olarak tasarlanabilecektir.

Nanoteknolojinin günümüz mimarisine en somut etkisi malzeme biliminde olmuştur. Nanomalzemelerin kullanımı ile geleneksel malzemeler anlamını yitirecek ve yapı malzemeleri, gelişmiş özellikleri ile nano ölçeklerde tanımlanır hale gelebilecektir. Yapılarda, atom/molekül seviyesinde üretilen nanomalzemeler kullanılacaktır. Biçim, doku, renk, dayanım atom ölçeğinde yeniden belirlenecektir. Yalnızca malzeme değil yapı tasarımı, üretim ve montaj teknikleri ve son ürün olarak yapı özellikleri de büyük değişikliğe uğrayacaktır.

Nanoteknolojinin önemi hakkında en kısa ve anlamlı sayılabilecek ifade, “Horst Stormer” tarafından dile getirilmiştir. Stormer’ a göre nanoteknoloji, insanlığa atomlar ve moleküller ile oynayabilmek için mükemmel bir oyuncak kutusu vermekte ve böylece bu teknoloji ile her şey yapılabilmektedir[6].

1.1.1. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Nanoteknoloji, çağımızın en hızlı gelişen teknolojisidir ve her geçen yıl daha fazla uygulama alanı bulmaktadır.

Nanoteknolojinin önemi, atom ve molekül seviyesinde, 1-100 nanometre boyut aralığında çalışılarak, gelişmiş ve/veya tamamen yeni fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklere sahip ürünler elde edilmesine imkân sağlamasından kaynaklanmaktadır. Oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir ve mimari uygulamalarda en somut etkisini malzeme biliminde göstermektedir. Nanoteknoloji, geleneksel yöntemler ile üretilen malzemelere oranla daha sağlam, daha kaliteli, daha uzun ömürlü, daha ucuz, daha hafif ve daha küçük yapı malzemelerinin geliştirilebilmesine olanak tanımayı amaçlamaktadır.

Nanomalzemelerin mimaride kullanım olanaklarının incelendiği bu çalışmanın amaçları:

1. Kullanım alanı her geçen gün genişlemekte olan ve geleceğin tasarımlarına yön vermesi beklenen nanomalzemelerin özelliklerini, kullanım olanaklarını, uygulama bilgilerini, avantajlarını, dezavantajlarını, mimaride daha çok hangi alanlarda uygulama olanağı bulduğunu; örnek yapıların incelendiği analiz tablolarından da yararlanarak irdelemek,

2. Nanomalzemeler ile geleneksel malzemeler arasında nanoölçekte meydana gelen farkları ortaya koymak,

3. Gelecekte uygulama potansiyeli bulabilecek nanomalzemeler hakkında bilgi vermek,

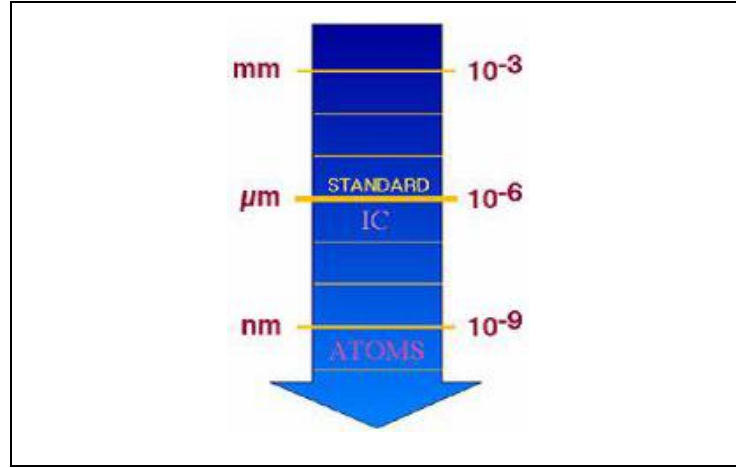
4. Mimaride nanomalzemelerin kullanımı ile ilgili kaynakların dağınık olması ve sayılarının yeterli olmaması nedeniyle araştırmacılara başvurabilecekleri bir kaynak bırakmak, dır.

Bu çalışma, mimaride kullanılan ya da yakın gelecekte kullanım potansiyeli bulunan nanomalzemeleri kapsamaktadır. Mimari uygulamalarda kullanılmayıp diğer disiplinlerde yer bulan nanomalzemeler kapsam dışında bırakılmıştır. Kapsam dahilinde incelenen nanomalzemeler de maliyet analizi ve yapı fiziği sorunları ele alınmamıştır.

1.2. Nanoteknoloji

1.2.1. Nano Kavramı ve Nano Ölçek

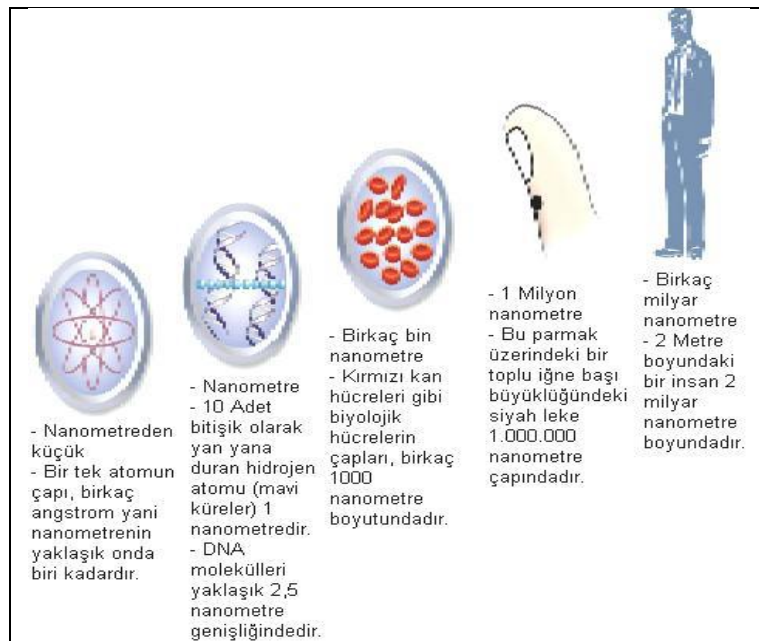
“Nano” kelimesi, Yunanca’ da cüce anlamına gelen “nanos” sözcüğünden türemiştir. Nano, bir fiziksel büyüklüğün milyarda biri anlamında kullanılan bir ön ektir. Nanoteknolojide ölçü birimi olarak kullanılan nanometre ise metrenin milyarda biri olup kısaca ‘nm’ olarak gösterilmektedir (Şekil 1. 1) [1, 2, 7].



Şekil 1. 1 metre = 10^3 Milimetre = 10^6 Mikrometre = 10^9 Nanometre[1].

Bir nanometre içine yan yana ancak 2-3 atom dizilebilir, yaklaşık 100-1000 atom bir araya gelerek nano ölçeklerde bir nesneyi oluşturmaktadır. Örneğin, insan saç telinin çapı yaklaşık 100.000 nm, kandaki alyuvar hücresi 7000 nm, su molekülü ise 0,3 nm genişliğindedir (Şekil 1.2.) [2, 8].

Nano ölçek; bilim, mühendislik ve teknolojiyi içeren nanoteknolojinin, malzemenin görüntülenmesini, ölçülmesini, modellenmesini, tasarımını gerçekleştirdiği ve yapısını değiştirdiği boyuttur[9].



Şekil 1. 2. Nanometre boyutunu anlatan görseller[7].

Nano ölçekteki yapıların farklılıkları sadece ebatlarının küçüklüğü ile ilgili değil, ayrıca nano boyutlarda farklı fiziksel özelliklerin ortaya çıkması ile de ilişkilidir. Boyutlar nanometre ölçeklerine yaklaşırken kuantum mekaniğinin etkisiyle malzemeler, geleneksel yöntemler ile elde edilen makro boyutlu malzemelere göre daha farklı fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklere sahip olmaktadır[10, 11].

Kuantum teorisi ve mekaniği, madde ve enerjinin nano ölçekteki ilişkisini tanımlar. Nano ölçekte madde sadece birkaç atomdan oluşmaktadır ve özelliklerin oluşmasında yüzey atomları baskın rol oynamaktadır. Bu atomların davranışı kuantum fiziği kuralları ile anlaşılabilmektedir[12, 13].

Malzemelerin nano boyuttaki özellikleri iki nedenden dolayı farklı olabilmektedir:

1. Nano boyutlarda malzemelerin sahip olduğu yüzey/hacim oranı, makro boyutlardakine göre daha fazladır. Bu durumda yüzeydeki atomların oranı malzemenin tümüne göre artmakta, malzemenin yüzey enerjisi yükselmekte ve böylece malzeme daha reaktif olmaktadır.

2. Nano boyutlarda ve özellikle nano ölçeğin sınırlarına doğru gidildikçe kuantum etkileri baskın olmaya başlamaktadır ve maddenin optik, elektrik ve manyetik özelliklerini değiştirmektedir[8].

Malzemeyi oluşturan atom sayıları 100'ler düzeyine inince, atomsal yapının geometrisi, hatta atom sayısının kendisi bile fiziksel özelliklerin belirlenmesinde etkili rol oynamaktadır. Nano ölçekteki bir yapıya yeni eklenen her atomun fiziksel özellikler üzerinde neden olduğu değişiklikler, bu atomun cinsine, nano yapının türüne ve geometrisine bağlı olarak belirginleşmektedir. Örneğin, nano yapının iletkenliği, o yapıya tek bir atom eklense bile değişebilmektedir. Yarı iletken olarak bilinen silisyumdan yapılan bir telin çapı nanometreye yaklaşırken tel iletken bir karakter sergilemektedir[2].

1.2.2. Nanoteknoloji Kavramı

Dünya üzerinde bulunan bütün maddeler atomlardan oluşmuştur ve özelliklerini de atomlarının dizilişlerinden alırlar. Maddeleri birbirlerinden farklı kılan şey, en küçük yapıtaşları olan atomların dizilişlerindeki çeşitliliğidir[3]. Nanoteknoloji, maddenin atomik-moleküler boyutta mühendisliğinin yapılarak yeni özelliklerinin açığa çıkarılması; nanometre ölçeğindeki fiziksel, kimyasal ve biyolojik olayların anlaşılması, kontrolü ve üretimi amacıyla işlevsel malzemelerin, yapıların ve sistemlerin geliştirilmesidir[14].

Nanoteknoloji, atom ve molekül yapılarını tek tek değiştirerek, istenilen yapının oluşturulması ilkesine dayanır.

Nanoteknolojik uygulamalarda, atomlar ayrı ayrı işleme tabii tutulmaktadır. Nanoteknoloji de bu bağlamda “çok küçük maddelerin teknolojisi” olmaktadır. Bir malzemenin sahip olduğu özellikler, malzemenin bir ya da daha fazla doğrultudaki büyüklüğü nanometre düzeyine küçültüldüğünde değişmektedir. Malzemenin büyüklüğü nanometre ölçeğine inince, kuantum davranışlar bilinen geleneksel davranışların yerini almakta, üretilen yeni malzemeler geleneksel yöntemler ile elde edilen makro boyutlardaki malzemelere oranla daha önce görülmeyen üstün fiziksel, kimyasal veya biyolojik özelliklere sahip olmaktadır. Örneğin, normalde kırılğan bir malzeme olan seramik, tanecik büyüklüğü nanometre değerine indirildiğinde kolaylıkla deforme olup şekillendirilebilmektedir. 1 nm büyüklüğündeki altın parçacığı kırmızı renkte görünmektedir.

Nanoboyutlara inen malzeme, daha işlevsel, daha yüksek dayanımlı olabilmektedir. Kimyasal ve fiziksel özellikleri, yapının büyüklüğüne ve atom yapısının ayrıntılarına, dışarıdan sisteme bağlanan yabancı bir atomun cinsine ve yerine göre çok farklı ve olağanüstü davranışlar sergilemekte, malzemeler daha kuvvetli, daha esnek, çok daha hafif veya daha farklı şekillerde ısı ve elektrik iletme özelliklerine sahip olabilmektedir. Bu yabancı bir atom, geçiş elementi olduğunda, manyetik ve optik özelliklerinde önemli ölçüde artma veya azalma olabilmekte ve hatta renkleri bile değişebilmektedir[3, 17, 74].

Nanoteknoloji kapsamına giren malzemeler için 100 ile 1 nm (1/10 milyon metre ile 1/1 milyar metre) arasındaki herhangi bir büyüklük (uzunluk, genişlik veya kalınlık) ifade edilmektedir[15].

Nanoteknolojiyi uygulanabilir kılan şey, atomların yapısı ve aralarındaki mükemmel organizasyon özelliği olduğundan, atomların yapısının ve davranış biçimlerinin çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Malzemelerin nano ölçekte kazandıkları değişik özellikler, bunlara giderek artan bir endüstriyel değer kazandırmaktadır ve üretilen nanoteknolojik malzemelerin daha dayanıklı, daha düşük hata seviyeli, daha hafif ve daha hassas olmak gibi üstün özelliklerle donatılmış olması günümüzde nanoteknolojiyi ilgi odağı haline getirmiştir[5].

1.2.3. Nanoteknolojinin Tarihsel Gelişimi

Nanomalzemelerin birçoğu doğada bulunmaktadır. Bu nedenle, nanomalzemelerin tarih boyunca farklı amaçlarla kullanımına rastlanmaktadır.

Nanomalzemelerin kullanıldığı en erken örnek olarak, 14. yüzyılda Romalı bir cam ustasının yaptığı ve nano ölçekte metaller içeren “Lycurgus’ un kupası” (Şekil 1.3) verilebilir. Bu eser bünyesinde bulunan gümüş ve altın nano parçacıklar nedeniyle, güneş ışınlarıyla birlikte rengini yeşilden koyu kırmızıya dönüştürebilmektedir. Farklı ışık koşulları altında renk değiştiren bu malzemeler orta çağ katedrallerinde cam süslemesi amacıyla da kullanılmıştır (Şekil 1.3). 14. yüzyılda belki de bir tesadüf sonucu keşfedilen fakat adı konmayan bu teknolojinin sağlayacağı olanaklar ilk olarak, Nobel fizik ödüllü “Richard Feynman’ın malzeme ve cihazların moleküler boyutlarda üretilmesi ile başarılabilecekler üzerine 1959 yılında verdiği ünlü konferansı ile ortaya çıkmıştır.

Richard Feynman, “Aşağıda daha çok yer var (There is a plenty of room at the bottom)” başlıklı konferansında, “Eğer moleküler düzeyde malzemeler ve cihazlar yapılabilsen bu, yeni buluşların kaynağı olacaktır” diye bildirmiş; küçültülmüş yeni aygıtlarla nano yapıların yönetilebileceğini, ölçülebileceğini ve yeni amaçlar doğrultusunda kullanmasının mümkün olabileceğini ifade etmiştir. Feynman, 24 ciltlik Britannica Ansiklopedisi’ nin bir toplu iğne başı büyüklüğünde bir alana sığdırılabileceğine inanmış ve bu düşüncenin gerçekleşmesi için dönemin tekniklerin yeterli olmayacağını, fakat gelişen teknoloji ile birlikte bunun mümkün olacağını, bu nedenle elektron mikroskobundan daha iyi bir mikroskoba ihtiyaç duyulacağını ifade etmiştir.

Nanoteknoloji terimi ise ilk olarak 1974 yılında Japon bilim adamı Norio Taniguchi tarafından kullanılmıştır[16, 17, 18].



Şekil 1. 3. Nanomalzeme kullanımına yönelik tarihi örnekler, kilise cam süslemeleri ve Lycurgus' un kupası[16, 19].

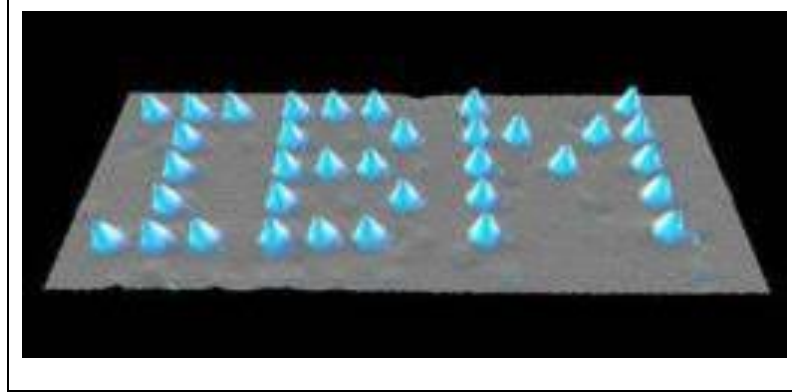
1980 yılından sonra dünya genelinde nanoteknoloji araştırmaları hız kazanmıştır. Araştırmacıların küçük boyutlarda çalışmaya başlamasıyla yapılan çalışmaları izlemek zorlaşmıştır. Bu nedenle 1981 yılında, G. K. Binnig ve H. Rohrer tarafından, atomları tek tek görüntüleyebilmek için “Tarama Tünelleme Mikroskobu (Scanning Tunneling Microscope - STM)” icat edilmiştir. Taramalı tünelleme mikroskobunun keşfi, yüzeyde bulunan atomların ve moleküllerin gözlenmesine, atom/molekül seviyesinde tepkimelerin izlenmesine olanak tanımıştır.

1985 yılında, R. Curl Hr., H. Kroto ve R. Smalley, karbon atomunun elmas ve grafit dışındaki biçimi olan ve “fulleren” olarak da bilinen “C₆₀” molekülünü keşfetmişlerdir. 1986 yılında, G. K. Binnig, C. F. Quate ve C. Gerber nano yapıları ölçmek ve yapılarında değişiklik yapabilmek için gerekli olan araçlardan ve STM mikroskobunun türevi olan “Atomik Kuvvet Mikroskobu (Atomic Force Microscope - AFM)” nu icat etmişlerdir.

Geliştirilen yeni araç ve teknikler, birçok bilim adamının, boyutu 100 nm’ nin altında olan yapılar üzerine yeni araştırmalar yapmak için çeşitli nano yapıları analiz edebilmesini sağlamıştır.

1986 yılında K. E. Drexler, “Motorların Yaratılışı (Engines of Creation)” adlı kitabını yayınlamıştır. Bu kitap, moleküler nanoteknoloji fikrini ortaya çıkarmıştır. 1987 yılında, iletkenliğin kuantum özelliği ilk defa gözlenmiştir. 1989 yılına gelindiğinde ise, ABD merkezli bir bilişim teknolojisi şirketi tarafından, “Xe-Ksenon” atomundan IBM yazısı yazılmıştır (Şekil 1.4). Aynı şirket, 1993 yılında 14 nanometre uzunluğunda bir

bakır plaka üzerine demir atomlarını eliptik bir biçimde dizmiştir. Bu düzenek 1 ve 0' ları temsil eden atomlar sayesinde bilgi saklayabilme özelliğine sahiptir[3].



Şekil 1. 4. Xe atomundan IBM yazısı[5].

Şekil 1.4' deki IBM yazısı, mikroskopik bakır bir plaka üzerine 35 adet karbon monoksit (CO) molekülünün yan yana dizilmesiyle oluşturulmuştur. Yüksekliği milimetrenin 250 binde biri, genişliği ise 333 binde biri kadardır. Bir saç telinin kalınlığı kadar bir alana bunun gibi 250 milyon tane yazılı plaka yerleştirilebildiği düşünülürse, bu durum yazının büyüklüğü hakkında fikir verebilmektedir.

1990 yılında, Richard Smalley öncülüğündeki araştırmacılar, 60 adet karbon (C) atomunun simetrik biçimde sıralanmasıyla elde edilen, futbol topu şeklindeki “fulleren” moleküllerini geliştirmişlerdir. Elde edilen molekül 1 nanometre büyüklüğünde olup, çelikten daha güçlü, plastikten daha hafif, elektrik ve ısı geçirgenliğine sahip bir yapıdaydı. 1991 yılında Sumio Iijima, fulleren molekülünün esnetilmiş bir şekli olup benzer şekilde üstün özelliklere sahip çok duvarlı karbon nanotüpleri keşfetmiştir. Bu karbon nanotüpler, çelikten 100 kat daha güçlü ve 6 kat daha hafiftir. 1993 yılında ise Iijima ve Bethune, tek duvarlı karbon nanotüpleri keşfetmiştir ve aynı yıl ABD’ deki Rice Üniversitesinde ilk “nanoteknoloji laboratuvarı” kurulmuştur[5].

1997 yılında ilk defa DNA molekülü kullanılarak nanomekanik aygıt yapılmıştır ve nanotüp kullanılarak elektrik akımı ölçülmüştür. 1999 yılına gelindiğinde ise, M. Reed ve J. M. Tour, ilk defa tek organik molekül ile elektronik anahtar yapmışlardır. Ayrıca, ABD’ de nanoteknoloji alanında yürütülen araştırma, geliştirme ve ticarileştirme faaliyetlerinin hızını artırma amacı taşıyan ilk resmi hükümet programı, “Ulusal Nanoteknoloji Adımı (National Nanotechnology Initiative)” başlatılmıştır.

2000' li yıllarda, ülkelerin nanoteknolojiye olan ilgisi hızlı bir artış göstermiştir. ABD' de ilk defa nanoteknoloji araştırmaları için 422 milyon dolar kaynak ayrılmıştır. Avrupa Birliği, çerçeve programına nanoteknoloji çalışmalarını öncelikli alan olarak katmıştır ve Japonya, Tayvan, Singapur, Çin ve İsviçre benzer programlar başlatarak 21. yüzyılın küresel teknoloji yarışında önlerde yer almak için çalışmalarına hız vermişlerdir.

2001 yılında, ilk defa nanotüplerden transistör, mantık devreleri ve ZnO nanotel lazeri yapılmıştır. 2002 yılında ise, süper örgü nano tellerin üretimi gerçekleştirilmiştir[5].

2005 yılında, ilk nanoteknolojik araştırma merkezi olma özelliğine sahip, ABD' deki Rice Üniversitesi araştırmacıları ilk defa dört tekerlekli nanoaraba modelini hareket ettirmiştir. Arabanın boyutu 3nm x 4nm, yani bir DNA satırı genişliğinde olup, bu nano arabalardan 20.000 tanesini yan yana park edince bir insan saç telinin kalınlığına ulaşmaktadır. Işıkla çalışan nano arabanın atomları bir araya getirilip moleküler akslar, dingiller yapılarak güç aktarım sistemi inşa edilmiş, sonra da atomsal boyuttaki tekerlekleri ile sürüklenerek değil, tekerlekleri de dönerek yüzey üzerinde hareket ettirilmiştir[5].

Nanoteknoloji hayatın her noktasını etkileyecek olan 21. yüzyılın endüstriyel devrimi olarak hızlı bir şekilde biçimlenmektedir. Nanoteknolojinin gelişimi, yeni malzemelerin üretilmesini, dolayısıyla mimari için yeni uygulama yöntemlerinin ve elemanların ortaya çıkmasını sağlamaktadır.

1.2.4. Nanoteknolojinin Amacı ve Yararları

Nanoteknoloji, geleneksel mekanik ve kuantum mekaniği arasında uygulama yapan bir teknoloji olarak tanımlanabilmektedir. Nanoteknolojide, kısmen doğa taklit edilmeye ve maddeler atomlardan başlayarak inşa edilmeye çalışılır. Bu nedenle, savurgan ve büyük miktarda kirliliğin eşlik ettiği geleneksel seri endüstriden nanoteknoloji olarak adlandırılan atomik ölçek endüstriye yönelim gerçekleşmiştir. Nanoteknoloji, geleneksel yöntemlere oranla çok daha ucuz, güvenilir, sürdürülebilir ve ekonomik olduğu için büyük öneme sahiptir[20].

Nanoteknoloji ile maddeyi nanometre seviyesinde işleyerek ve ortaya çıkan değişik özellikleri kullanarak, nano ölçekte aygıtlar, sistemler ve malzemeler yapmak mümkündür. Nanoteknoloji, her türlü nesnenin yapıtaşları olan atomları, istenilen şekilde düzenleme şansına sahip olmayı ve her alanda, daha dayanıklı, daha hafif ve doğaya daha az zarar

vererek üretim yapılmasını sağlayacak bir teknolojidir[21]. Nanoteknolojinin amaçları kısaca,

- Nanometre ölçekli yapıların analizi ve fiziksel özelliklerinin anlaşılması,
- Nanometre ölçekli yapıların üretimi,
- Nano ölçekli cihazların geliştirilmesi,
- Uygun yöntemler bulunarak nano ve makro dünya arasındaki bağı kurulması,

şeklinde özetlenebilir[22].

Nanoteknolojinin önemi, atom ve molekül seviyesinde, 1-100 nm boyut aralığında çalışarak, gelişmiş ve/veya tamamen yeni fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklere sahip yapılar elde edilmesine imkân sağlamasından kaynaklanmaktadır. Nanoteknoloji kullanılarak geleneksel yöntemler ile üretilenlere oranla daha sağlam, daha kaliteli, daha uzun ömürlü, daha ucuz, daha hafif ve daha küçük yapılar geliştirilebilir. Nanoteknoloji, üretim süreçlerini kısaltarak zaman ve maliyet kaybını önler, önemli miktarda enerji tasarrufu sağlar ve ürün kalitesini arttırarak, insanların yaşam standartlarını ve kalitesini yükseltir, daha sağlıklı ve daha güvenli bir yaşam sunar[23].

Nanoteknolojinin odak noktaları, kuantum etkileri gibi temel fizik araştırması içeren konuların yanında, atomik boyutlarda görüntüleme deneysel yöntemlerin geliştirilmesi, Angström altı (ışığın dalga boyunu ölçmekte kullanılan uzunluk ölçü birimidir, kısaca Å olarak gösterilir ve 10^{-10} metreye eşittir) boyutlarda ölçüm yapabilme teknikleri, düşük boyutlarda eş tip malzeme üretebilme, malzeme yapısını atomik boyutlarda kontrol edebilme, kızılötesi ve morötesi radyasyonlara karşı tepkisi kontrol edilebilir malzeme ve özel amaca yönelik aygıt geliştirme yöntemleridir[24, 21].

Nanoteknoloji sayesinde sanayide, bilişim teknolojilerinde, sağlık sektöründe ve daha birçok alanda yeni ürünler geliştirilecek, günümüzün üretim süreçleri ve yöntemleri değişecektir[5].

1.2.5. Nanoteknoloji ve Potansiyel Riskler

Nanoteknoloji, genellikle atomik boyutlarda (1-100 nm) ve makro ölçeklerde görülmeyen özelliklere sahip parçacıkların (karbon nanotüp, gümüş, silisyum dioksit, titanyum dioksit ve çinko oksit gibi) kullanıldığı, hemen hemen her disiplinde kendisine uygulama alanı bulan, yeni ve hızla gelişen bir bilim dalıdır. Nanoteknolojiyi diğer

teknolojilerden ayıran ve önemli kılan etkenlerin başında madde üzerinde atomik/moleküler seviyede yani nano ölçekte üretim, uygulama ve müdahale gerçekleştirebilmesidir. Nanoteknoloji uygulamalarında, kuantum mekaniği etkisiyle nanoölçekte ortaya çıkan, makro ölçekten farklı fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerden yararlanılmakta ve üstün özellikli yeni ürünler elde edilmektedir[25, 26].

Nanoteknolojinin gelişmesi, özellikle son yıllarda bu teknoloji ile oluşturulan ürünlerin kullanım alanını genişletmekte ve günlük hayatımıza daha fazla miktarda bu tür ürünlerin girmesine neden olmaktadır.

Günümüzde farklı amaçlar için kullanılan, çok sayıda nanoteknolojik ürün insan hayatındaki yerini almıştır. Yüksek dayanıma sahip beton nanokompozit, kir tutmayan ve kolay temizlenen yüzey özelliklerine sahip nanokaplama, oldukça ince malzeme kalınlığında yüksek ısı yalıtım değeri sağlayan malzemeler mimarlık disiplinde kullanılan nanoteknolojik ürünlere örnek olarak gösterilebilir.

Nanoteknolojinin hızla gelişmesi, diğer teknolojik alanlarda olduğu gibi insan ve çevre için önemli yenilikler getiriyor olmasının yanında potansiyel zararları olabileceği konusunu da gündeme getirmektedir. Bu durum dikkatleri nanoteknolojinin temelini oluşturan nanoparçacık üzerine çekmiştir ve nanoparçacıkların canlı ve çevre sağlığı üzerindeki zararlı etkilerini belirlemeye yönelik çalışmaların yapılması gerekliliğini doğurmuştur[16, 25, 26].

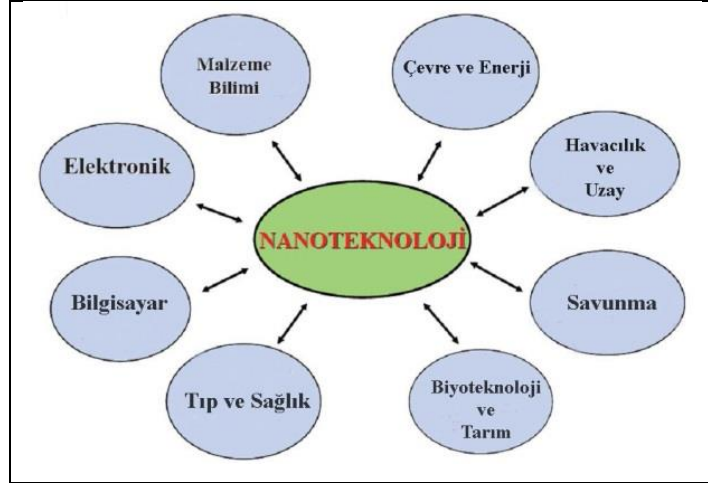
Nanoboyutlu parçacıklar bünyelerinde bulunan zehirli bileşenler nedeniyle (metal, hidrokarbon benzeri) insanların akciğerlerinde büyük hasara neden olabilirler. Nanoparçacıklar, boyutsal olarak çok küçük oldukları için deriden vücuda, oradan da ciğerlere ve sindirim sistemine kolayca ulaşabilirler. Bu da hücreye zarar veren özgür radikallerin üremesine neden olabilir. Örneğin, fotokatalitik etkisi nedeniyle birçok nanoteknoloji uygulamasında kullanılan TiO_2 nanoparçacıkları olumlu etkilerinin yanında insan vücudunda alerji, iltihap gibi olumsuzluklara neden olabilecek ve hücre yapısını bozabilecek yapıdadır.

Nanoteknoloji oldukça yeni bir bilimdir ve henüz potansiyel olarak görülen tehlikeleri hakkında net bir bilgi elde edilememiştir. Gelecekte nanoteknolojinin daha yaygın kullanılır hale gelmesi, insanların nanoparçacıklar ile daha fazla teması anlamına gelecektir. Bu nedenle bilim dünyasının nanoteknolojinin temelini oluşturan nanoparçacıkların, insan sağlığı ve çevre üzerinde oluşturabileceği muhtemel olumsuz

etkilerin neler olabileceği üzerine daha fazla araştırma yapması gerekmektedir[16, 25, 26].

1.2.6. Nanoteknolojinin Kullanım Alanları

Nanoteknoloji, maddelerin nanoboyutlarda sahip oldukları üstün fiziksel özellikleri kullanarak çeşitli alanlarda teknolojik devrim niteliğinde yeni ürünler elde edilmesini mümkün kılmaktadır. Nanoteknolojinin uygulama alanları geniş olmakla beraber bazı sahalarda etkisi ve önemi daha fazla hissedilmektedir. Nanoteknolojinin etkin kullanıldığı alanlar şekil 1. 5’ de gösterilmektedir[10, 19, 27].



Şekil 1. 5. Nanoteknoloji kullanım alanlarının şematik gösterimi[1].

• Malzeme Bilimi

Nanoteknoloji, gelecekte yapılması düşünülen malzeme ve aygıt üretim yöntemlerinin değişmesini, nano ölçekte işlevi olan aygıt, sistem ve malzemelerin, makro boyutlardaki malzeme içine yerleştirilmesi ile hatasız, çok miktarda üretim yapabilmek için yeni yöntemlerin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır[10].

Malzemelerin atomik ve moleküler boyutlardan başlayarak inşa edilmesi, geleneksel yöntemler ile elde edilen malzemelere oranla daha sağlam ve daha hafif malzemelerin ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Bu malzemeler, daha düşük hata seviyeleri ve eşsiz dayanıklılık güçleri ile mevcut birçok endüstriyel süreç için devrimsel yenilikler

getirmektedir. Benzersiz ve alışılmamış özellikleri ile nano tüpler ve kaplama malzemeleri imalat yöntem ve tekniklerinin gelişmesine olanak sağlayacaktır[27]. Nano üretimin potansiyel uygulama alanlarına örnek olarak, üretim safhasında daha az enerji harcanmasını sağlayacak ve atık malzeme üretilmesini engelleyecek ve düşük maliyetli üretim yöntemlerinin geliştirilmesi verilebilir[10].

Nanoyapıların elde edilmesinde iki ana yöntem bulunmaktadır. “Aşağıdan-yukarıya (bottom-up)” ve “yukarıdan-aşağıya (top down)” olarak adlandırılan bu iki üretim yöntemi şu şekilde özetlenebilir:

1. Aşağıdan-yukarıya üretim, (küçükten-büyüğe); moleküler nanoteknoloji olarak tanımlanabilir. Bu yaklaşım, organik veya inorganik yapıları, maddenin yapıtaşı olan atomlardan başlayarak atom atom, molekül molekül inşa edilmesi yöntemini ifade etmektedir.

2. Yukarıdan-aşağıya üretim, (büyükten-küçüğe); makineler, asitler ve benzeri mekanik ve kimyasal yöntemler kullanılarak nano yapıların fabrikasyonu ve imal edilmesi yöntemlerini ifade eder.

Teknolojinin bugünkü seviyesi nedeni ile yapılan çalışmaların birçoğu yukarıdan-aşağıya üretim yaklaşımında değerlendirilir[15].

Nanoteknoloji yardımı ile doğada bulunmayan yapıların tasarlanması mümkün olabilir; biyolojik malzemeler de dahil olmak üzere düşük maliyetli üretim yöntemleri geliştirilebilir. Olası uygulama alanları, sonradan işlenmeye ihtiyaç duyulmadan tam istendiği şekli ile üretilen nano yapıda metal, seramik, polimer malzemeler; nanoölçekte parçacıklardan yapılmış boya ve boyar maddeler kullanılarak geliştirilen baskı yöntemleri; nano ölçekte kaplama yapılmış kesme aletleri, elektronik, kimyasal uygulamalar; nano ölçekte yeni ölçüm standartları; yonga üzerinde nano ölçekte karmaşık ve çok işlevli nano üretimdir[8].

- Elektronik ve Bilgisayar Teknolojileri

Nanoteknoloji, birçok disiplinde olduğu gibi elektronik ve bilgisayar dünyasında da yeni gelişmelerin yaşanmasına imkân tanıyacaktır.

Geleneksel eşdeğerlerine oranla daha az enerji ile çalışan, nano ölçekte elektronik devre ve bilgi depolama elemanlarının üretilmesi, ebatları küçük, hızları ve kapasiteleri büyük elektronik araçlar üretilmesi, elektronik araçlar için sensör, gösterge sistemleri ve

sinyal üretilmesi potansiyel uygulama alanlarına örnek olarak verilebilir. Ayrıca, nano ölçekte üretimin getirdiği imkânlar doğrultusunda bilgisayar tasarımında yeni gelişmelerin yaşanması beklenmektedir[5, 10, 27].

- Tıp ve Sağlık Sektörü

Canlıların yapıtaşı olan hücreler nanometre ölçeğindeki moleküllerden oluşmaktadır. Farklı özelliklere sahip proteinler, nükleik asitler, karbonhidratlar nano boyuttaki malzemelere örnek olarak gösterilebilir. Nanoteknoloji yaşayan sistemlere moleküler boyutlarda müdahale etme olanağı yaratabilecektir. Yaşayan organizmalar ile etkileşime geçebilecek boyutlarda araçlar üretilmesi ile birçok yeni teşhis ve tedavi yöntemlerinin geliştirilmesi mümkün olacaktır.

Nanoteknoloji, sağlık sektörü üzerinde geniş bir potansiyel uygulama alanına sahiptir. Yeni ilaç tasarımlarının yapılması ve yeni biyolojik malzemelerin üretiminin gerçekleştirilmesi, geleneksel yöntemlere oranla çok daha hassas ve kesin sonuçlar alabilen ölçüm cihazları, algılayıcı sistemler ve teşhis araçları, sadece hastalığın bulunduğu ve/veya yayıldığı bölgelere saldırarak ilaç veren makineler bu uygulamalara örnek olarak verilebilir.

Yakın gelecekte gerçekleşmesi beklenen en önemli gelişme, nano ölçekte malzemelerin nasıl kendi kendini ürettiğinin anlaşılmasıyla “kendi kendini düzenleme (self-assembly)” özelliğine sahip proteinlerin ve çeşitli organik maddelerin üretim şeklinin kopyalanabilmesidir[5, 10, 27].

- Havacılık ve Uzay Araştırmaları

Havacılık ve uzay araçları çok maliyetli teknolojilerdir. Nanoteknoloji, bu amaca hizmet eden araçların üretiminde kullanılan malzemelere gelişmiş özellikler kazandırırken maliyetleri de önemli oranda azaltabilir. Örneğin uzay araçlarının yapımında kullanılan geleneksel malzemelerin ağırlığı, maliyetlerin artışında çok önemli bir yer tutmaktadır. Nanoteknoloji bu malzemelerin ağırlığını önemli ölçüde azaltarak, maliyetlerin düşürülmesini sağlayabilecektir. Ayrıca, nanokaplama malzemelerin kullanımı da roket ve uzay istasyonlarının yapımında, havacılık ve uzay araçlarının üretiminde maliyeti düşürebilecektir.

Nanoteknoloji, az enerji gerektiren, radyasyona karşı dayanıklı, yüksek verimli bilgisayarların yapımını, uzay araçlarında kullanılacak nanoboyutlarda, gelişmiş özelliklere sahip aletler, aygıtlar ve sistemlerin üretimini mümkün kılmaktadır. Bu potansiyel kullanım alanlarının yanında, çekme direnci çelikten kat kat yüksek nanotüpler sayesinde dünya yüzeyinden atmosfere kadar yükselebilecek yapılar inşa edilmesi potansiyel uygulama alanları içerisinde yer almaktadır. Bu uygulama ile uzay araştırma maliyetlerinin büyük kısmını oluşturan fırlatma maliyetleri düşürülebilecektir[5, 10, 27].

- Çevre ve Enerji

Nano malzemelerin, fosil yakıt endüstrilerinin verimliliğini geliştirme potansiyeli bulunmaktadır. Nano malzemeler ve nano kompozitlerin yaygın olarak kullanılması ile daha yüksek verimliliğe sahip motorların ve dolayısıyla daha temiz, çevre dostu ulaşım sistemlerinin kurulması mümkün olacaktır.

Enerjinin verimli kullanılması, depolanması ve üretilmesinde nanoteknolojinin önemli etkileri vardır. En önemli potansiyel uygulama alanlarından biri, temiz enerji kaynağı olarak kabul edilen hidrojen gazını depolama işine nano ölçekte çözüm aranmasıdır. Ayrıca çevre sorunlarının gözlenmesinde ve giderilmesinde, çeşitli kaynaklardan gelen atıklar önlenmesinde, daha az atık oluşturan üretim sistemleri geliştirilmesinde ve temiz su elde edilmesinde nanomalzemeler kullanılabilir[3, 8, 19].

- Biyoteknoloji ve Tarım

Nanoteknolojinin gelişmesi ile tıp ve sağlık sektörleri de bu teknolojileri ve malzemeleri uygulayacaktır. Geliştirilen nanoteknolojik ürünler tıp, ilaç ve tarım sektörlerinde kullanılabilir. Nanoteknoloji ile biyolojik işleme ve başka gelişmiş özelliklere sahip malzemelerin üretilmesi; bitkileri böceklere karşı korumak için moleküler seviyede kimyasalların geliştirilmesi; gübreler, daha besleyici ve hastalık direnci yüksek bitkiler üretilmesi; hayvanlar için ilaçların üretilmesi; DNA testleri için nano ölçekte kontrol yöntemlerinin geliştirilmesi potansiyel uygulama alanlarına örnek olarak verilebilir[5, 10, 27].

- Savunma Sektörü

Nanoteknoloji askeri uygulamalar konusunda birçok alanda geniş potansiyele sahiptir. Nanoteknoloji yardımıyla gelişmiş haberleşme araçlarının, gelişmiş özellikli elektronik savaş sistemleri ve daha az insan gücünün kullanılması için robot sistemlerinin üretilmesi mümkün olabilir. Ayrıca, zararlı gazların ve radyoaktif serpintilerin tespit edilebilmesi için nano algılayıcılar üretilmesi, nükleer savunma sistemlerinin kontrol edilebilmesi için nano ve mikro mekanik aygıtların birleştirilmesi, daha üstün silah sistemleri, geliştirilmiş gizleme ve akıllı sistemler, birçok araştırma, geliştirme çalışmasının gerçekleştirildiği alanlardır[5, 10, 27].

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Tez kapsamında yapılan çalışmalarda, nanoteknolojinin mimarlık disiplninde en somut yansıması olan nanomalzemeler,

- Nanoteknoloji ve strüktür uygulamaları,
- Nanoteknoloji ve işlevsel nanokaplamalar,
- Nanoteknoloji ve ısı yalıtım uygulamaları,
- Nanoteknoloji ve fotovoltaiik paneller,
- Diğer nanoteknoloji uygulamaları,

başlıkları altında sınıflandırılarak ayrı ayrı açıklanmıştır.

Çalışma kapsamında, nanomalzemeleri işlevsel, kavramsal ve teknik olarak açıklamak, söz konusu malzemelerin yapılar da kullanımı hakkında bilgi vermek, bu bilgilerden yola çıkarak örnek yapı uygulamaları üzerinde analiz tabloları oluşturarak bazı sonuçlara varmak amaçlanmıştır.

Tez kapsamında yapılmak istenen analiz çalışması için yapımında nanomalzeme kullanılan, farklı işlevlerde 38 adet örnek yapı incelenmiş ve elde edilen bulgular değerlendirilmiştir.

Çalışmaların yürütülmesinde sırasıyla,

1. Literatür Çalışması,
2. Ön araştırmalar,
3. Yapı analiz tablolarının oluşturulması,

aşamaları izlenmiştir.

2.1. Literatür Çalışması

Günümüzde teknoloji hızla gelişmekte, birçok disiplinde önemli dönüşümler yaşanmakta ve insanoğlu her geçen gün yeni kavramlarla tanışmaktadır. Bu kavramların arasında her geçen gün daha sık duymaya başlanılan “nanoteknoloji” oldukça önemli bir yere sahiptir. Nanoteknoloji sayesinde yapıların, malzeme ve sistemlerin nanoboyutlarda sahip oldukları özelliklerin anlaşılması, kontrolü ve atomik seviyede değiştirilip işlenmesi sonucunda ortaya çıkan değişik özellikleri kullanarak yeni teknolojik nanomalzemelerin

üretilmesi ve bu ürünlerin günlük hayatta kullanılır hale getirilmesi mümkün olabilmektedir.

Tarih boyunca teknoloji, mimarlık disiplininde önemli bir yere sahip olmuştur. Üretilen yeni ürünler, geliştirilen yeni teknolojiler yapıların oluşumlarını belirlemiştir. İnsanoğlu, mimari yapılarda günümüze kadar çeşitli malzemeler kullanmıştır. Bütün bu malzemeler ve kullanılan teknolojiler, çağlarına damgalarını vurmuştur. 21. yüzyılda bu etkiyi nanoteknolojinin oluşturacağı, çağımızın teknolojisi olarak kabul edilen nanoteknolojinin pek çok alanda olduğu gibi mimarlık alanında da köklü bir devrim yaratacağı ve mimarlığın da bugün bilinenlerden çok farklı noktalara erişeceği öngörülmektedir. Bu devrim, küresel boyutta yaşanan rekabet ortamında kendisini kullananların bir adım öne geçmesini sağlayacak etkiye sahiptir[1, 2, 5, 28, 29, 75].

Nanoteknolojik gelişmeler ile birlikte 21. yüzyılın giderek bir “nanoteknoloji çağı” olacağı ve geleceğin dünyasının tümüyle “nanoteknoloji” etrafında şekilleneceği düşünülmektedir. İncelenen konunun 21. yüzyılda önemli değişimlere yol açacak olması ve mimaride kullanımı ile ilgili kaynak sayısının az olması nedeniyle çalışma, yapılacak araştırmalara yardımcı olacaktır.

Literatür çalışması kapsamında, nanoteknolojinin mimaride en somut yansıması olan nanomalzemeler tanıtılmaktadır. Literatür çalışması, yapı analiz tablolarının oluşturulmasında kullanılmak üzere nanomalzemeler ile ilgili bilgilerin toplanması amacıyla yapılmaktadır.

2.1.1. Nanoteknolojinin Mimaride Kullanımı

Birçok disiplinde devrim niteliğinde gelişmeler ortaya çıkaran nanoteknoloji, yapı sektöründe en belirgin yansımasını nanomalzemelerin üretilmesi ve kullanımı şeklinde göstermektedir[75].

Nanoteknoloji, maddeleri nano ölçekte kontrol edip, moleküler seviyede çalışarak özelliklerini ve yapılarını anlama imkânı sunar. Bu sayede mimari uygulamalarda kullanılan geleneksel malzemelerin, fiziksel ve kimyasal özelliklerini geliştirmek ya da tamamıyla yeni malzemeler üretmek mümkün olmaktadır[3, 4].

Malzemelerin nano boyutlarda sahip oldukları özellikler, makro boyutlarda sahip olduklarından farklılık göstermektedir. Dayanım, yüzey alanı, iletkenlik ve esneklik gibi malzemelerin yapısını oluşturan temel özellikler, nano boyutlarda müdahale edilerek

geliştirilebilir ya da yeni malzeme üretmek için farklı şekilde tasarlanabilir. Bu sayede, mimari uygulamalarda kullanılan geleneksel malzemelerin yerine, yüksek performanslı, çok işlevli, aktif ve bulunduğu ortama uyum sağlayabilen nano malzemeler ve nano kompozitlerin kullanımı mümkün olmaktadır[3, 5].

Nanomalzemeler pek çok özelliği bir arada taşırlar ve geleneksel malzemeler ile çözülemeyen, enerji, çevre, üretim, emniyet gibi birçok sorunu çözme potansiyeline sahiptirler. Nanoteknolojik malzemelerin mimari yapılarda kullanımı, geleneksel yöntem ve malzeme tercihinde ortaya çıkan gereksinim ve ihtiyaçları değiştirmektedir[30, 31].

Nanoteknoloji, geleneksel malzemelerinin ağırlık ve hacminde azalmaya neden olur ve malzemelerin daha etkin kullanılmasını sağlar. Malzemelere kazandırılan gelişmiş özellikler yardımıyla, malzemelerin hasardan korunumunu güçlendirerek, bakım ve onarıma olan ihtiyacı azaltır. Bu getirilerinin yanında nanoteknoloji, üretim aşamalarının sayısını azaltarak, kaynakların korunması, hammadde, enerji tüketimi ve dolayısıyla CO₂ salınımında önemli oranda azalma sağlar ve ekonomiye olumlu katkıda bulunur[16].

Çalışma kapsamında, yapılarda kullanılan ya da yakın gelecekte kullanılması beklenen nanoteknoloji ürünleri nanomalzemeler, nanokompozitler, strüktür, kaplama, ısı yalıtımı ve fotovoltaik panel uygulamalarında kullanılan nanomalzemeler ve diğer (nanoyapıştırıcı, nanoplastik, nanoaydınlatma) nanomalzemeler başlıkları altında ayrı ayrı incelenmiştir.

2.1.1.1. Nanomalzemeler

Nanomalzemeler, nanoteknolojinin temelini oluşturmaktadır. Nanoölçekte, metal, ahşap, seramik, polimer ve kompozit malzeme sınıflandırmasına giren tüm malzemelerin nanomalzeme olarak uygulaması ve kullanımı söz konusu olabilmektedir[9].

Nanoboyutlarda kuantum etkisi devreye girmektedir ve malzeme özelliklerinde önemli değişiklikler ortaya çıkmaktadır. Nano ölçekli malzemelerde işlevsellik, dayanım artışı, elektrik ve ısı iletme özelliklerinde artış, esneklik, hafiflik ve daha birçok gelişmiş özellik gözlenebilmektedir[32].

İki özellik nano malzemeleri geleneksel malzemelerden ayırmaktadır. Bu özellikler, artan bağıl yüzey alanı ve kuantum etkileridir. Bu etkiler reaktiflik, dayanım ve elektriksel karakteristik gibi bazı özellikleri değiştirebilir ya da arttırabilir. Nanomalzemeler, geleneksel malzemelerde mevcut olmayan bazı fonksiyonların tek malzemede toplanması

gibi avantajlara sahiptir. Malzemenin ekonomik olması ve var olan kaynakların korunması gibi yararlar söz konusudur[16].

Nanomalzemelerin, çeşitliliğini tam anlamıyla anlamak ve değerlendirmek için bazı sınıflandırmalar gerekmektedir. Nanomalzemeleri sınıflandırmak için kullanılan en yaygın yol, onları boyutlarına göre tanımlamaktır.

Nanomalzemeler sıfır boyutlu (0-D) nanomalzemeler, bir boyutlu (1-D) nanomalzemeler, iki boyutlu (2-D) nanomalzemeler ve üç boyutlu (3-D) nanomalzemeler olarak sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma, nano ebat aralığı <100 nm içinde yer almayan boyutların sayısı temel alınarak gerçekleştirilir[18].

1 - Sıfır boyutlu (0-D) nanomalzemeler: Bütün boyutları nanometrik seviyede olan malzemelerdir. Bu grup “Eş-boyutlu” nanoparçacıklar olarak adlandırılır.

Nanoparçacıklar, en önemli nanoteknoloji alanlarından birisi olarak kabul edilir. Mikro düzeyden nano düzeye geçişte fiziksel özelliklerde önemli değişimler söz konusu olmaktadır. En önemli değişim, yüzey alanının hacme oranındaki olağanüstü artıştır. Nanoparçacıkların fiziksel özelliklerindeki değişim büyük ölçüde kuantum etkileri ile açıklanmakta, bu düzeyde kuantum etkileri, malzeme özelliklerini belirgin olarak değiştirmektedir[9, 18, 33]. Yaygın kullanıma sahip nanoparçacıklar, Titandumdioksit (TiO_2), silisyumdioksit (SiO_2), gümüş (Ag), alüminyum oksit (Al_2O_3), bakır (Cu), çinko oksit (ZnO) ve kil parçacıklarıdır. Tablo 2. 1’ de nanoparçacıklar ve mimarideki kullanım amaçlarından öne çıkanlar verilmiştir.

- Titanyum dioksit (TiO_2) nanoparçacıklar: Titanyumdioksit geniş kullanım alanına sahip, beyaz renkte, oksijenle tepkimeye girmiş titanyum elementidir.

TiO_2 ; fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri açısından üstün yapılı beton malzemeler geliştirmek, su seven (hidrofilik) özellikleri ile kendi kendini temizleyen yüzeyler oluşturmak, üstün yansıtıcı özelliklere sahip kaplamalar elde etmek gibi amaçlara yönelik kullanılmaktadır. TiO_2 nanoparçacıklar organik kirletici maddeleri, uçucu organik bileşenleri, zararlı maddeleri güçlü fotokatalitik reaksiyonlarla parçalaması nedeniyle, genellikle zararlı zararsız mikroorganizmaların yok edilmesi amacı ile boyalarda, çimentoda ve camlarda kullanılmaktadır[4, 34].

- Silisyum dioksit (SiO_2) nanoparçacıklar: Silisyumdioksit (SiO_2), oksijenle tepkimeye girmiş silisyum elementidir. Silis ya da kuvars olarak bilinen silisyumdioksit, doğada kum ve kuvars şeklinde bulunur.

SiO₂ kendi ağırlığının %120' si kadar nem çekme özelliğine sahiptir. Genellikle beton malzemelerin dayanımı arttırmak amacıyla kullanılmaktadır[4, 35, 36].

- Gümüş(Ag) nanoparçacıklar: Bakteri karşıtı özelliği bilinen gümüş elementinin nano boyutlara (1-100 nm) indirgenmesi; bakteri, virüs ve mantarlar üzerindeki yok etme etkisini ve yüzeyin özelliğini uzun süre korumasını önemli oranda arttırmaktadır. Bu nano parçacıklar herhangi bir maddenin yüzeyinde kaplı olduğunda, yüzey alanı birkaç milyon kat artarak, çok güçlü bakteri karşıtı etki sağlamaktadır.

Gümüş nanoparçacıkları ile temas eden bakteri, virüs veya mantar hücrelerinin metabolizması bozulmakta, elektrolit dengesi yok olmakta ve enzimleri etkisiz hale gelerek ölmektedir. Araştırmacılar, gümüş nanoparçacıkların mutasyona uğramış veya uğramamış olarak bilinen 650 patojeni çok kısa bir sürede etkisiz hale getirdiğini tespit etmiştir.

Nano gümüş parçacıkları, herhangi bir şekilde kimyasal reaksiyona girmeden işlevi gerçekleştirdiği için, şekli bozulmamakta ve işlevindeki süreklilik devam etmektedir. Bu nedenle sisteme sürekli gümüş ilavesi gerekmemektedir

Gümüş iyonları, insan vücudundaki hücre zarı sayesinde hiçbir hücre ile reaksiyona girmemekte ve hücrelere zarar vermemektedir. Bundan dolayı, gümüş nanoparçacıkların insan sağlığına, bitkilere, çok hücreli canlılara zarar vermediği kabul edilmektedir[37, 38, 39].

- Alüminyum oksit (Al₂O₃) nanoparçacıklar: Alüminyum oksit (Al₂O₃), 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 Al₂O₃; yüksek sertlik, düşük yoğunluk, ısısal kararlılık, korozyon direnci gibi üstün özelliklere sahiptir. Doğada en fazla boksit cevherinde bulunan Al₂O₃' in % 90' ı, alüminyum üretiminde kullanılmaktadır.

Al₂O₃ 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[35, 40, 41].

- Bakır (Cu) nanoparçacıklar: Bakır bilinen en eski metallere biridir. Kırmızımsı renge sahip olan bakır metalinin elektrik iletkenliği çok yüksektir ve bütün metaller arasında gümüşten sonra ikinci sırada yer almaktadır. Geçiş metali olan bakır yüzey merkez kübik kristal yapısına sahiptir.

Bakır, diğer metaller ile karşılaştırıldığında ucuz olması, kolay bulunabilir olması ve kullanım alanlarının geniş olması gibi avantajlarından ötürü cazip hale gelmektedir. Nano boyutta bakır parçacıkları üzerine yapılan deneysel ve teorik çalışmalar bu parçacıkların gelişmiş mekanik ve katalitik özellikler gösterdiğini belirtmektedir. Birçok uygulamada, nano bakır parçacıklarının hacimsel bakır malzemelerle karşılaştırıldığında daha iyi özellikler gösterdiği bilinmektedir. Bunun nedeni olarak çok ince tane boyutu ve yüksek yüzey alanı gösterilmektedir.

Son yıllarda nanoparçacıkların aşınma ve sürtünme üzerindeki etkilerini açıklamak amacıyla, yağlayıcı katkı maddesi olarak kullanılmaları üzerine birçok araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalara örnek olarak, 40-100 nm arasında değişen boyutlarda nanoparçacıklar kullanılarak gerçekleştirilen, çelik üstüne ince film olarak kaplanan bakır nanoparçacıkların aşınmaya ve sürtünmeye karşı dirençli olduklarının görüldüğü araştırma verilebilir. Başka bir çalışmada ise altın nanoparçacıklar ile bir arada kullanılan bakır nanoparçacıkların zararlı CO₂ gazlarını zararsız hale getirebildiği belirlenmiştir[42, 43].

- Çinko Oksit (ZnO) nanoparçacıklar: Çinko oksit, oksijen ve çinko elementlerinden meydana gelen bir inorganik bileşiktir. Genellikle beyaz bir toz görünümündedir ancak ısıtılma veya soğutulma durumuna göre farklı renkler alabilmektedir. Suda neredeyse hiç çözünmemektedir. Çinko oksit; piezoelektrik (kuvvet etkisi altında elektrik akımı üretme, elektrik alan etkisi altında hacimce biçim değiştirme), yarı iletken ve optik özellikleri bir arada gösteren ender malzemelerden biridir. Doğada kristal yapı olarak üç şekilde bulunur.

Çinko oksit nanoparçacıklar, yüksek sıcaklıklarda buldukları atmosferdeki gazlara karşı hassasiyet gösterdikleri için gaz sensörü olarak, fotovoltaiik güneş pillerinde ve farklı disiplinlerde birçok kullanım ile karşımıza çıkmaktadır[44, 45].

- Kil nanoparçacıklar: Kil, kristal yapıları birbirinden farklı olan birkaç mineralin oluşturduğu mineral karışımının genel adıdır. Doğada bol miktarda bulunmaktadır. Saf olarak bulunmaları son derece zordur. Yapısında kil mineralleri dışında en çok kalker, silis, mika ve demir oksit bulunmaktadır. Killer farklı renklerde bulunabilirler. Bunlar sarımtırak, kırmızımtırak, esmer gibi renklerdir. Bu özellik, kilin içerisinde bulunan mineraller tarafından verilmektedir. Kil, yapısı nedeniyle su çekme özelliğine sahiptir ve bu özeliğinden dolayı her zaman nemlidir.

Nanokil, 1-100 nm boyut aralığına sahip olup, gelişmiş termal ve mekanik özellikler gösteren yeni bir malzeme grubudur. Nanokillerin plastik, metal veya seramik matris

içerisinde farklı yöntemler ile dağıtılması ile genel olarak yüksek sıcaklıklarda oldukça iyi mekanik dayanım özelliği gösteren nanokompozit malzemeler üretilmektedir[9, 46].

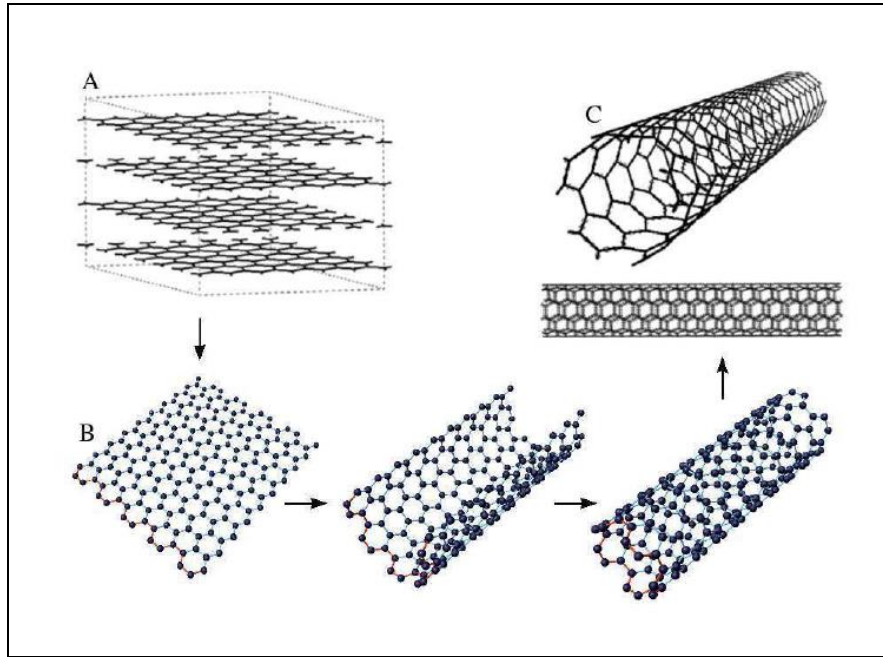
Tablo 2. 1. Nanoparçacıkların, mimaride kullanılan kompozit malzemelere kazandırdığı öne çıkan özellikler[47].

NANOPARÇACIK	KOMPOZİT MALZEME	KAZANDIRDIĞI ÖZELLİK
Titanyumdioksit (TiO ₂)	Beton	Hızlı hidrasyon, Hidrasyon derecesinde artış, Kendi kendini temizleme,
	Cam	Süper-su sever yapı, Kendi kendini temizleme, Yüzeğe yapışan kirleri parçalama, Buğu tutmama,
	Güneş pilleri	Elektrik üretim veriminde artış,
Silisyumdioksit (SiO ₂)	Beton	Mekanik dayanımda artış,
	Seramik	Işık geçirimi, Yangın dayanımında artış, Çizilme dayanımında artış,
	Cam	Yansıma oranında azalma, Yangın dayanımı, Çizilme dayanımı,
Gümüş (Ag)	Kaplama	Zararlı bileşenlerden arınma, Bakteri karşıtı etki,
	Boya	
Alüminyum oksit(Al ₂ O ₃)	Beton	Mekanik dayanımında artış, Yangın dayanımında artış,
	Kaplama	Yangın dayanımı, Çizilme dayanımı,
	Aydınlatma	Enerji tasarrufu,
Bakır (Cu)	Çelik	Kaynak işleminde kolaylık, Kolay şekillenme, Korozyon direnci
Çinko oksit (ZnO)	Güneş pilleri	Elektrik üretim veriminde artış,
Kil	Plastik	Mekanik dayanımda artış,
	Metal	

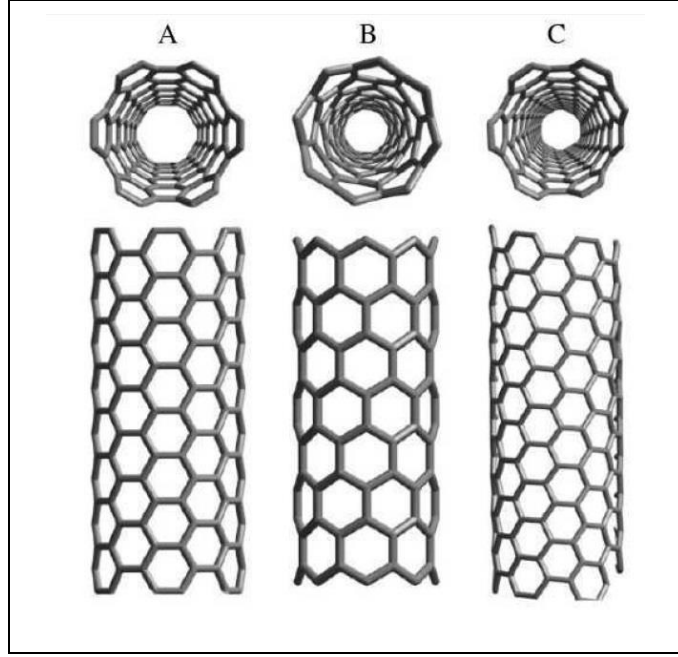
2 - Bir boyutlu (1-D) nanomalzemeler: İki boyutta nanometrik ve diğer boyutta daha büyük boyutlu malzemelerdir. Malzeme boyutundaki bu farklılık nanomalzemelerin çubuk gibi şekillenmesine neden olmaktadır. Bir boyutlu (1-D) nanomalzemeler nano tüpleri, nano çubukları ve nano telleri içermektedir. Bu malzemeler arasında, mimari uygulamalarda en önemli olan karbon nanotüplerdir[18, 47].

- Karbon Nanotüpler, grafen olarak adlandırılan, tek atom kalınlığında yalnızca karbon-karbon bağlarından oluşan, bal peteği yapısında sıkıca paketlenmiş, bilinen en sağlam malzeme olan düzlemsel bir yapının silindir şekline sarılması ile oluşturulmaktadır (Şekil 2.1) [48, 49]. Karbon nanotüpler, en basit şekilde, nanometre çaplı, mikrometre boylu, içi boş bir silindir gibi düşünülebilir[30]. Farklı çap ve boydaki bu yapıların uçları açık ya da kapalı olabilir[10].

Karbon nanotüpler, kusursuz bir şekilde sarılmış tek bir grafen düzleminden meydana gelen tek-duvarlı karbon nanotüpler (TDKNT) ve iç içe geçmiş eş merkezli birkaç silindirden oluşan çok-duvarlı karbon nanotüpler (ÇDKNT) olmak üzere iki farklı sınıfa ayrılmaktadır[50].



Şekil 2. 1. A-Grafit, B-Grafen levha, C-Karbon nanotüp[51].



Şekil 2. 2. Karbon nanotüp türleri, A-Koltuk, B- Zikzak, C-Bükük[10].

Karbon nanotüpler, tüp eksenini yönünde çekilmeye karşı çok sağlamdır, hasar görmeden dayanım gösterebilirler. Küçük çaplı (yaklaşık 1-2 nm) KNT'lerden oluşturulmuş bir demeti koparabilmek için uygulanan çekme kuvvetinin büyüklüğü yaklaşık 36 GPa (Gigapascal) ölçüsündedir. Bu bilinen en sağlam malzemelerden daha sağlam bir yapı özelliği anlamına gelmektedir.

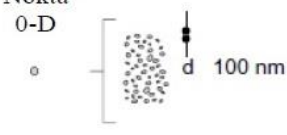
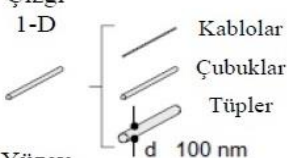
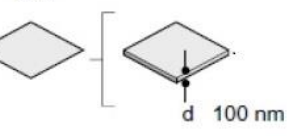
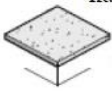
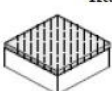
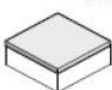
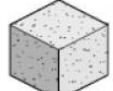


KNT lifler gerilmeye karşı en sağlam malzemelerdir. Elmas kadar yüksek dayanıma ve çok yüksek elastik modülüne (1,0-1,4 TPa) sahiptirler. En yüksek dayanıma sahip çelik alaşımından 30 kat daha güçlü olmalarının yanında düğüm yapılabilecek kadar esnek malzemelerdir ve yoğunluğu, en hafif malzemelerden olan alüminyumun yarısı ve çeliğin 1/6'si kadardır. 3000 °C'ye kadar kararlı bir yapıya sahiptirler[10, 50].

3 - İki boyutlu (2-D) nanomalzemeler: Sadece tek boyutta nanometrik seviyede olan malzemelerdir. Bu nedenle, 2-D nanomalzemeler plaka benzeri şekle sahiptir. İki boyutlu nanomalzemeler; nanofilmleri, nanotabakaları ve nanokaplamaları içerir. Bu tür partiküllerin kullanıldığı nanokompozitlerde dolgu malzemesi bir defter yaprağı gibi yalnızca tek bir boyutta nanometrik seviyededir, diğer boyutlarda ise yüzlerce ya da binlerce nanometre boyutundadır[18, 52, 53].

4 – Üç boyutlu (3-D) nanomalzemeler: Nanomalzemelerin, nano ebat aralığı <100 nm içinde yer almayan boyutlarının sayıları temel alınarak yapılan sınıflandırmada, hiçbir boyutu nano ebatlarda olmamasına rağmen, nanokristal yapıda ve nano ölçekte var olan özellikleri içeren malzemeler de yer almaktadır. Üç boyutlu (3-D) olarak sınıflandırılan bu malzemeler, nanokristal yapıları bakımından, çoğunlukla çok sayıda nano boyutlu kristallerin farklı yönlerde dizilmesiyle meydana gelmektedirler. Nano ölçekte olan özelliklerine göre, 3-D nanomalzemeler, nanoparçacık dağılımlarını, nanotel ve nanotüp demetlerini ve çok katmanlı nano plakaları içerebilir[18, 33].

2.1.1.1. Nanokompozitler

Kompozit malzemeler iki veya daha fazla malzemenin bir arada kullanılmasıyla oluşturulan ve meydana geldiği malzemelerden farklı özelliklere sahip yeni tür malzemelerdir[54]. Kompozit yapı içerisinde dolgu/takviye malzemelerinin nano boyutta uygulanmasıyla nanokompozitler üretilir. Nanotanecik veya nanolif olarak uygulanan bu malzemelerin homojen olarak matris içerisine dağılmasıyla kompozit yapıda önemli ölçüde gelişmiş mekanik, fiziksel ve ısı özelliklere ulaşılmaktadır[9].

Nanokompozitlerin Basit Geometrisi	Nanokompozitlerin Geniş Ölçekteki Formları	
<p>Nokta 0-D</p>  <p>Çizgi 1-D</p> <p>Kablolar Çubuklar Tüpler</p>  <p>Yüzey 2-D</p> 	<p>Nanokompozit kalın film</p>  <p>Nanokompozit kalın film</p>  <p>Alttaş üzerinde ince film</p> 	<p>Külçe nanokompozitler</p>  <p>Külçe nanokompozitler</p>  <p>Külçe nanokompozitler</p> 

Şekil 2. 3. Matrisle güçlendirilmiş ve tabakalanmış nanokompozitler[18].

Nanokompozitler üç boyutlu (3-D) nanomalzeme sınıfa girmektedir. Polimer, seramik veya metal olabilen nanokompozit matrisleri nano ölçekten daha büyük boyutlara sahip iken, bunların destek fazları (reinforcing phase) genelde nano ölçektedir. Farklılıklar; eklenen nanoparçacık, nanotel, nanotüp veya nanoplaka gibi destek nanomalzemelerinin tipine bağlıdır[18].

Bütün nanokompozit türleri içerisinde doğal kil ve silikat tabakasına dayanan türler en çok kullanılanlardır. Nanokompozitlerin malzemeye getirdiği diğer üstünlükler, malzemenin elastisite modülünü arttırması, malzemeyi güçlendirmesi ve ısı direncini arttırması, malzemeye gaz sızmasını engellemesi, malzemenin yanıcılığını azaltması olarak sıralanabilir[18, 52].

Geleneksel (çelik, beton gibi) malzemelere nanomalzemelerin eklenmesiyle elde edilen gelişmiş fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklere sahip nanokompozit malzemeler yapıların strüktür, kaplama, ısı yalıtımı gibi uygulamalarında kullanılabilir.

2.1.1.2. Nanoteknoloji ve Strüktür Uygulamaları

Strüktür çeşitli bilim dallarında genel olarak bir bütünü oluşturmada, görev yüklenmiş parçaların düzeni anlamına gelmektedir[55]. Strüktür sözcüğü Latince “struere” kökünden gelmekte ve üst üste yığmak, inşa etmek anlamında kullanılmaktadır[56].

Mimarlıkta strüktür sistemlerinin temel amacı yük taşımak ve önceden belirlenmiş bir statik dengeyi sağlamaktır. Bir yapı, şekli ne olursa olsun başta yer çekimi olmak üzere birçok farklı dış yük etkisindedir. Bu dış yük etkilerini ve kendi ağırlığından oluşan yükleri güvenlik sınırı altında taşıyan ve elemanlar aracılığıyla zemine aktaran sistemlere taşıyıcı sistemler denir. Taşıyıcı sistem (strüktür) kavramı, belirli açıklıkları geçme işlevini yerine getirerek, yapının geometrisini, malzemesini ve sistemini bir bütün olarak gösterip, ayakta durmasını sağlayan sistemler arasındaki ilişkileri içerir[57].

Yapı ve malzeme teknolojisi ile ilgili etkenler var olan, bilinen yapılabirlikleri sınırlandırmaktadır. Mevcut teknoloji, sınırları ve yapılabirlikleri belirlemektedir. Teknoloji, strüktür seçimi için bir etkidir. Açıklık geçme sorununda değişik işlevlere ve olanaklara bağlı olarak günümüze kadar birbirine göre belirli üstünlükleri olan çeşitli sistemler ve malzemeler kullanılmıştır[55, 56].

Çağımızın teknolojisi olarak kabul edilen nanoteknolojinin amacı, moleküler boyutta çalışarak gelişmiş özelliklere sahip yeni malzemeler üretmek ya da var olan malzemelerde

müdahaleler yaparak malzeme özelliklerini değiştirip, geliştirmektir. Bu amaca yönelik çalışmalar sonucunda üretilen yeni malzemeler, yeni teknik ve işlevleri doğuracak ve bunun sonunda yapı anlayışı da önemli ölçüde değişecektir.

Nanoteknolojik araştırmalar sonucu üretilen nanomalzemeler ve nano kompozitlerin, sahip oldukları gelişmiş fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri ile yapıların taşıyıcı sistem kurgularında geleneksel malzemeler ile çözülemeyen sorunları çözebilecekleri düşünülmektedir[3, 58].

Günümüz strüktür sistemlerinde nanoteknoloji genellikle, geleneksel malzemelere nanoparçacıkların eklenmesiyle elde edilen nanokompozitler biçiminde kullanılmaktadır. Ancak maliyetler ve teknoloji olarak verdiği takdirde tümüyle nano yapıları malzemelerden oluşturulan taşıyıcı sistemler de görülecektir[3, 4, 58].

Yapıların taşıyıcı sistem kurgularında kullanılan malzemelerin dayanım/ağırlık oranları oldukça önemlidir. Nanomalzemeler ve nanokompozitler, yüksek dayanım/ağırlık oranlarıyla, geleneksel malzemelere göre birim başına daha fazla yük taşıyabilmektedir. Bu özellikleri nedeniyle daha az malzeme kullanılarak gerekli dayanım sağlanacak ve daha az enerji tüketimi gerçekleşecektir. Bu gelişmiş özelliklerine ek olarak, nanomalzemeler ve nanokompozitler, aktif yapıda iç denetimini yapabilen, uzun ömürlü, daha az bakım gerektiren, üstün özellikli yapı malzemelerinin elde edilmesine imkân verecektir[3, 4].

Nanoteknoloji yapıların strüktür uygulamalarında beton, çelik ve ahşap malzemeler ile oluşturulan nanokompozitler biçiminde kullanılabilir.

2.1.1.2.1. Nanoteknoloji ve Beton Strüktür Uygulamaları

Beton; agrega, su, çimento ve gerektiğinde bazı katkı maddelerinin birlikte kullanılması ile elde edilen, kompozit yapıda bir yapı malzemesi olarak tanımlanabilir. Beton malzemeler, yüksek basınç dayanımı, istenilen biçim ve boyutlarda üretim, prefabrikasyona uygun olmaları gibi özellikleri ile dünyada en yaygın kullanıma sahip yapı malzemeleridir (yaklaşık olarak yılda kişi başına 1 ton beton tüketilmektedir) [3, 59].

Nanoteknolojinin getirdiği olanaklar ile betonun yapısı ve davranışları geleneksel yöntemlere oranla çok daha etkili bir şekilde incelenebilmektedir[3, 4] .

Nano boyutlarda gerçekleşen değişimler, makro boyutlardaki malzeme özelliklerini etkilemektedir ve nanoteknoloji ile geleneksel malzemelere oranla oldukça düşük enerjili,

uzun ömürlü, sürdürülebilir, kendi iç denetimini yapabilen, çok daha yüksek fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklere sahip beton malzemeler üretilmektedir.

Nanoteknoloji ile beton malzemelerin özelliklerini geliştirmek amacıyla gerçekleştirilen uygulamalar;

1. Geleneksel çimento malzemesinin taneciklerinin öğütülerek ebatlarının nano boyutlara çekilmesi,

2. Beton karışımına nanomalzeme, nanoparçacık, mikroorganizma ve mikrokapsül eklenerek malzeme özelliklerinin geliştirilmesi,

3. Beton karışımına akıllı agrega/nanosensör yerleştirilerek veri toplanması, biçiminde sıralanabilir[3, 4].

Beton karışımında kullanılan geleneksel çimento malzemesi öğütülerek, tanecik boyutları nano-boyutlara çekildiğinde, elde edilen nano çimento ile üretilen betonun dayanımında yaklaşık olarak 4 kat artış olmaktadır. Ayrıca nano-çimento kullanımı, uçucu kül ve cüruf gibi malzemelerin beton karışımında daha fazla kullanımına imkân vererek daha az enerji tüketen, sürdürülebilir beton üretimine olanak vermektedir[3, 4].

Yapısını oluşturan bileşenlerin boyutlarında değişik yapılmasından başka, beton karışımlara nanomalzeme, nanoparçacık, mikroorganizma ve akıllı agrega/nanosensör eklenerek betonun özellikleri çeşitli biçimlerde geliştirilebilir. Bu amaçla beton karışımlarında kullanılan nano güçlendiriciler ve kazandırdığı özelliklere aşağıda yer verilmiştir.

Nanosilika olarak adlandırılan silisyumdioksit (SiO_2) nanoparçacıklar, geleneksel beton malzeme karışımlarına betonun yoğunluğu arttırmak, betonun mekanik özelliklerini geliştirmek, suya sızmış kalsiyumun beton malzemedeki neden olduğu bozulmayı kontrol altına almak ve betona su sızmasını engellemek amacıyla eklenmektedir. SiO_2 nanoparçacıklar bu getirilerine ek olarak, çimento bazlı malzemelere sağlamlık ve dayanım artışı kazandırmakta, beton karışımında uçucu kül (çimento kullanımını azaltarak enerji tasarrufu sağlayan malzeme) kullanımını kısıtlayan kürleşme süresinde yavaşlama ve erken devre basınç dayanımında meydana gelen azalma gibi olumsuzlukları giderebilmektedir. Ancak beton yüzeyde delik açılması ve çivi çakılması gibi işlemleri zorlaştırması, bu tür nanoparçacıkların olumsuz etkileri olarak sıralanabilir[3, 4].

Beton karışımına çok küçük bir miktar (karışım ağırlığının %1' i oranında) karbon nanotüp eklenerek malzemenin mekanik özellikleri geliştirilebilmektedir. Çeşitli türleri olan karbon nanotüpler içerisinde, okside edilmiş çok duvarlı karbon nanotüpler, beton

malzemeye, basınç dayanımında $+25 \text{ N/mm}^2$, çekme dayanımında $+8 \text{ N/mm}^2$ ek değer kazandırarak iki özellik içinde en iyi gelişmeyi göstermektedir. Bu özelliklerinin yanında çimento esaslı malzemelerde oluşan çatlakların yayılmasını da engellemektedirler.

Beton karışımlarına karbon nanotüp eklenmesi, kazandırdığı üstün özelliklerin yanında tüplerin kümelenme eğiliminde olması ve aralarında çekim kuvveti azlığı gibi iki sorunu içermektedir[3, 4, 49].

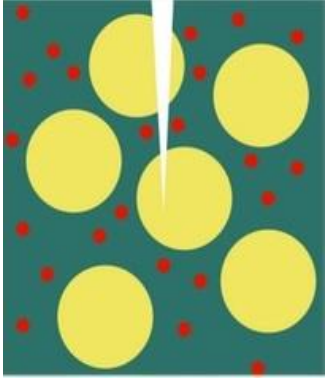
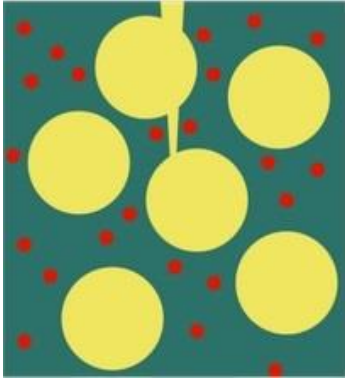
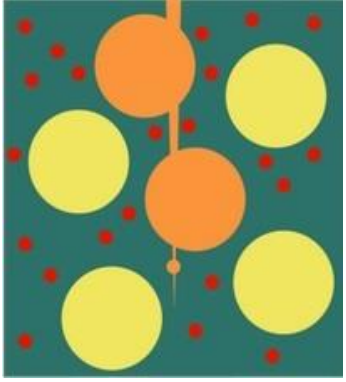
Mikroorganizmalar, nanomalzemelerin ve nanoparçacıkların beton karışımına eklenmelerine ek olarak betonun bünyesine katılarak beton malzemelerin özelliklerini geliştirilebilmektedirler. Anaerobik (oksijene ihtiyaç duymayan) mikroorganizmaların beton karışımında katıldığında, betonun 28. gün dayanımında yaklaşık olarak % 25 artış meydana gelmektedir[4].

Kendi kendini yerleştiren beton (KKYB), bünyesine eklenen nanoyapılı “polycarboxylates (plastik benzeri nanoyapılı bir malzeme)” in sayesinde yoğun bir sıvı gibi davranan, işlenebilirlik ve mekanik özelliği gelişmiş beton malzemedir.

KKYB malzeme, geleneksel betonun aksine sağlamlaştırma ve vibrasyon işlemlerine gerek duymamaktadır ve bu yolla yüksek enerji korunumu sağlamaktadır. %50 oranında iş gücü tasarrufuna olanak verir ve %80 oranında daha hızlı dökülür. Bu nedenle beton kalıplara hasar vermez[4].

Kendi kendini onaran beton (KKOB), kırılma gerçekleştiğinde bünyesine gömülü mikro kapsüllerin yırtılmasıyla ortaya çıkan nanoboyutta onarıcı ajanların, zarar gören bölgeye kılcal hareketle iletilerek, gömülü katalizörlerle tepkimeye giren ve polimerleşerek çatlak yüzeyi kapatan beton malzemedir (Şekil 2.4).

Araştırmacılar tarafından yürütülen kırılma testlerinde, kendi kendini onaran beton malzeme ile üretilen elemanların %75 oranında eski dayanımlarına eriştikleri tespit edilmiştir. KKOB malzemelerin kullanılmasıyla, geleneksel beton malzemeler ile oluşturulanlara oranla 2-3 kat daha uzun ömürlü strüktür sistemleri tasarlanacaktır[4, 60].

Kendi Kendini Onaran Beton Matris		
Malzemede çatlak.	Çatlak oluşumu, mikro kapsülleri patlatır ve iyileştirici ajanlar salınır.	İyileştirici ajanlar, katalizörlerle tepkimeye girerek polimerleşmeye neden olurlar.
		
<ul style="list-style-type: none"> ● - İyileştirici Ajanlar ● - Katalizörler ● - Polimerleşme 		

Şekil 2. 4. Kendi kendini onaran beton matrisin şematik gösterimi[3, 61].

Akıllı agregalar/nanosensörler, beton içerisine veri toplamak amacıyla yerleştirilen nano yapılı malzemelerdir. Bu malzemeler betonun yoğunluğunu, viskozitesini, kürleşme ve büzülmesini, dayanımını etkileyen sıcaklığı, nemi, klor konsantrasyonunu, pH seviyesini, yükleri, korozyonu ve titreşimleri ölçmek için kullanılır. Ayrıca sismik hareketleri, hareketli bina yüklerini ve trafik yoğunluğu gibi dış ortamı da gözlemleyebilirler[3, 4].

2.1.1.2.2. Nanoteknoloji ve Çelik Strüktür Uygulamaları

Mekanik olarak işlenebilen yani, dövülerek, baskılanarak, haddeden geçirilerek şekil verilebilen alaşımlara çelik denir. Çelik, %0.16 – 0.20 oranlarında karbon (C) içeren, mekanik ve ısı işlemler sonucu çeşitli özellikler kazanabilen bir demir-karbon alaşımıdır[62].

Çelik, kristal bir bünyeye sahip olan homojen ve izotrop bir malzemedir. Yani fiziksel ve mekanik özellikleri her yerde ve her doğrultuda aynıdır. Bu özelliği ile

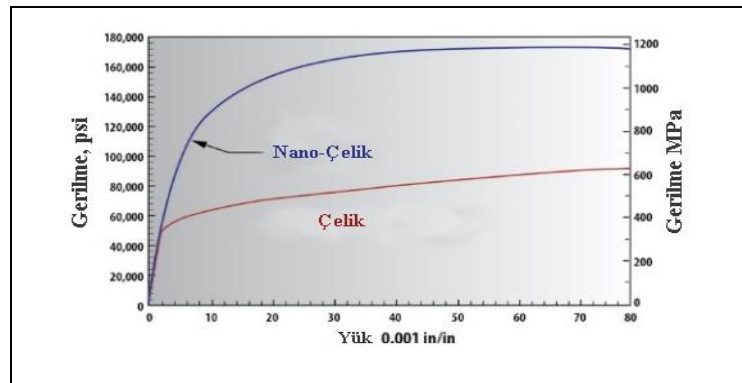
mukavemet hesaplarında esas alınan ideal malzeme kabulüne en iyi uyan malzemedir[63]. Ayrıca sağlamlığı, yüksek çekme ve kopma direnci, işlenebilirliği gibi özellikleri ile metalik malzemeler arasında sanayide ve yapılarda en çok tercih edilen malzemedir[62, 65].

Yapılarda kullanılan çelik, sıcak işlenmiş çeliktir. Bu tip çelik belirli bir akma bölgesi gösterir. Karbon miktarı arttıkça çeliğin hem mukavemeti, hem de sertliği artar.

Nanoteknolojinin strüktürel olarak çelikte kullanımı farklı şekillerde olabilmektedir:

Nanoteknolojinin çelik malzemelerde en yaygın kullanımı, çelik malzemelerin üretimlerine farklı nanoparçacıkların eklenmesi ile farklı özelliklerde çelik malzemelerin elde edilmesidir. Bu şekilde elde edilebilecek bazı özellikler arasında çeliğin sertliğini, korozyon direncini ve dayanımını arttırmak (Şekil 2.5.), manyetik özelliklerini geliştirmek, aşınma direnci kazandırmak ve yüksek veya düşük sıcaklıklarda mekanik özelliklerini geliştirmek sayılabilir. Örneğin bakır (Cu) nanopartikül ilavesi; çeliğin yüzey pürüzlülüğünü gidermekte ve dayanımı arttırmaktadır[3, 4].

Nanoteknoloji ile üretilen konutlar, köprüler gibi birçok işlevde kullanılan nano özellikli çelikler, geleneksel çelik malzemelere oranla 5 kat daha fazla korozyon dayanımına sahiptir ve geleneksel çelik malzemelere oranla 3 kat daha güçlüdür (Şekil 2.6.) [64].





Şekil 2. 5. Nanoteknolojik çelik, geleneksel çelik dayanım karşılaştırılma grafiği[64].

Çeliğin sementit fazının nano boyutlara inceltmesiyle, güçlü çelik kablolar üretilmektedir. Yüksek dayanımlı çelik kablolar köprü strüktürlerinde ve ön gerilmeli betonlarda kullanılmaktadır.

Tekrarlı yüklenme altında (köprü, kuleler gibi) geleneksel çelik malzemeler dayanım kaybına uğramakta ve strüktür ömründe önemli bir azalmaya neden olmaktadır. Strüktür ömründe meydana gelen bu azalma, kaynakların verimli kullanımını kısıtlar ve güvenlik sorununu ortaya çıkarır.

Çelik malzemeler ile oluşturulan yüksek katlı strüktürler, güçlü dayanıma sahip bağlantı noktaları gerektirmektedir. Bu bağlantı noktaları, yüksek dayanıma sahip cıvatalar ve kaynak uygulamalarının gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Yüksek dayanımlı cıvatalar, genellikle temperli martenzitten üretilmektedir. Temperli martenzitten üretilen cıvataların, çekme dayanımı 1.2 Mpa'yı aşarsa çok az miktarda hidrojen bile kırılmaya neden olabilmektedir. Bu özellik çelik cıvataların dayanım güçlerini 1,000 – 1,200 Gpa arasında sınırlı tutmuştur. Vanadyum ve molibden nanoparçacıkları kullanılarak, hidrojenin gevretme etkisi azaltılıp, yüksek dayanımlı cıvatalar üretilmektedir[3, 4].

Bağlantı noktalarında uygulanan kaynak ve ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB) kırılma yapıda olabilir ve ani dinamik yüklerin etkisiyle (özellikle deprem bölgelerinde) uyardan ani bir şekilde kırılabilir. Magnezyum ve kalsiyum nano parçacıklarının eklenmesi ısı tesiri altında kalan bölgede bulunan tanecikleri daha ince hale getirmektedir (1/5 geleneksel malzeme boyutlarına göre) bu uygulama ile kaynak dayanımında artış sağlanabilmektedir. Bağlantı noktalarındaki kaynak dayanımı arttıkça, daha az kaynak gereksinimi ve malzeme kullanımı ortaya çıkmaktadır.

<p>Geleneksel donatı yerleştirilmesi</p> <p>(420 Mpa dayanım gücü)</p>	<p>Nano özellikli çelik donatı yerleştirilmesi</p> <p>(690 Mpa dayanım gücü)</p>
	

Şekil 2. 6. Geleneksel çelik donatı örgüsü ile nanoteknolojik çelik donatı örgüsü[64].

2.1.1.2.3. Nanoteknoloji ve Ahşap Strüktür Uygulamaları

“Ahşap”, canlı bir organizma olan ağacın meydana getirdiği, lifli, homojen ve anizotrop dokuya sahip organik esaslı bir malzemedir[66].

Ahşabın hammaddesi olan ağacın en kesiti, iç içe halkalardan oluşan bir dokuya sahiptir. Bu halkaların bünyesinde birçok lif bulunmaktadır. Genel olarak bitkisel hücrelerden oluşan bir dokuya sahip ahşapta hücre zarını oluşturan esas maddeler, selüloz, lignin ve hemiselülozdur. Bu maddeler dışında ağacın yapısında reçine, yağ, albümin, mum, tanen ve bazı boyalı maddeler de bulunmaktadır.

Ahşabın özellikleri; fiziksel ve mekanik olmak üzere iki ana grupta incelenebilir. Fiziksel özellikleri; ahşabın özgül ağırlığı, içindeki nem miktarı, ısı, ses ve elektrik iletkenliği ve ahşabın dayanıklılığı, mekanik özellikleri; aşınma direnci, elastikiyet modülü, sertlik, basınç direnci, çekme direnci, eğilme direnci, makaslama direnci, yarıma direnci ve dinamik eğilme (şok) direnci biçiminde sıralanabilir[67, 68].

İnsanoğlunun yaşamında her zaman önemli bir yere sahip olan ahşap; eski çağlardan bu yana yapı üretiminde çeşitli biçimlerde kullanım alanı bulan ve farklı yapı sistemlerinde kullanılabilen bir yapı malzemesi olmuştur.

Strüktürel amaçlı ahşap kullanımı, strüktür tarihinin en eski sistemlerinden biri olarak bilinen dikme ve kiriş sistemi ile hayata geçmiştir. Önceleri dikme ve kiriş sistemi kullanılarak ahşap ile geniş açıklıkların geçilebilmesi ancak doğadan elde edilebilen büyük boyutlu ağaçlar ile olanaklı olmuştur. Geniş açıklık geçmede kullanılacak ahşap yapı malzemesinin boyutsal sınırları dolayısı ile malzemenin kullanım biçiminde çeşitli arayışlara gidilmiştir. Ahşap malzeme, geleneksel yapıdan endüstriyel yapıya geçiş sürecindeki yetersizlikler nedeni ile strüktürel amaçlı yapı üretiminin temel gereksinimlerine yanıt verememiş ve kullanım alanı daralmıştır[69].

I. Dünya Savaşı öncesi ve savaş yıllarında değerli bir silah hammaddesi olan çeliğin yapı alanından çekilmesi, ahşap malzemenin farklı fonksiyonlardaki yapılarda ve daha rasyonel olarak kullanılması zorunluluğunu beraberinde getirmiştir. Dolayısıyla, bugün kullanılan modern birleşim elemanlarının birçoğunun bulunması, ahşabın çeşitli dış etkilere karşı korunmasını sağlayan malzemelerin ve kullanma yöntemlerinin geliştirilmesi de bu dönemlerde olmuştur.

Ahşabın yapı malzemesi olarak kullanımındaki ikinci büyük aşama II. Dünya Savaşı ve onu izleyen yıllarda olmuştur. Savaş sanayiinde geliştirilmiş olan, sıcağa ve rutubete dayanıklı yapay reçine tutkalları ahşap yapılarda da uygulanmaya başlanmıştır.

Tutkalların geliştirilmesiyle tutkallı tabakalanmış konstrüksiyonlar ortaya çıkmış ve bu da mimaride ahşap kullanımının çok değişik boyutlara ulaşmasını sağlamıştır[70].

Nanoteknoloji, mikro boyutlarda liflerin birbirine bağlanmasını kontrol etmek ve nano-boyutlarda nanolif bağlamalar gerçekleştirmek gibi ahşap malzemelerin strüktürel performans ve kullanılabilirliğini artırma imkânı sağlamaktadır. Ayrıca nanokatalizörler aracılığı ile kendi kendini temizleyen ahşap yüzeyler; nanosensörler ile küf, çürüme ve termitlerin tespit edilmesi ve ahşap malzemelerin daha işlevsel hale getirilmesi mümkün olabilmektedir.

Strüktür sistemlerinde ahşap malzeme kullanımı ile ilgili en önemli problemlerden biri çürümedir. Geleneksel ahşap malzemelere, çürümenin engellenebilmesi amacıyla basınç işlemi uygulanmaktadır ancak, uygulama sırasında kullanılan metalik tuzların insan sağlığı ve çevre açısından olumsuz etkileri vardır. Nanoboyutlara sahip, içerisi organik bileşenler ile doldurulmuş plastik kapsüllerin ahşap liflerin arasına yerleştirilmesiyle bakteri, mantar, su yosunu, küf veya maya içeren mikroorganizmaları kontrol edici veya öldürücü etkisi olan, çevreci ahşap malzemeler üretilmektedir. Ayrıca, yapılarda strüktür sistemlerinde kullanılan ahşap elemanlar, içerilerine enjekte edilen zeolit kristalleri ile nano ölçekte, ahşabın moleküler yapısını değiştirerek, ahşap malzemeyi bir güneş enerjisi depolama aracına dönüştürmektedir. Karbon nanotüpler ve nanokil parçacıkları, ahşap malzemelerin sertlik ve mekanik özelliklerini geliştirmek ve yeni nesil keresteler elde etmek amacıyla kullanılabilir[3, 4].

2.1.1.2.4. Yeni Nesil Nanostrüktür Uygulamaları

Nanoteknoloji, günümüzde strüktür sistemlerinde kullanılan geleneksel malzemelerin (beton, çelik, ahşap) fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerini geliştirmek amacı ile kullanılmaktadır. Geleneksel malzemelerin üzerinde yapılan nano boyutlu müdahaleler, makro boyutlardaki malzeme özelliklerini etkilemiştir ve daha gelişmiş özelliklere sahip strüktür sistemleri inşa edilebilmektedir. Yakın gelecekte, bütünüyle nano malzemelerden (nanotüpler, nanolifler, nanolevhalar gibi) oluşturulan strüktür sistemlerinin geliştirilmesi öngörülmektedir. Örneğin, araştırmacılar tarafından üretilen şeffaf, çelikten çok daha fazla

çekme dayanımına sahip, oldukça ince yapılı karbon nanotüpler tek başlarına yapıların strüktür sistemlerini oluşturacak nitelikte malzemelerdir. Bu malzemeler ile oluşturulacak yeni nesil nano strüktürler, strüktür ve kabuk arasındaki geleneksel ilişkiyi ve düşünceleri önemli oranda değiştirecektir. Örneğin oldukça ince karbon nanotüp levhalar yapı, strüktür ve kabuk işlevini aynı anda gerçekleştirebilecek ve geleneksel strüktür sistemleri tamamıyla ortadan kaldırılabilecektir. Bu uygulama ile strüktür sistemlerine aydınlatma işlevi de yüklenebilecektir. Kısacası, yeni nesil nano strüktür sistemleri ile yüksek dayanıma sahip, az bakım gerektiren, az enerji tüketen sürdürülebilir yapılar oluşturulmasının yanında günümüzde hayali olarak görülen yapıların, strüktür sistemlerinin inşası mümkün olacaktır[3].

2.1.1.2.5. Strüktür Uygulamalarında Nanoteknoloji Kullanımı Analiz Tablosu

Mimari yapıların strüktür sistemlerinde yaygın kullanıma sahip geleneksel malzemeler (beton, çelik, ahşap) ve yakın gelecekte kullanıma sunulması beklenen yeni nesil strüktür malzemeleri üzerinde nanoteknolojinin nasıl kullanıldığı (kullanılan nanomalzeme, kullanım biçimi), avantajları ve dezavantajları Tablo 2. 2.' de özetlenmiştir.

Tablo 2. 2. Strüktür uygulamalarında nanoteknoloji kullanımı

STRÜKTÜR MALZEMELERİ	STRÜKTÜR UYGULAMALARINDA NANOTEKNOLOJİ KULLANIMI			
	KULLANILAN NANOMALZEME	KULLANIM BİÇİMİ	KULLANIM AVANTAJLARI	KULLANIM DEZAVANTAJLARI
BETON	Nanotanecikli çimento	Beton üretiminde geleneksel çimento yerine kullanılarak	Dayanım artışı, enerji tasarrufu	Nano ölçekte üretim ve kontrol zorluğu
	Silisyumdioksit(SiO ₂)	Beton karışımına SiO ₂ nanoparçacıklar katılması	Dayanım artışı, enerji tasarrufu, yoğunluk artışı ve su sızmasının engellenmesi	Beton malzeme yüzeyinde delik açılması ve çivi çakılmasının zorluğu
	Karbon nanotüp(KNT)	Beton karışımına nanoboyutlarda KNT katılması	Basınç ve çekme dayanımında artış	KNT' lerin kümelenme eğilimi ve aralarındaki çekim kuvveti azlığı
	Mikroorganizmalar	Beton karışımına mikroorganizmaların katılması	Basınç dayanımında artış, kendini onarma ve uzun kullanım ömrü	Nano ölçekte üretim ve kontrol zorluğu
	Polycarboxylates	Beton karışımına nanoboyutlu polycarboxylates katılması	İşlenebilirlik artışı, kendi kendini yerleştirme, mekanik özelliklerin gelişmesi ve enerji tasarrufu	Sistemin oldukça yeni olması
ÇELİK	Bakır	Çelik üretim sürecine nanoboyutlu parçacıklar şeklinde katılma	Korozyon direnci, dayanım artışı ve yüzey pürüzsüzlüğü	Nano ölçekte üretim ve kontrol zorluğu
	Vanadyum/Molibden		Yüksek dayanımlı bağlantı elemanları	
	Magnezyum/Kalsiyum		Yüksek dayanımlı kaynak, uzun kullanım ömrü	
AHŞAP	Nanolif	Ahşap liflerinin nanoboyutta bağlanması şeklinde gerçekleşir.	Dayanım artışı	Nano ölçekte üretim ve kontrol zorluğu
	Plastik nanokapsül	Ahşap lifler arasına nanokapsüller yerleştirilmesi	Bakteri ve küf benzeri zararlı mikroorganizma karşıtı etki	
	Karbon nanotüp(KNT)	Beton karışımına KNT katılması	Sertlik ve mekanik dayanım artışı	
	Zeolit Kristali	Ahşap malzeme içerisine yerleştirilmesi	Güneş enerjisi depolama	
YENİ NESİL NANOMALZEME	Nanotüp	Nanoteknoloji ile geliştirilmesi öngörülen, cephe ve strüktür işlevini bir arada sağlanması	Yeni nesil nano strüktür sistemleri ile yüksek dayanıma sahip, az bakım gerektiren, az enerji tüketen, sürdürülebilir yapılar	Henüz fikir aşamasında olmaları ve ürüne dönüştürülmedikleri için dezavantajları bilinmemektedir.
	Nanolif			
	Nanolevha			

2.1.1.3. İşlevsel Nanokaplamalar

Malzemelerin yüzeylerini olduklarından daha güzel göstermek, onları dış etkilere korumak amacıyla çeşitli yöntemler ile kaplamalar uygulanır. Geçmişte kaplamalar yüzeylerin görüntüsünü değiştirmek, süslemek ya da korumak amaçlı kullanılırken günümüzde bu etkileri sağlamanın yanında işlevsel özellik kazandırmak için de kullanılmaktadır.

Malzemelerin her zaman istenen özellikleri sağlamları mümkün olmaz, ya da istenen özellikleri sağlayacak malzemeler çok pahalı olabilir. İşlevsel kaplamalar; uygulandıkları yüzeylerin özelliklerini değiştirerek ya da yeni özellikler kazandırarak malzemelerin kullanım alanlarını genişletir, onlara değer kazandırır. Genel olarak işlevsel kaplamaların dayanıklı, uygulaması kolay, ucuz, çevre dostu olması beklenmektedir. Bu özelliklerin sağlanmasında en etkin yöntem nanokaplamalardır[71].

Nanokaplama; bünyesine nanoparçacıklar dâhil edilmiş boya veya ince film şeklinde oluşturulan bir tabaka ile malzeme yüzeylerinin kaplanmasıdır. Bazı durumlarda, nanoparçacıklar geleneksel malzemelerin karışımlarına doğrudan eklenerek yüzey özellikleri istenilen yönde geliştirilebilir. Nano boyutta, makro boyutlarda görülmeyen kimyasal ve fiziksel değişimler görülür ve nano boyutlu taneciklerin yüzeye düzgün sıralanması ile nitelikli kaplamalar elde edilebilir. İşlevsel nano kaplamalar, istenen özellikleri sağlayacak kimyasal hammadde oranlarının hesaplanmasından sonra cam, metal, seramik, beton, plastik gibi her türlü yüzeye uygulanabilir[18, 71].

Çeşitli yöntemler (daldırma, sprej gibi) kullanılarak malzeme yüzeylerine uygulanan nanokaplamalar, sağladıkları yüzey özellikleri dikkate alınarak,

- Kendi kendini temizleyen,
- Kolay temizlenen,
- Havayı temizleyen,
- Buğu tutmayan,
- Bakteri karşıtı,
- Parmak izi tutmayan,
- UV ışınlarından koruyan,
- Çizilmeyen ve aşınmaya dirençli,

nanokaplamalar biçiminde sınıflandırılabilir.

Nanokaplamalar, üretimlerinde kullanılan nanoparçacıkların farklı özelliklere sahip olmaları nedeniyle, bu gelişmiş özelliklerden herhangi birini sağlayabilecekleri gibi birkaç farklı özelliği bir arada da sağlayabilirler[3, 16].

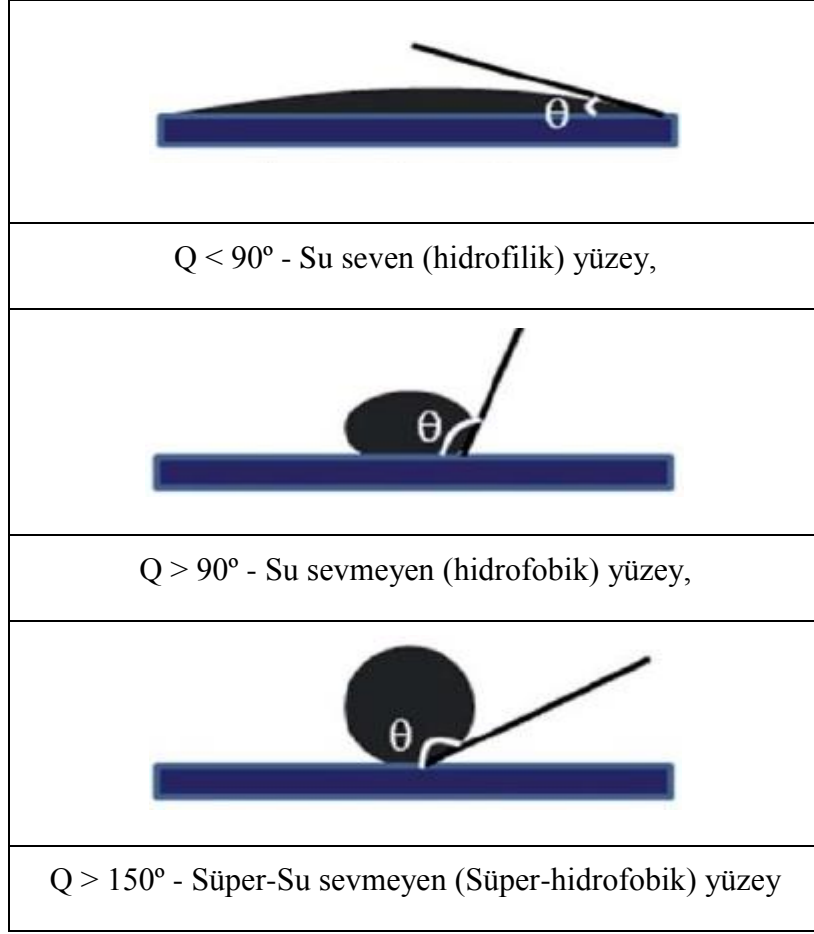
2.1.1.3.1. Kendi Kendini Temizleyen Nanokaplamalar

Kendi kendini temizleme özelliği son yıllarda yaygın olarak kullanılan bir kavramdır. Bu özelliğe sahip nanokaplamalar; geniş kullanım alanları (camlar, güneş enerji panelleri, çimento esaslı malzemeler gibi), ekonomik, estetik ve çevresel getirileri nedeniyle, dünya genelinde birçok araştırmaya konu olmuştur[72, 73].

Kendi kendini temizleyen nanokaplamalar, lotus etkisiyle kendi kendini temizleyen ve fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleyen nanokaplamalar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Her iki uygulamada da kirler ve diğer yabancı maddeler, yüzeyden su hareketleriyle uzaklaştırılır. Fotokatalitik etkiye sahip nanokaplamalar, bu özelliğe ek olarak güneş ışığına maruz kaldıklarında emilmiş kirleri parçalayabilme özelliğine sahiptirler[49, 20].

Lotus etkisi ile kendi kendini temizleme özelliğine sahip nanokaplamalar su sevmeyen (hidrofobik) yapıda, fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleyen nanokaplamalar ise su seven (hidrofilik) yapıda yüzeyler oluşturur. Bu sınıflandırma, yüzeylerin üzerlerine gelen su damlacıkları ile yaptıkları temas açısı temel alınarak gerçekleştirilir. Temas açısı $< 90^\circ$ ise yüzey su seven (hidrofilik), $> 90^\circ$ ise su sevmeyen (hidrofobik), 0° ye yakın ise süper-su seven (süper-hidrofilik), $< 150^\circ$ ise süper-su sevmeyen (süper-hidrofobik) olarak adlandırılır (Şekil 2.7).

Su seven karakterde nanokaplamaların üzerine düşen su tanecikleri yüzeye yayılarak kirleri ve diğer yabancı maddeleri temizlerken, su sevmeyen karakterde nanokaplamaların üzerine düşen su tanecikleri yüzeye yayılmadan, yuvarlanarak kirleri ve diğer yabancı maddeleri uzaklaştırır[72, 73, 74].



Şekil 2.7. Su seven, su sevmeyen ve süper-su sevmeyen yüzeylerin şematik gösterimi[74].

Kendi kendini temizleme özelliğine sahip nanokaplamalar kullanılarak, bakım ve temizlik masrafları, temizliğe ayrılan zaman, iş gücü ve zararlı temizlik maddelerinin kullanımı azaltılabilir[74].

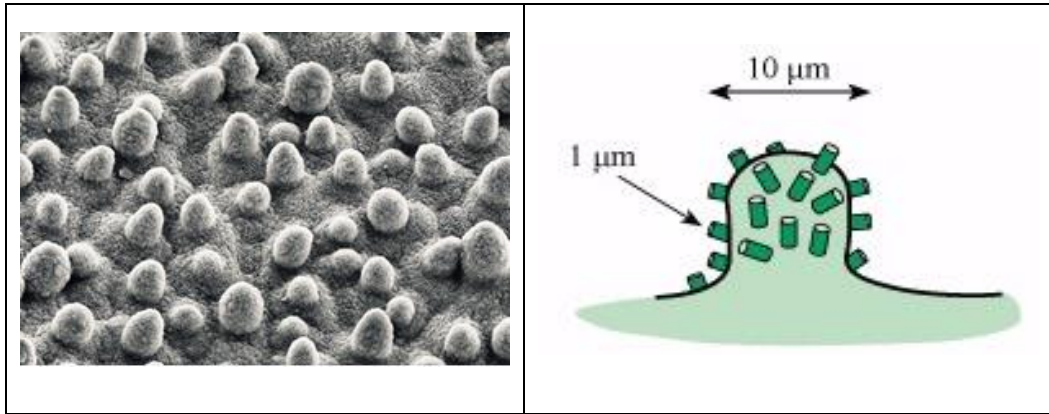
2.1.1.3.1.1. Lotus Etkisiyle Kendi Kendini Temizleyen Nanokaplamalar

Günümüzde kullanılan teknolojilerin pek çoğu gibi, kendi kendini temizleme teknolojisi de kaynağını doğadan almaktadır. Doğada bulunan keleklerin kanatları, nilüfer çiçeğinin ve lahana bitkisinin yaprakları gibi pek çok yüzey kendi kendini temizleme özelliğine sahiptir. Bu özellik ilk olarak 1970 yılında bitki bilimci Wilhelm Barthlott tarafından, çeşitli bitkiler üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda keşfedilmiştir[18, 74].

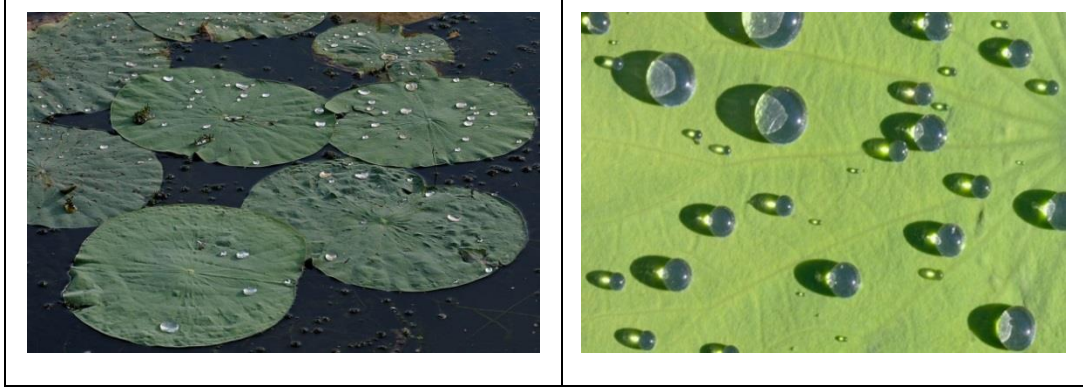
Lotus çiçeği (*Nelumbo nucifera*), yapraklarının kendi kendini temizleyebilme özelliği nedeni ile birçok Asya ülkesinde temizlik sembolü olarak bilinen bir bitkidir[50].

Lotus bitkisi, üzerine toz parçacıkları geldiğinde yapraklarını hareket ettirerek, toz parçacıklarını yaprakların yüzeyindeki belli noktalara doğru iter ve yağmur yağdığına üzerindeki su damlalarını da toz parçacıklarını biriktirdiği noktaya doğru iterek tozları ve diğer yabancı maddeleri yüzeyinden uzaklaştırır. Alman bitki bilimciler Barthlott ve Neinhuis tarafından yapılan araştırmalar sonucu keşfedilen bu durum “lotus etkisi” olarak adlandırılmıştır[75, 76].

Lotus etkisi, lotus çiçeği yapraklarının yapısından kaynaklanmaktadır. Lotus yaprağı, mikro/nano ölçekli çift katmanlı yapıdadır. Birinci katman, birbirinden 5-10 μm yarıçap ile ayrı duran, 10-15 μm boyutundaki küçük çıkıntılardan (papilla) oluşur (Şekil 2.8). Her çıkıntı, yüksekliği yaklaşık 100 nm olan su sevmeyen yapıda, rastgele dağılmış yumrular ile kaplıdır (Şekil 2. 8). Bu yumrular, lotus yaprağının yüzeyine pürüzlü bir özellik kazandırmaktadır. İkinci katman ise bütün yüzeyi kaplayan 1 nm çapında mum tabakasıdır. Mum, bitki ve çevre arasında çok işlevli bir ara yüz oluşturmakta; hava akışı, ışık yansımalarını etkilemekte ve su damlalarının çıkıntılar arasındaki boşluklara girmesini engellemektedir. Yaprağın sahip olduğu bu yapı nedeniyle, su damlaların yüzeylerinin ancak %2– 3’ü yaprak yüzeyiyle temas etmektedir[77, 78].

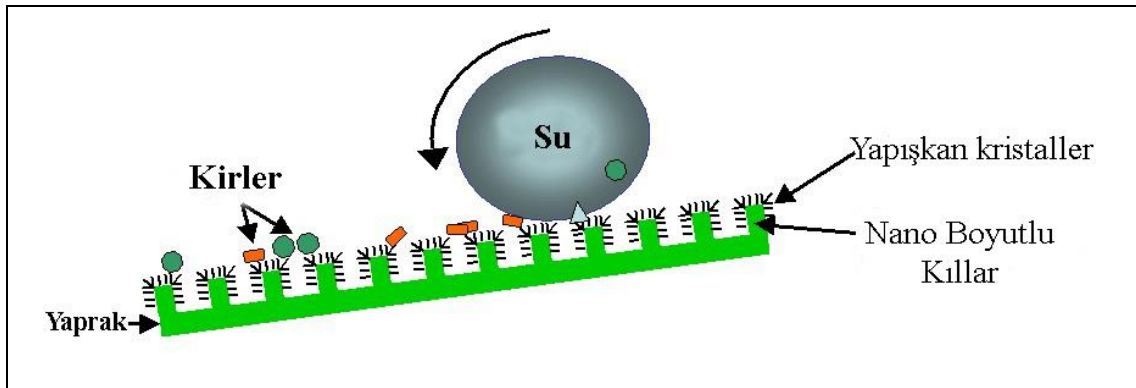


Şekil 2.8. Lotus yaprağının nanoboyutlarda yüzeyi ve yüzeyde bulunan çıkıntılarının şematik gösterimi[76, 79].



Şekil 2.9. Lotus yaprağı yüzeyinde su damlacıkları[76, 79].

Yaprak yüzeyinde rastgele dağılmış çıkıntılıların üzerindeki mumlu yumrular (mikro/nano çift katmanlı yapı) 157° 'lik bir temas açısı oluşturur. Bu da yapışkanlık kuvvetini azaltır ve lotus yaprağının su sevmeyen yüzeye sahip olmasına neden olur. Bu sayede yaprak yüzeyine düşen su damlacıkları yaprağı ıslatmadan küresel şekilde kalmakta ve su damlacığının yaprak üzerinde hareket etmesi için 2° 'lik bir eğim yetmektedir (Şekil 2.9). Su damlacığının yuvarlanarak yüzeyden hareket etmesiyle beraber istenmeyen kirler su damlacığına yapışarak ortamdan uzaklaştırılır ve yüzey temizlenmiş olur (Şekil 2.10) [76, 80, 81].

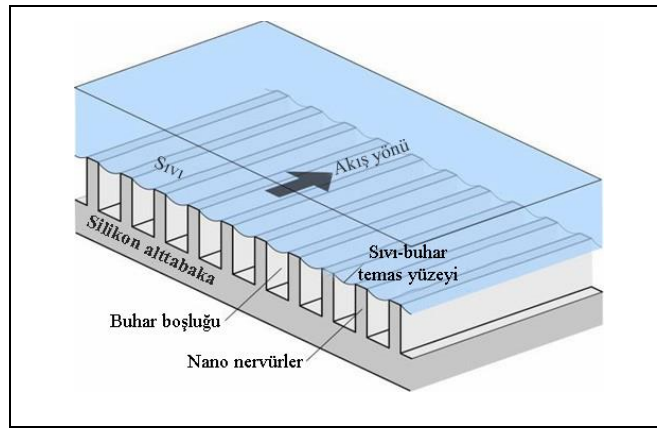


Şekil 2.10. Lotus yaprağı yüzeyinde su damlacığı hareketinin şematik gösterimi[82].

Lotus bitkisinin yapraklarının yapısal özelliklerine bağlı olarak meydana gelen kendi kendini temizleme etkisi, yaprak yüzeyin nano yapısından ve su sevmeyen karakterinden kaynaklanmaktadır. Nanoteknoloji ile benzer yapısal ve karakteristik özellikler taklit edilerek, lotus etkisiyle kendi kendini temizleyen nanokaplamalar elde edilmektedir. Bu

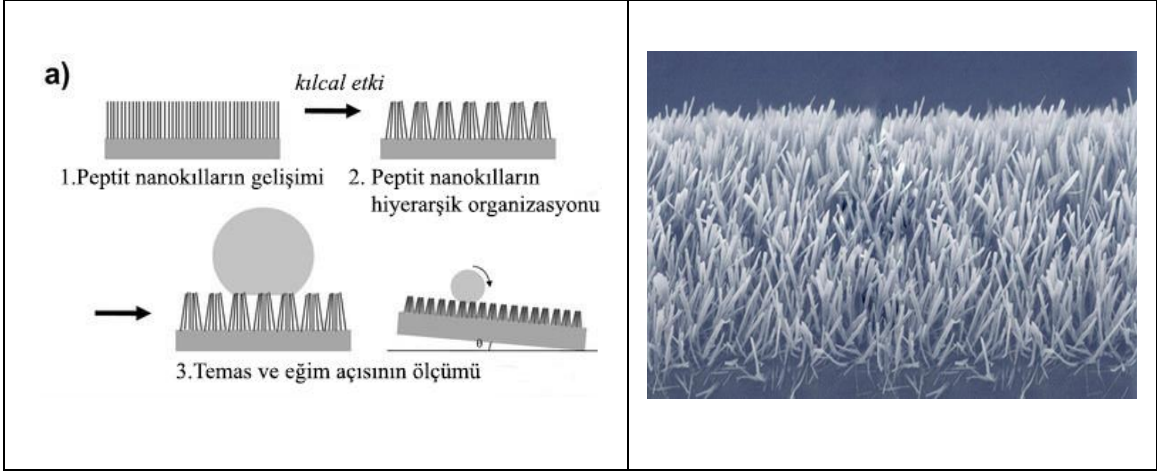
amaca yönelik olarak kullanılan en basit ve yaygın yöntem, nanoboyutta pürüzlü yapıya ve düşük yüzey enerjisine sahip nanokaplamalar oluşturmaktır (Şekil 2.11).

Nanoboyutta pürüzlü yüzeye sahip nanokaplamalar ile üzerlerine gelen su damlacıklarının yüzeyleri arasındaki temas alanını oldukça azdır ve su damlacıklarının malzeme yüzeyini yuvarlanarak terk etmesi için çok az miktarda enerji yeterli olmaktadır. Bu tür pürüzlü yüzeylerin bazılarında nanoboyutta hava boşlukları bulunabilir ve bu boşluklar, su damlacıkları ile yüzey arasında temas alanını azaltarak yüzeyin su sevmeyen yapısını geliştirir (Şekil 2.11) [18, 81].



Şekil 2.11. Nanoboyutlu, pürüzlü yüzey ile su temasının şematik gösterimi[83].

Su sevmeyen yüzeylerde temas açısı da önemlidir. Kendi kendini temizleyen yüzeylerde sıvı ile yüzey arasındaki temas açısı, malzemenin üzerine gelmesi öngörülen sıvının cinsine bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Bu yöntemle üretilen lotus etkili nanokaplamalara örnek olarak, peptit molekülleri ile oluşturulan yüzeyler verilebilir (Şekil 2.12). Birbirine peptit bağlarıyla bağlanmış iki ya da daha fazla sayıda amino asidin meydana getirdikleri moleküllere “peptit” denir. Nanoteknoloji ile yapılan çalışmalar sonucunda, su sevmeyen yapıda, oldukça kısa ve ucuz olan iki amino asitten oluşan peptitlerin atom veya moleküllerini kontrol ederek nanoboyutlarda, çim benzeri yüzey elde edilmiştir. Bu yapı nedeniyle su damlacıklarının yüzey ile teması minimuma indirilmiştir[18, 81].



Şekil 2.12. Peptit molekülleri kullanılarak lotus etkili yüzey oluşumun şematik gösterimi, nanoboyutlarda peptit yüzeylerin görüntüsü[84].

Lotus etkisiyle kendi kendini temizleme özelliğine sahip nanokaplamalar, yeterli miktarda suya maruz kalan yüzeylerde tercih edilmelidir. Az miktarda suya maruz kalan yüzeylere uygulanması, suyun akış yönlerinde izler ve kuruma lekeleri oluşarak yüzeyi olduğundan daha kirli gösterebilmektedir. Bu nedenle suyun varlığı olmadan bu tür kaplamaların kullanımı işlevsel olarak gereksizdir. Bu tür kaplamaların henüz mekanik aşınmaya dirençli olmamaları nedeniyle zeminlerde kullanılmaları uygun değildir[16].



Şekil 2.13. Lotus etkili nanokaplama uygulanmış cam, seramik ve metal yüzeylerde su damlacıklarının aldığı şekil[80].

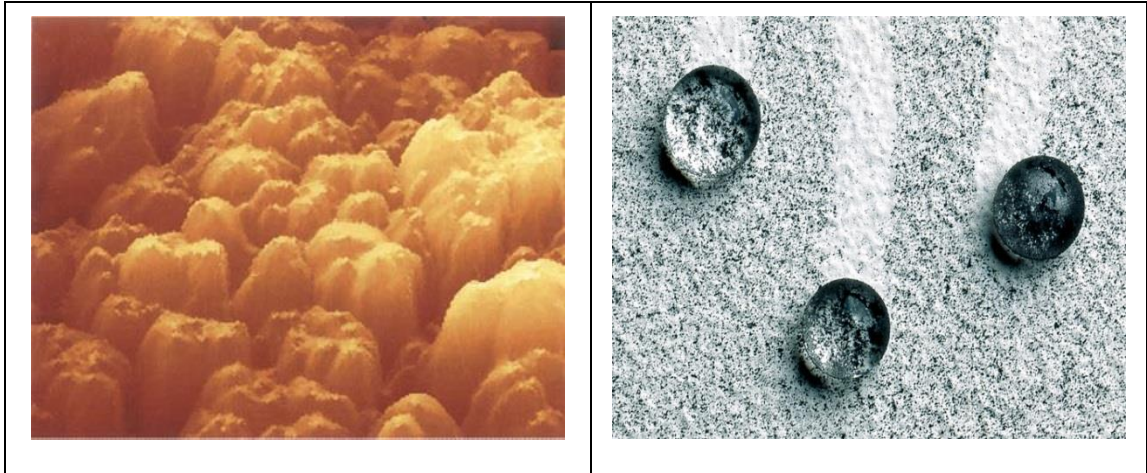
Lotus etkisiyle kendi kendini temizleme özelliği boyalarda kullanılabilir. Bu özelliğe sahip boya kullanılan örnek bir yapı olarak Palu, Hırvatistan' da bulunan 2 katlı müstakil konut verilebilir (Şekil 2.14). Heykelsimsi bir forma sahip, kalın dış duvarları, bu duvarlara

oyulmuş pencereleri ve girişin üstünde uzanan platform ile eski kaleleri andıran yapının bütün cephelerine lotus etkili, beyaz renkte boya uygulanmıştır. Uygulanan bu boya yenilenmeye ihtiyaç duymaksızın 5 yıl boyunca işlevini yerine getirebilecek özelliktedir[16].



Şekil 2.14. Lotus etkili boya uygulanmış müstakil bir konut, Palu-Hırvatistan[16].

Uygulanan lotus etkili kaplama ile yüzeye, nanoboyutlarda pürüzlülük ve su sevmeyen yapı kazandırılmıştır. Bu sayede su damlacıkları yüzeyi ıslatmadan, kirleri bünyesine katarak yüzeyden uzaklaşır (Şekil 2.15) [16].



Şekil 2.15. Lotus etkili boya uygulanmış yüzeyin mikro boyutlarda yapısı, lotus etkili yüzeyde su damlacıklarının yüzeyi temizleme hareketi[16].

Lotus etkisiyle kendi kendini temizleme özelliğine sahip nanokaplamalar ile bakım ve temizlik masrafları, temizliğe ayrılan zaman ve iş gücü, zararlı temizlik maddelerinin kullanımını azaltılabilir[74].

2.1.1.3.1.2. Fotokatalitik Etkiyle Kendi Kendini Temizleme Özelliğine Sahip Nanokaplamalar

Fotokataliz, fotokimya ve katalizin birleşmesinden oluşan, bir kimyasal dönüşümün başlaması ya da hızlandırılması için ışık ve katalizörün bir arada bulunması gerektiğini ifade eden bir sözcüktür. Katalizör olarak aktif bir madde bulunmayan ortamlarda yükseltgenme (oksidasyon) tepkimesi yavaş ilerler[9].

Fotokatalizör, ışık yolu ile aktifleşen bir katalizördür. Işığı emerek yüksek enerjili bir hale gelir ve bu enerjiyi reaktif maddelere transfer ederek kimyasal tepkimeyi başlatır. Bir metal karışımı, yarı iletken bir madde fotokatalizör olarak kullanılabilir.

İdeal bir fotokatalizörün;

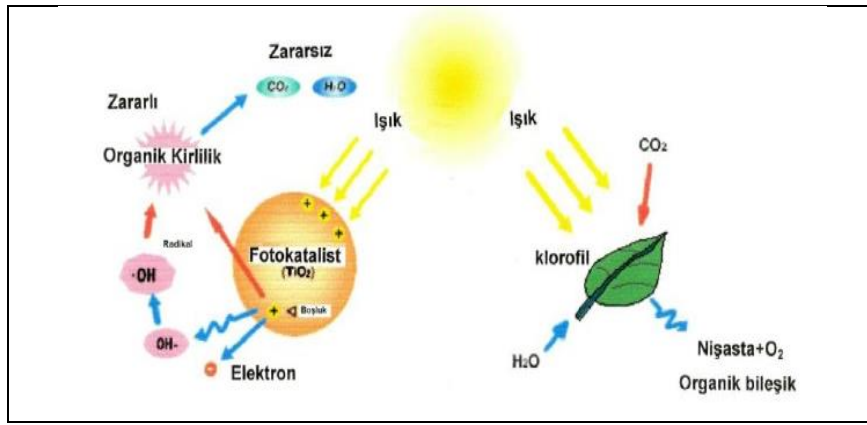
- Tamamen kararlı fiziksel ve kimyasal yapıya sahip olması,
- Yüksek fotokatalitik aktifliğinin olması,
- Zehirli olmaması,
- Kimyasallardan, dış etkilere etkilenmemesi,
- Görünür ışık veya yakın ultraviyole ışınları ile aktif hale geçebilmesi,
- Ucuz olması,
- Kolay sentezlenebilmesi ve kolay elde edilebilmesi,
- Oldukça geniş yüzey alanı, saf ve nano boyutta kristal yapıya sahip olması

gerekmektedir.

Yukarıdaki özelliklerden biri sağlanamıyorsa ideal bir fotokatalizörden bahsetmek oldukça zordur. Uygulamada fotokatalizör olarak yaygın kullanılan maddelerin başında titanyumdioksit (TiO_2) gelmektedir.

TiO_2 kristalleri doğada amorf, brookit, anataz ve rutil olmak üzere dört farklı biçimde bulunmaktadır. Brookit formu çok az bulunmakla birlikte, fotokatalizör olarak da hemen hemen hiç kullanılmamaktadır. Rutil ve anataz fazları genelde fotokatalizör olarak kullanılmakta, ancak bu ikisinden “anataz” fazdaki TiO_2 ’nin en fazla fotokatalitik etki gösterdiği bilinmektedir[18, 85, 86, 87, 88].

TiO₂, bitkilerde bulunan klorofilin fotosentez özellik göstermesine benzer şekilde, fotokatalitik özellik göstermektedir. Bitkilerdeki klorofil de bir çeşit fotokatalizör görevi görmektedir. Çünkü klorofil, üzerine düşen güneş ışınlarını emerek, su ve karbon dioksiti oksijen ve glikoza dönüştürürken; fotokatalizör emdiği güneş ışınları etkisi ile yüzeyinde kuvvetli yükseltgen türler olan radikalleri (oksit, peroksit ve hidroksil radikalleri) oluşturarak, zararlı organik moleküllerin parçalanarak su ve karbondioksit gibi zararsız türlerin oluşmasını sağlar. Bu şekilde birbirine benzetilen fotokataliz ve fotosentez olayları şematik olarak Şekil 2.16’da gösterilmektedir.

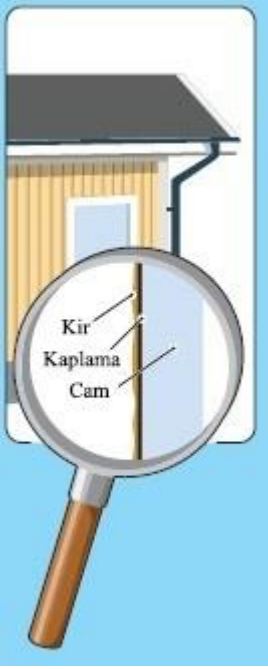
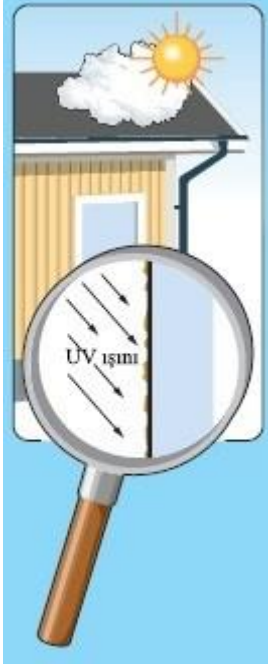
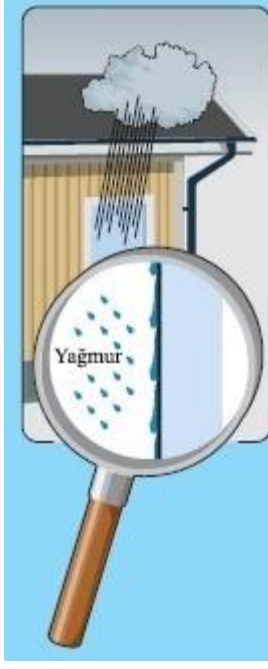


Şekil 2.16. TiO₂ in fotokatalitik, klorofilin fotosentez etkisi[89].

TiO₂' nin fotokatalitik etkisiyle kendi kendini temizleme özelliği kazandırılan nanokaplamaların başlıca etkisi, uygulandıkları yüzeye yapışan kirleri parçalayarak, yağmur suyu yardımıyla yüzeyden uzaklaştırmalarıdır. Bu özelliğe sahip nanokaplamalar, işlevlerini yerine getirebilmek için doğal veya yapay UV kaynağı, oksijen (O₂) ve neme ihtiyaç duyarlar. Fotokatalitik tepkimenin meydana gelebilmesi için 390 nm' den az dalga boyuna sahip ışın gereklidir ve ışığın yoğunluğu da nanokaplama uygulanmış yüzeyin performansı bakımından oldukça önemlidir. Bu nedenle, bu tür nanokaplamaların dış mekânda kullanımı iç mekânda kullanılmasından daha uygun olmaktadır[16].

Fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleme özelliğine sahip nanokaplamalar, uygulandıkları yüzeylerdeki temizlik gereksinimi tamamıyla ortadan kaldıramazlar ancak temizlik dönemlerinin zaman aralığını genişleterek, zararlı temizlik malzemelerinin kullanımını ve iş gücü ihtiyacını azaltarak ekonomiye katkıda bulunurlar[16].

Fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleme özelliğine sahip nanokaplamalar, temizlenme sürecini iki aşamada gerçekleştirmektedir. İlk aşama, fotokatalitik tepkimeler sonucunda yüzeye yapışmış organik kirlerin parçalanmasıdır. İkinci aşama ise, su seven (hidrofilik) özellikte nanokaplama yüzeyine çarpan su damlacıklarının hızlıca levha şeklini alarak, fotokatalitik tepkimeler sonucu parçalanmış kirleri bünyelerine katarak malzeme yüzeyinden uzaklaştırmasıdır (Şekil 2.17) [90].

		
<p>UV ışınları, nanokaplamayı etkinleştirir.</p>	<p>fotokatalitik tepkimeler ile organik kirler parçalanır.</p>	<p>Yağmur suyu ile kirler yüzeyden uzaklaştırılır.</p>
<p>Nanokaplama güneş ışığı ile harekete geçmektedir, uygulama sonrasında nanokaplamamanın tam olarak işlev görebilmesi için 5-7 günlük bir süre geçmelidir.</p>	<p>fotokatalitik tepkimeler yardımıyla, yüzeydeki organik kirler parçalanır, inorganik kirlerin yüzeye yapışması azaltılır.</p>	<p>Yağmur suyu kaplama üzerinde hızlıca levha şeklinde yayılır ve parçalanmış kirleri yüzeyden temizler.</p>

Şekil 2.17. Fotokatalitik etkiye sahip nanokaplama uygulanmış malzeme yüzeylerinde temizlenme süreci aşamaları[90].

Fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleme özelliği gösteren nanokaplamalar başta cam, membran, pişmiş toprak ve çimento esaslı olmak üzere birçok malzeme yüzeyine, ince film ve/veya boya şeklinde uygulanabilir. Bu uygulama şekillerine ek olarak, fotokatalizör etkili nanoparçacıklar, farklı malzeme karışımlarına doğrudan katılarak bu özelliğe sahip nanokompozit malzemelerde üretilebilmektedir[16, 18, 90].

- Fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleyen “cam” malzemeler:

Geleneksel cam malzeme yüzeylerine, ince film biçiminde TiO_2 parçacıklar içeren fotokatalitik etkili nanokaplama uygulanarak, yüzeye yapışan kirleri parçalama ve yağmur suyu yardımıyla uzaklaştırarak temiz kalma özelliği kazandırılabilir (Şekil 2.18). Farklı kalınlıklarda üretilebilen üstün özellikli camlar tekrar tekrar TiO_2 ilavesine ihtiyaç duymazlar ve yapılarda pencere, kapı, kış bahçesi gibi sistemlerde kullanılabilirler. Fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleyen cam malzemeler, bu özelliğe ek olarak, geleneksel cam malzemelere oranla gün ışığını daha etkili bir biçimde iç mekâna alarak, aydınlatma giderlerinde önemli bir azalma sağlayabilir. Fotokatalitik etkili nanokaplama uygulanmış cam yüzeylerde, fotokatalitik tepkimelerin gerçekleşmesini engelleyen, silikon esaslı malzemeler ve film oluşturan temizlik maddeleri kullanılmamalıdır[16].



Şekil 2.18. Kendi kendini temizleme özelliğine sahip nanokaplama uygulanmış ve uygulanmamış cam malzeme yüzeyinde su hareketi[90].

Fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleyen nanokaplama uygulanmış cam malzemeler geniş kullanım alanına sahiptir. Bu tür cam malzemelerin kullanıldığı yapılara örnek olarak, Michigan-ABD’ de yer alan “Helen De Vos” çocuk hastanesi verilebilir (Şekil 2.19). Bir geminin pruvası (bir deniz taşıtının gövdesinin ön kısmı) şeklinde inşa edilen yapının, yaklaşık 9.000 m² olan dış cepheleri tamamıyla fotokatalitik etkili cam malzemedен oluşturulmuştur[91].



Şekil 2.19. Helen De Vos Çocuk Hastanesi, Michigan-ABD[91].

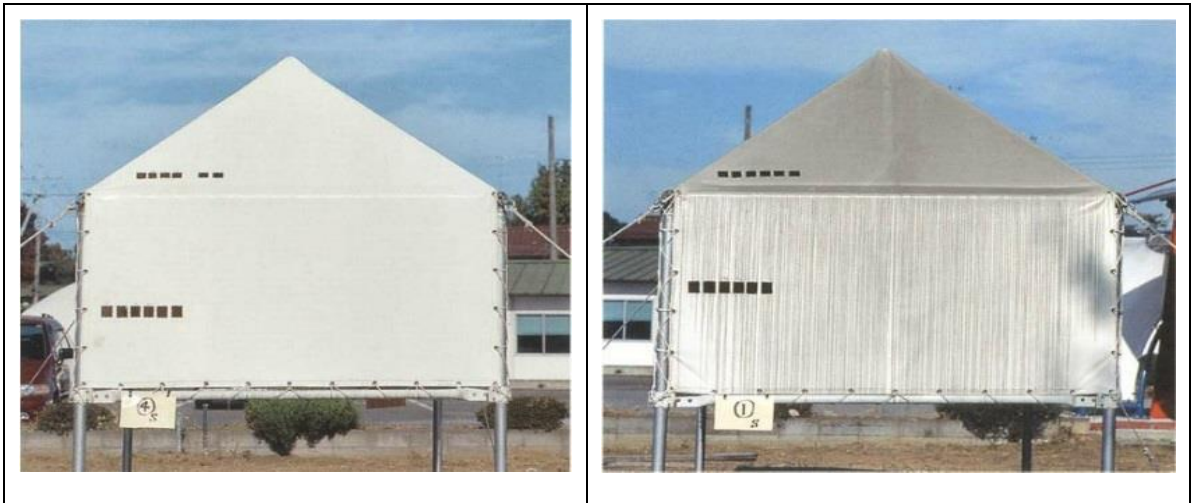
Fotokatalitik etkili nanokaplamalar ihtiyaca göre farklı özellikler ile kombine edilerek kullanılabilir. Bu tür cam malzemelerin kullanıldığı yapılara örnek olarak Vancouver-Kanada da yer alan Ge Plaza verilebilir (Şekil 2.20). Kentte gerçekleştirilen 2010 kış olimpiyat oyunları kapsamında, kent merkezinde yer alan “Robson” meydanı, yenilerek buz pisti haline getirilmiştir ve üzeri kubbe ile kapatılmıştır. Oluşturulan kubbede kullanılan cam malzemelere, fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleme ve güneş ışığını kontrol etme özelliği gösteren nanokaplamalar uygulanmıştır. Bu yolla buzun erimesi engellenmiş, sporcular için gerekli olan güneş ışığı geçişi istenilen düzeyde sağlanmıştır[92].



Şekil 2.20. Ge Plaza Kubbesi, Vancouver-KANADA[92].

- Fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleyen “membran” malzemeler:

Geleneksel membran malzeme yüzeylerine, ince film şeklinde fotokatalitik etkiye sahip nanokaplama uygulanarak kendi kendini temizleme özelliği kazandırılabilir. Bu özelliğe sahip membran malzemeler, geleneksel membran malzemelere oranla çok daha uzun süre temiz kalmaktadır (Şekil 2.21). Bu özelliğe ek olarak, membran yüzeylerde uygulanan nanokaplama yardımıyla iç mekâna gün ışığı geçişi daha etkili hale getirilerek aydınlatma giderlerinde önemli bir azalma elde edilebilmektedir[16].



Şekil 2.21. Fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleme özelliğine sahip nanokaplama uygulanmış ve uygulanmamış membran malzemenin zamanla değişimi[16].

Fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleme özelliği kazandırılmış membran malzemeler, çok çeşitli kullanım alanına sahiptir. Bu tür membran malzemelerin kullanıldığı önemli örneklere Japonya’ da bulunan ‘‘Hyatt Regency Garden’’ şapeli gösterilebilir (şekil 2.22). Bir otelin çatısında yer alan, 50 m² alan üzerine kurulu şapelin üzeri fotokatalitik etkili membran malzeme ile örtülmüştür. Bu nedenle düğün törenlerinin gerçekleştirildiği şapel, düğünler ile zdeşlemiş olan beyaz rengini uzun süre koruyabilmektedir.

Fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleme özelliğine sahip nanokaplama uygulanmış membran malzemelerin kullanımına yönelik diğer bir örnek ise 2014 yılında dünya kupasına ev sahipliği yapacak stadyumlardan olan ‘‘Nacional Man Garrincha’’ Stadyumu’ dur (şekil 2.22). Birçok yeni teknolojinin uygulandığı stadyumun st örtüsünü oluşturan membran malzeme yüzeylerine, fotokatalitik etkiyle kendi kendine temizleme özelliğine sahip nanokaplama uygulanmıştır[16, 93].

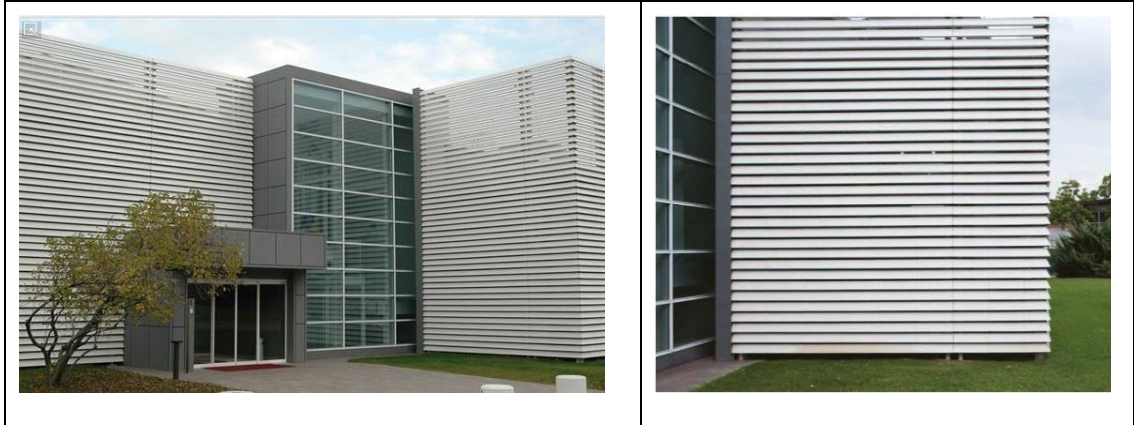


şekil 2.22. Hyatt Regency Garden şapeli, Nacional Man Garrincha Stadyumu
[16, 93].

- Fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleyen “pişmiş toprak esaslı” malzemeler:

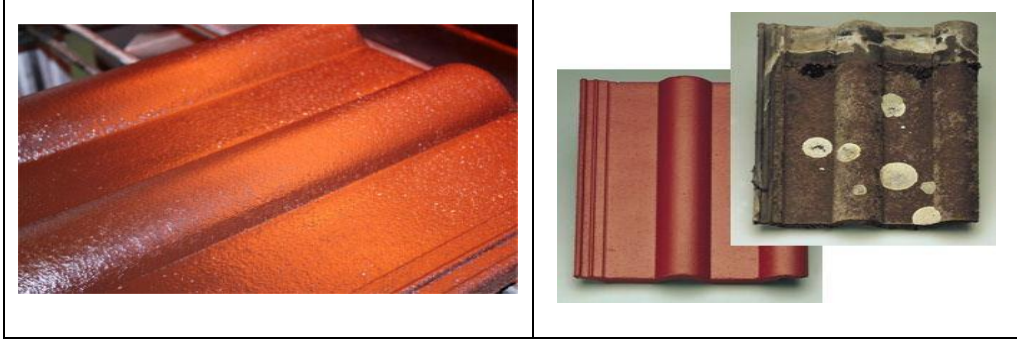
Geleneksel seramik malzeme yüzeylerine, cam ve membran yüzeylerde olduğu gibi ince film şeklinde nanokaplama uygulanarak, fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleme özelliği kazandırılabilir.

Fotokatalitik etkili nanokaplama uygulanmış seramik malzemeler, özellikle yapıların dış cephelerinde kullanılabilir. Bu özelliğe sahip seramik malzemelerin kullanıldığı önemli bir örnek İtalya’ da yer alan “Casalgrande Padana Tasarım Merkezi” dir (Şekil 2.23). Bu yapının dış cephesinde 150 m² lik bir yüzey, 11 adet motorlu taşıtın neden olduğu hava kirliliğini ortadan kaldırabilmekte ya da bir futbol sahası büyüklüğünde orman alanının temizlediği miktarda havayı temizleyebilmektedir[94].



Şekil 2.23. Casalgrande Padana Tasarım Merkezi, İtalya[94].

Mimari yapılarda çatı kaplama elemanı olarak geniş kullanım alanına sahip kiremit malzemelere, seramik malzemelerde olduğu gibi yüzeylerine ince film şeklinde nanokaplama uygulanarak, fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleme özelliği kazandırılabilir[13, 95, 96].



Şekil 2.24. Fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleme özelliğine sahip nanokaplama uygulanmış ve uygulanmamış kiremit malzeme[95, 96].

- Fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleyen “beton” yüzeyler:

Fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleme özelliğine sahip beton malzemeler, geleneksel beton malzeme yüzeylerine fotokatalitik etkili boya uygulanarak ya da karışımlarına fotokatalitik etkili nanoparçacıklar katılarak elde edilebilir. Bu özelliğe sahip beton yüzeyler geniş kullanım alanına sahiptir[18].



Şekil 2.25. Fotokatalitik etkiye sahip nanokaplama uygulanmış ve uygulanmamış beton yüzey [3].

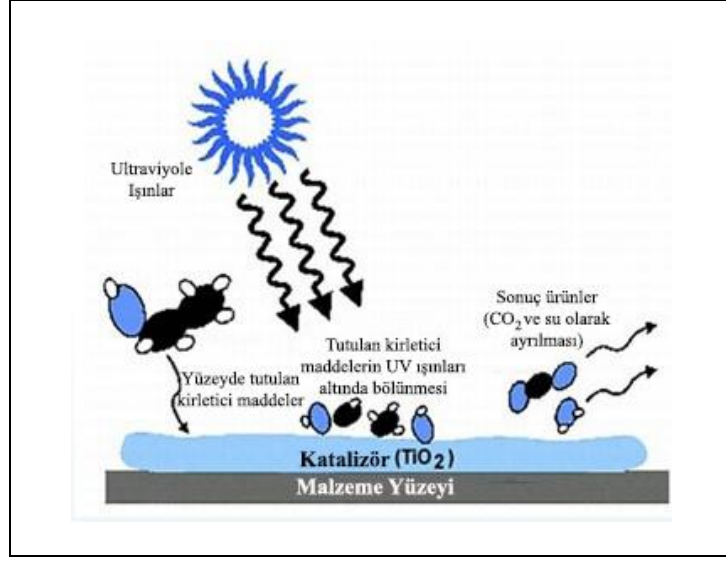
Beton malzeme karışımına fotokatalitik etkili nanoparçacıklar katılarak malzeme yüzeyine kendi kendini temizleme özelliği kazandırılır. Bu yöntemle üretilen beton

malzemenin kullanıldığı örnek yapılara Milano-İtalya’da yer alan “Vodafone Ofis Binası” verilebilir (Şekil 2.26). 3.000 kişinin istihdam edildiği, 60, 55 ve 42 metre yükseklikte, birbirine rampalar, köprüler ve yürüyüş yolları ile bağlanan üç bloktan ve büyük bir konferans salonundan oluşan yapının toplam yüzey alanı 67.000 m²’ dir. 27.000 m² saydam alanlar haricindeki yüzeyler fotokatalitik etkili beton malzeme kullanılarak oluşturulmuştur. Bu yolla 2012 yılında inşa edilen yapı, sahip olduğu beyaz görünümü uzun süre sürdürebilecektir[97].



Şekil 2.26. Vodafone Ofis Binası, Milano- İtalya[97].

Yoğun kirlenici etki altında kalan yapı dış duvarları, yol kenarları, tüneller gibi alanlarda bulunan beton yüzeylere de, fotokatalitik etkili boyalar uygulanarak kendi kendini temizleme özelliği kazandırılabilir. Fotokatalitik etkili boya uygulanmış malzeme yüzeyinde gerçekleşen temizlenme olayı Şekil 2.27’ de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.27. Fotokatalitik etkili boya uygulanmış malzeme yüzeyinde gerçekleşen temizlenme olayının şematik gösterimi[98].

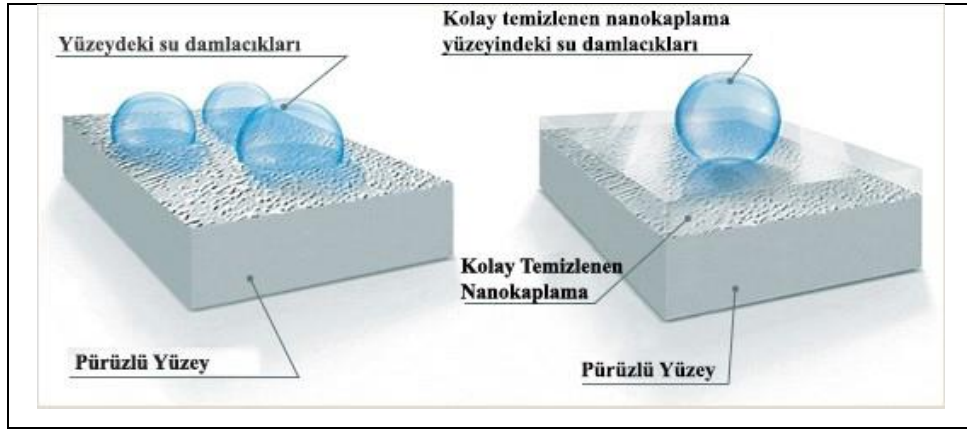
Bu tür uygulamalara örnek olarak Roma, İtalya’da yer alan Umberto-I tüneli verilebilir (Şekil 2.28). Tünelin yenilenme sürecinde iç duvar yüzeyleri fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleme özelliğine sahip boya ile kaplanmıştır ve aydınlatma sistemleri fotokatalitik etkiyi güçlendirecek şekilde değiştirilmiştir. Bu uygulamalar ile tünel yüzeyi, organik ve inorganik kirleticileri yok edebilecek özellik kazanmıştır[99].



Şekil 2.28. Umberto-I tüneli ve beton gürültü duvarları, Roma-İtalya[99].

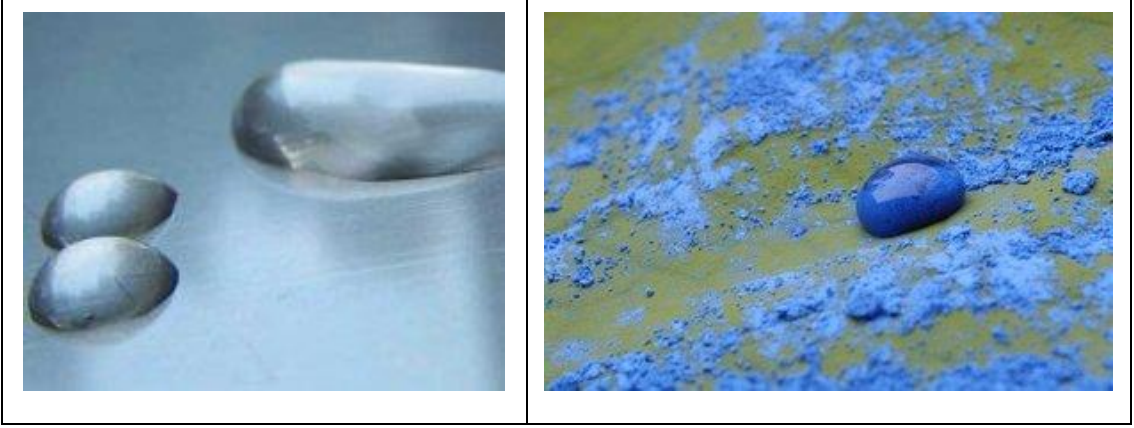
2.1.1.3.2. Kolay Temizlenen Nanokaplamalar

Mimaride kullanılan cam ve seramik gibi malzemelerin yüzeyleri ilk bakışta pürüzsüz gibi görünüyorsa da nano boyutlara inildiğinde malzeme yüzeylerinin pürüzlü yapıda oldukları görülmektedir. Oyuklar ve/veya boşluklardan oluşan bu pürüzlü yapı kir ve bakteri benzeri istenmeyen bileşenlerin malzeme yüzeyine yapışmasına neden olmaktadır. Bu tür malzemelere nanoboyutlu, su sevmeyen yapıda, pürüzsüz ve bu nedenle oldukça düşük yüzey enerjisine sahip nanokaplamalar uygulanarak kolay temizlenme özelliği kazandırılmaktadır[18, 100].



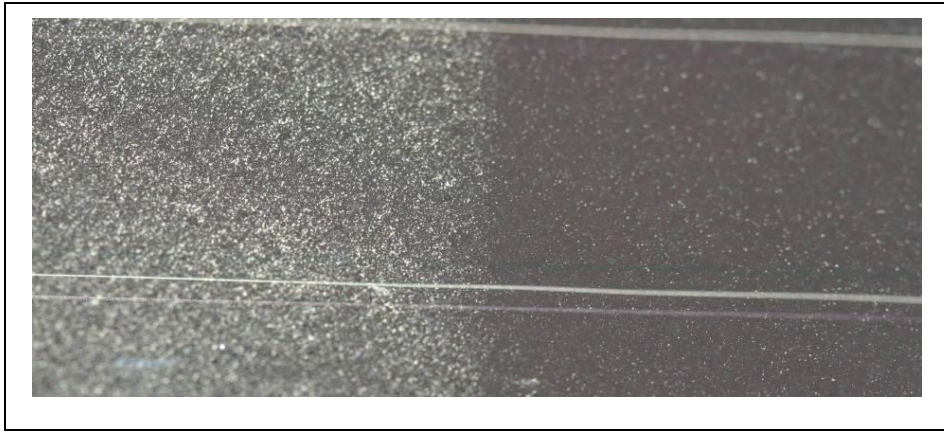
Şekil 2.29. Kolay temizlenen nanokaplama uygulanmış ve uygulanmamış malzeme yüzeyinde su damlacıklarının şematik gösterimi[100].

Su sevmeyen yapı, malzeme üzerine gelen suyun yüzeye yayılmadan, damlacık şeklini alarak uzaklaşmasını sağlamaktadır (Şekil 2.29). Ayrıca bu tür nanokaplamalar genellikle su sevmeyen yapıyla birlikte, yağ sevmeyen (oleofobik) yapıya da sahip olarak üretilmektedirler. Yağ sevmeyen yüzey özelliği, kolay temizlenen nanokaplamaları mutfak ve banyo benzeri alanlar için uygun malzeme haline getirmektedir[16,18].



Şekil 2.30. Kolay temizlenen nanokaplama uygulanmış malzeme yüzeyinde su damlacıklarının hareketi[101, 102].

Kolay temizlenen nanokaplamalar ile malzeme yüzeyine kazandırılan diğer bir özellik ise pürüzsüz yüzey yapısıdır. Pürüzsüzlük oldukça düşük yüzey enerjisi anlamına gelmektedir ve düşük yüzey enerjisi, kir ve bakteri benzeri zararlı organik bileşenlerin malzeme yüzeyine yapışmasını önemli oranda engellemektedir[16, 18].

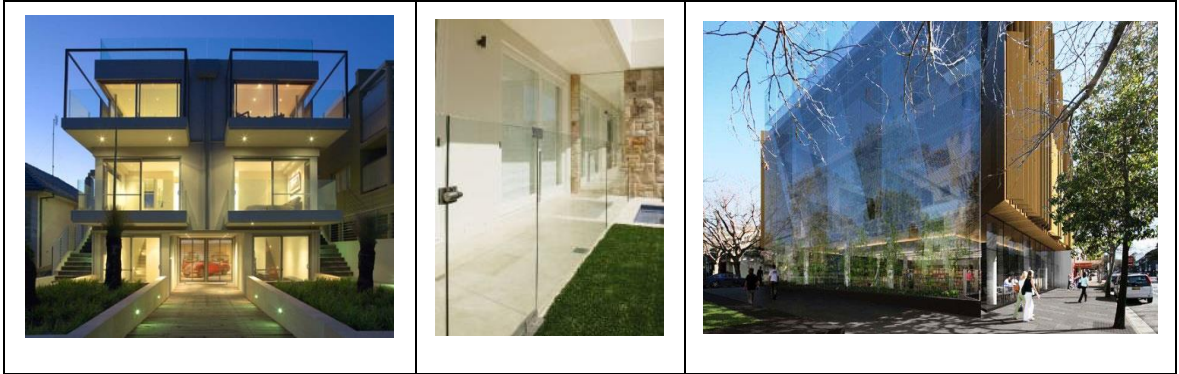


Şekil 2.31. Kolay temizlenen nanokaplama uygulanmış yüzey ile uygulanmamış yüzey görüntüsü[103].

Kolay temizlenen nanokaplamalar sahip oldukları yüzey özellikleri nedeniyle genellikle kendi kendini temizleme özelliğine sahip nanokaplamalar ile karıştırılmaktadır. Kolay temizlenen nanokaplamalar uygulandıkları yüzeylerde kir, bakteri ve diğer organik bileşenlerin birikmesini engelleyerek malzeme yüzeyinin uzun süre temiz kalmasını ve kolay temizlenmesini sağlamaktadırlar ancak kendi kendini temizleme özelliğine sahip

değildirler. Bu özellikteki nanokaplamalar sahip oldukları pürüzsüz yüzey ile lotus etkisiyle kendi kendini temizleyen nanokaplamalardan; su sevmeyen yapıları ve UV ışığına ihtiyaç duymadan işlevlerini yerine getirebiliyor olmaları nedeniyle de fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleyen nanokaplamalardan ayrılmaktadır[16].

Kolay temizlenen nanokaplamalar cam, seramik, metal, ahşap, beton gibi geleneksel malzeme yüzeylerine sonradan veya malzemelerin üretim aşamalarında, 20-100 nm kalınlığına sahip ince filmler şeklinde uygulanabilmektedir. Bu özelliğin kazandırıldığı malzemeler yapılarda temizliğin önemli olduğu ve yoğun kirletici etki altında kalan alanlarda geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu kullanım alanlarına örnek olarak, pencereler, kapılar, aydınlatma elemanları, korkuluklar, asansörler, banyo ve banyo donanımları verilebilir. Ayrıca kolay temizlenen nanokaplamalar, bakteri birikimi ve yayılmasını engellemeleri nedeniyle tıbbi alanlar ve donanımlarda da kullanılmaktadır[104, 105].



Şekil 2.32. Kolay temizlenen nanokaplamaların yapılarda kullanımına yönelik örnekler [104].

Kolay temizlenen nanokaplamalar, malzeme yüzeylerini uzun süre temiz tutarak, temizlik ve bakım masraflarını, zararlı temizlik malzemelerinin kullanımını azaltırken temizlik sürelerini önemli oranda kısaltmaktadırlar. Bu özelliklerine ek olarak, uygulama sonrasında geleneksel malzeme görüntüsünde herhangi bir değişikliğe neden olmazlar, eski veya yeni malzeme yüzeylerine kolaylıkla uygulanabilirler. Ayrıca uygulandıkları malzemeleri zararlı UV ışınlarından ve kalsiyum, tuz gibi maddelerin olumsuz etkilerinden koruyabilmektedirler[106].

Kolay temizlenen nanokaplama uygulamalarında dikkat edilmesi gereken bazı durumlar vardır. Bunların başında, kolay temizlenen nanokaplamaların yeterli miktarda suya maruz kalan alanlarda uygulanması gerekliliği gelmektedir. Az miktarda suya maruz kalan alanlarda gerçekleştirilen uygulamalarda, yüzeyden akan su damlacıkları akış izleri oluşturmakta ve yüzeyi temiz olduğundan çok, kirli göstermektedir. Diğer önemli nokta ise bu tür kaplamaların uygulandığı yüzeylerin temizliğinde aşındırıcı etkiye sahip temizlik malzemelerinin kullanılmaması ve temizlik gerçekleştirilirken aşırı gücün uygulanmamasıdır[16, 104].

2.1.1.3.3. Havayı Temizleyen Nanokaplamalar

Uluslararası bir kuruluş olan “Birleşmiş Milletler” e bağlı, toplum sağlığıyla ilgili çalışmalar yürüten “Dünya Sağlık Örgütü (WHO)”, 2014 yılında yaptığı açıklama ile dünya genelinde gerçekleşen her sekiz ölümden birinin hava kirliliği ile bağlantılı olduğunu ve bu durumun hava kirliliğini dünyanın en büyük çevre sağlığı riski olarak ön plana çıkardığını belirtmiştir. Yapılan açıklamada ayrıca, ölümlerin %56’sının iç mekân hava kirliliğinden, %44’ünün ise dış mekân hava kirliliğinden kaynaklandığına ve dünya genelinde havayı temizlemek için ortak eylem ihtiyacına dikkat çekilmiştir[107].

Havayı temizlemek amacı ile farklı disiplinlerde kullanılmak için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Motorlu taşıtlara ve fosil yakıtlar ile üretim yapan fabrikalara yerleştirilen, zararlı kirleticileri zararsız hale getirerek atmosfere salan özel dönüştürücüler, bu tür uygulamalara örnek olarak gösterilebilir.

Temiz ve sağlıklı hava, insan sağlığı için oldukça büyük öneme sahiptir. Bu nedenle her geçen gün bu çalışmalar hızlanmaktadır. Mimarlık disiplininde de dış ve iç mekân hava kalitesini arttırmaya yönelik çeşitli uygulamalar geliştirilmiştir. Bu uygulamalar havada bulunan kötü kokuları, tozları, zararlı kimyasal gazları, uçucu organik bileşenleri, mikropları, virüsleri ve çeşitli alerjenleri zararsız hale getirmeyi amaçlamaktadır.

Günümüzde havayı temizlemek amacıyla, farklı özelliklerde 6 yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler, kataliz, filtreleme, adsorbsiyon (emme), kimyasal adsorbsiyon, elektronik sistemler ve UV ışını kullanımı olarak sıralanabilmektedir.

Nanoteknoloji birçok alanda olduğu gibi havayı temizleme çalışmalarında da etkili çözümler sunmaktadır. Nanoteknoloji ile hava temizleme işlemi yaygın olarak, kendi kendini temizleyen nanokaplamalarda olduğu gibi fotokatalitik tepkimeler ile istenmeyen

koku ve kirlerin zararsız bileşenlerine ayrılması şeklinde gerçekleştirilmektedir. Fotokatalitik etkili nanokaplama uygulanmış ya da bu etkiye sahip nanoparçacıklar içeren boya, alçı, beton, perde ve halı benzeri malzemelerin yapılarda kullanımı ile istenmeyen koku ve kirleticiler, fotokatalitik tepkimeler aracılığı ile zararsız bileşenlerine ayrılabilir. Bu özellikteki nanokaplamalar, havayı tam anlamıyla temizleyemiyor olmalarına rağmen hava kalitesini önemli oranda arttırmaktadır. Ayrıca nanomalzemeler, sahip oldukları yüksek yüzey alanı ve birbirlerine bağlı nanoboyutlu açık gözeneklerden oluşan yapıları nedeniyle filtreleme işlemlerinde de kullanılabilirler. Ancak bu tür bir uygulama, henüz düşünce aşamasındadır[3, 4, 5].

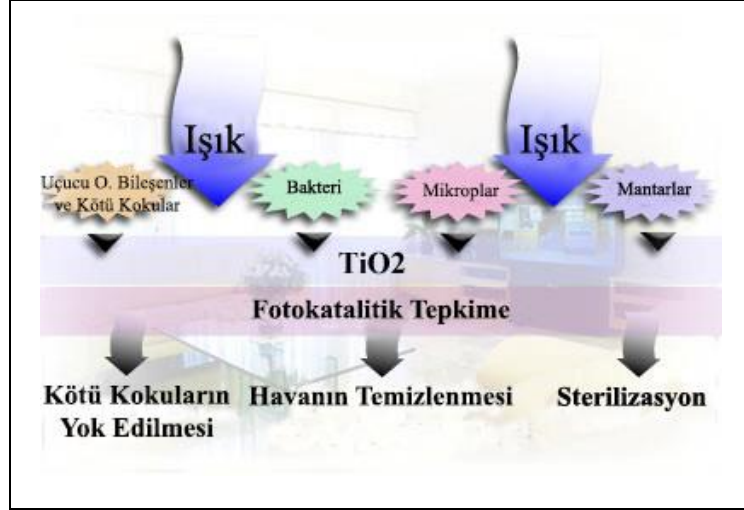
2.1.1.3.3.1. İç Mekânda Havayı Temizleyen Nanokaplamalar

İnsanlar, barınma, çalışma, eğitim ve benzeri ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla günlerinin büyük bir kısmını yapılar içerisinde geçirmektedirler. Bu nedenle, yapılardaki iç mekân hava kalitesi, üzerinde durulması gereken hassas bir konu olarak öne çıkmaktadır ve sağlığımız üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

Yapılan araştırmalar sonucunda, yapı içerisindeki havanın insan sağlığına olumsuz etki edebilecek nitelikte çok çeşitli gazlarla ve kirleticilerle kirlendiği belirlenmiştir. Bu nedenle, son yıllarda iç mekân hava kalitesini arttırmaya yönelik araştırmalar ve çalışmalar hız kazanmış ve kirletici maddelere yönelik önlemler alınmaya başlanmıştır.

Nanoteknoloji, birçok alanda olduğu gibi havayı temizlemeye yönelik çalışmalara da yeni imkânlar getirmektedir. Havayı temizleme çalışmalarında kullanmak amacıyla farklı nanoteknolojik ürün ve yöntemler geliştirilmeye çalışılmaktadır ancak günümüzde nanoteknolojinin bu alanda en yaygın kullanımı, kendi kendini temizleyen nanokaplamalar da olduğu gibi fotokatalitik etkili nanoparçacıkların kullanılması şeklinde gerçekleştirilmektedir[18, 75].

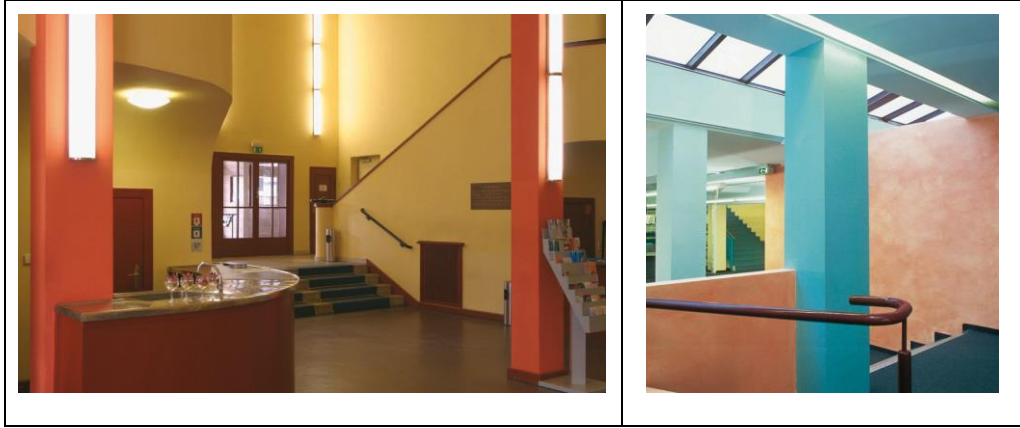
Havayı temizleyen nanokaplamalar, fotokatalitik tepkimeler yardımıyla iç mekânda bulunan zararlı gazları, kirletici maddeleri ve bakterileri insan sağlığına zararsız bileşenlere ayırır, kötü kokuları yok eder (Şekil 2.23). Bu yolla iç mekân hava kalitesini önemli oranda arttırmaktadırlar. Bu tür nanokaplamalar ortamda bulunan istenmeyen maddeleri zararsız hale getirebilmektedirler ancak bu maddelerin oluşumuna neden olan kaynaklara herhangi bir önlem getirememektedirler[109].



Şekil 2.33. Havayı temizleyen nanokaplamaların yüzeyinde gerçekleşen kimyasal olayların şematik gösterimi[109].

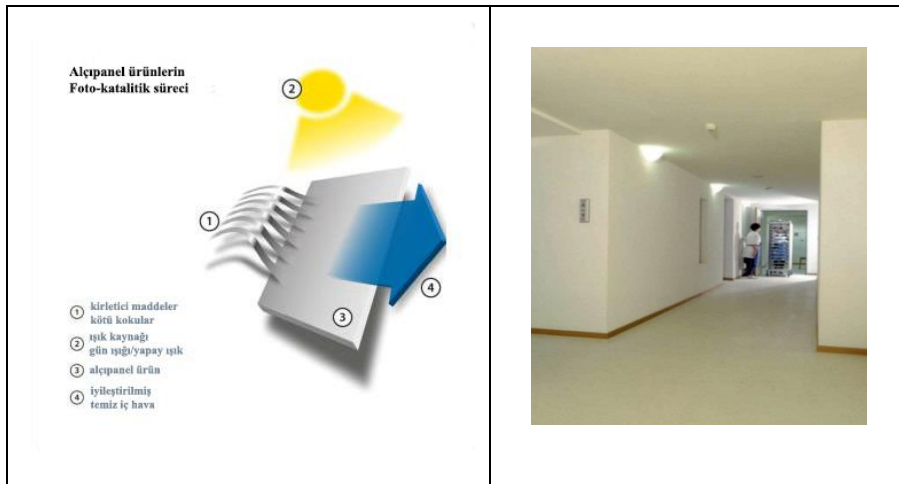
Havayı temizleme özelliğine sahip nanokaplamaların iç mekânda kullanımı dikkatli bir planlama gerektirmektedir. Bu özelliğe sahip nanokaplamalar, yalnızca doğrudan hava ile temas eden yüzeylere uygulanmalıdır ve uygulanacakları yüzey alanı, iç mekân hacmi dikkate alınarak hesaplanmalıdır. Havayı temizleme özelliğine sahip nanokaplama uygulanmış yüzeylerin üzeri herhangi bir mobilya, duvar kâğıdı benzeri eleman kullanılarak yüzeyin hava ile temasını engelleyecek şekilde kapatılmamalıdır. Ayrıca fotokatalitik etkiyle işlevini yerine getiriyor olmaları nedeniyle yüzeyin UV kaynağıyla olan ilişkisi detaylı çalışılmalıdır[16].

Havayı temizleme özelliğine sahip nanokaplamaların yapılarda kullanımı genellikle boya uygulaması olarak gerçekleştirilmektedir. Bu özelliğe sahip boyalar bünyelerinde bulunan fotokatalitik etkili nanoparçacıklar sayesinde ışıkla aktive olarak havada bulunan zararlı madde ve kokuları parçalayarak iç mekân havasını temizlemektedirler. Ayrıca, küf ve mantar oluşumuna direnç göstermekte, duvarların uzun süre temiz kalmasını ve kolaylıkla silinmesini sağlamaktadırlar. Bu özellikteki boyalar etkili buhar geçirgenliğine sahiptirler ve solvent içermeyip su ile seyreltildikleri için kokmamakta, insan ve çevre sağlığına zarar vermemektedirler[103]. Fotokatalitik etkiyle havayı temizleyen boyalara ek olarak içerdikleri nanoyapılı silikatlar ile havada bulunan zararlı bileşenleri bünyesine emerek iç mekân hava kalitesini arttıran boyalar da üretilmeye başlanmıştır[110].



Şekil 2.34. İç mekânda havayı temizleme özelliğine sahip boya ile gerçekleştirilmiş uygulama örnekleri[111].

Fotokatalitik etkili nanoparçacıklar kaplama uygulamalarının yanında malzeme karışımlarına doğrudan katılarak bu malzemelere havayı temizleme özelliği kazandırabilmektedirler. Bu şekilde üretilen alçı, alçı levhalar, çimento esaslı malzemeler ve bu malzemeler kullanılarak üretilen nanokompozitler yapılarda iç hava kalitesini arttırmak amacıyla geniş bir kullanım potansiyeline sahiptir[112].



Şekil 2.35. Havayı temizleme özelliğine sahip alçı ve alçı uygulanmış yüzeyler[112].

Havayı temizleme özelliği, bünyelerine fotokatalitik etkili nanoparçacıklar dahil edilen ve/veya yüzeylerine havayı temizleme özelliğine sahip nanokaplama uygulanmış kumaşlardan üretilen perde gibi malzemelere de kazandırılabilir. Perdeler, özellikle

işlenmiş kumaşlardan üretilenler, iç mekân havasını önemli oranda kirleten kaynaklardır. Bu uygulama ile perde kullanımının olumsuz etkisi ortadan kaldırılabilmektedir[113].



Şekil 2.36. Havayı temizleme özelliğine sahip perde uygulaması[113, 114].

Havayı temizleme özelliğine sahip nanokaplamalar ve/veya nanokompozitler, iç mekân hava kalitesini enerjiye ihtiyaç duymaksızın pasif yöntemler ile sürekli bir şekilde arttırmaları nedeniyle mekanik sistemlere oranla önemli miktarda enerji tasarrufu ve maddi kazanç sağlamaktadır.

Havayı temizleme özelliğine sahip nanokaplamalar veya malzemeler yapılarda farklı yüzeylere uygulanarak iç mekân hava kalitesini arttırmaktadırlar ancak tek başlarına yeterli olmamaktadırlar. Yaşanılan ortamdaki nem ve temiz hava durumu da hava kalitesi açısından oldukça önemli unsurlardır. Arzu edilen özellikteki bir ortam için bu unsurlara dikkat edilmelidir[3, 16].

2.1.1.3.3.2. Dış Mekânda Havayı Temizleyen Nanokaplamalar

Hava kirliliği, alınan tüm önlemlere rağmen, 21. yüzyılda da önemli çevre kirliliği problemlerinden biri olmayı sürdürmektedir. Kirliliğe neden olan çeşitli maddeler, yeryüzünde var olan hemen hemen bütün canlı ve cansız varlıklar üzerinde zararlı etkilere neden olmaktadır. Bu cansız varlıklar içerisinde yer alan mimari yapılar da, atmosferik kirliliğinin etkilerinden önemli ölçüde zarar görmektedir. Farklı şekillerde malzeme üzerine

ulaşan ve burada biriken kirleticiler, malzeme karakteristikleri, iklimsel bileşikler gibi pek çok faktörlerle malzeme bozunumuna neden olmaktadır[115, 116].

Havayı temizleme özelliğine sahip nanokaplamalar dış ortamda kullanılarak atmosferde bulunan zararlı kirleticileri belirli bir oranda etkisiz hale getirilebilmektedir. Bu özelliğe sahip nanokaplamalar ve nanokompozitler yapı cepheleri, kaldırım ve parke taşları, yol kenarları gibi alanlarda geniş bir kullanım potansiyeline sahiptir.

Havayı temizleyen nanokaplamaların yapı cephelerinde kullanımına yönelik önemli bir örnek olarak Meksiko-Meksika’ da yer alan “Manuel Gea Gonzalez Hastanesi” verilebilir (Şekil 2.37). Yapı, yoğun kirletici etki altında kalan bir alanda yer almaktadır ve 3 boyutlu parçalar ile yaklaşık 2, 500 m²’ lik alanı örten bir cepheye sahiptir. Havadaki kirleticilerin olumsuz etkilerini azaltmak amacıyla yapının ön cephesinde fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleme özelliğine sahip nanokaplama uygulanmıştır. Bu sistemde kullanılan parçalar, fotokatalitik tepkimelerin gerçekleşmesi için gerekli olan etmenlerin yüzeye temasını önemli oranda arttıracak şekilde özel olarak tasarlanmıştır. Oluşturulan bu cephe sistemi ile 1000 motorlu taşıtın neden olduğu çevre kirliliğinin etkisiz hale getirilebileceği beklenmektedir[117].



Şekil 2.37. The Manuel Gea González Hastanesi, Meksiko-Meksika[117, 118].

Havayı temizleme özelliğine sahip boyaların dış mekânda kullanımına yönelik örnek bir yapı olarak Bologna-İtalya’ da yer alan “Tree Mural in Bologna” yapısı gösterilebilir (Şekil 2.28). Yapının 60 m² yüzey alanına sahip kör cephesi, İtalyan bir ressam tarafından taval olarak kullanılmıştır. Cephe üzerinde yer alan ağaç figürü, 14. yüzyıl simyagerlerinin felsefe ağacını; yumurta ve kristal ise organik malzemelerden inorganik malzemelere geçişi temsil etmektedir. 4 günlük bir çalışma sonucu tamamlanan uygulamada, yüzeyin

uzun süre temiz kalması amacı ile fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleme özelliğine sahip boya kullanılmıştır[119].



Şekil 2.38. Tree Mural in Bologna, Bologna-İtalya[119].

Havayı temizleme özelliğine sahip nanokaplama uygulanmış ve/veya bünyelerine doğrudan fotokatalitik etkili nanoparçacıklar katılarak bu özellik kazandırılmış kaldırım ve parke taşlarının kullanımına yönelik önemli bir örnek Vannes-Fransa’ da yer alan “Jean Bleuzen Caddesi” dir (Şekil 2.39). Bir günde yaklaşık 13 bin aracın geçtiği, etkili bir şekilde güneş ışığına maruz kalan caddenin kaldırım ve beton yüzeylerine (yaklaşık 6000 m²) fotokatalitik etkiyle kendini temizleme özelliği kazandırılmıştır. Bu yolla caddenin bulunduğu alanın hava kirliliğinde %20 oranında azalma sağlanmıştır[120].



Şekil 2.39. Jean Bleuzen Caddesi, Vannes-Fransa[120].

Fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleme özelliği prefabrikte yapı elemanlarına da kazandırılabilir. Bu şekilde üretilen prefabrikte elemanların kullanıma örnek olarak Bordeaux-Fransa’ da yer “Hotel de Police” yapısı verilebilir (Şekil 2.40). Yoğun kirletici etki altında kalan bir bölgede inşa edilecek yapının bu olumsuz etkiden korunması için yapımında fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleme özelliğine sahip nanokompozit malzemeler tercih edilmiştir. 5400 m² alana sahip yapı, 750 adet prefabrikte panelden inşa edilmiştir ve bu panellerin 700 tanesi fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleme özelliğine sahip çimento kullanılarak üretilmiştir. Böylece yapının estetik görünümünü uzun süre devam ettirebilmesi sağlanmıştır[120].



Şekil 2.40. Hotel de Police, Bordeaux-Fransa[120].

Fotokatalitik tepkimeler yardımıyla havada bulunan zararlı maddeleri insan sağlığına zararsız hale getiren havayı temizleme özelliğine sahip nanokaplamalar, sahip oldukları gelişmiş özellikler ve olumlu getirileri ile kullanım alanlarını hızla arttırmaktadır.

2.1.1.3.4. Buğu Tutmayan Nanokaplamalar

İçinde yaşadığımız ve soluduğumuz havada bir miktar su buharı (nem) her zaman bulunmaktadır. Havanın içinde bulunabilecek su buharı miktarı, havanın sıcaklığı ile değişmektedir. Belirli bir ortamda bulunan su buharı miktarının, ortam sıcaklığında bulunabilecek en fazla su buharı miktarına oranına bağlı nem denilmektedir ve bu oran yüzde cinsinden ifade edilmektedir. Örneğin, 20 °C deki 1 m³ havanın içerisinde bulunabilecek en fazla su buharı miktarı 17,3 gramdır (%100 bağıl nem). Bu miktardan

fazla su buharı havada bulunacak olursa veya ortam sıcaklığı azalırsa, bu su buharı havanın içinde duramayacak ve bulunduğu en soğuk yüzeyde yoğuşacaktır. Diğer bir deyişle su, gaz halden sıvı hale geçecektir. Hava içerisindeki bağıl nem miktarı, %100 bağıl neme ulaşmasa dahi yeteri kadar soğuk bir yüzeyle temas etmesi durumunda buğulanma başlamaktadır. Buğulanma (terleme) olarak adlandırılan bu durum, yapılarda kullanılan cam, ayna, plastik benzeri malzeme yüzeylerinde belirli fiziksel koşulların bir araya gelmesi ile ortaya çıkan bir olaydır. Buğulanma, yüzeylerde su damlacıkları oluşumuna neden olmaktadır ve oluşan bu damlacıklar yüzeylerde bulanık bir etki bırakmaktadır. Ortaya çıkan bu olumsuz etki yapılarda kullanılan cam, ayna benzeri yüzeylerde istenilen görüntünün elde edilmesini engelleyerek kullanımlarını olumsuz etkilemektedir[121].

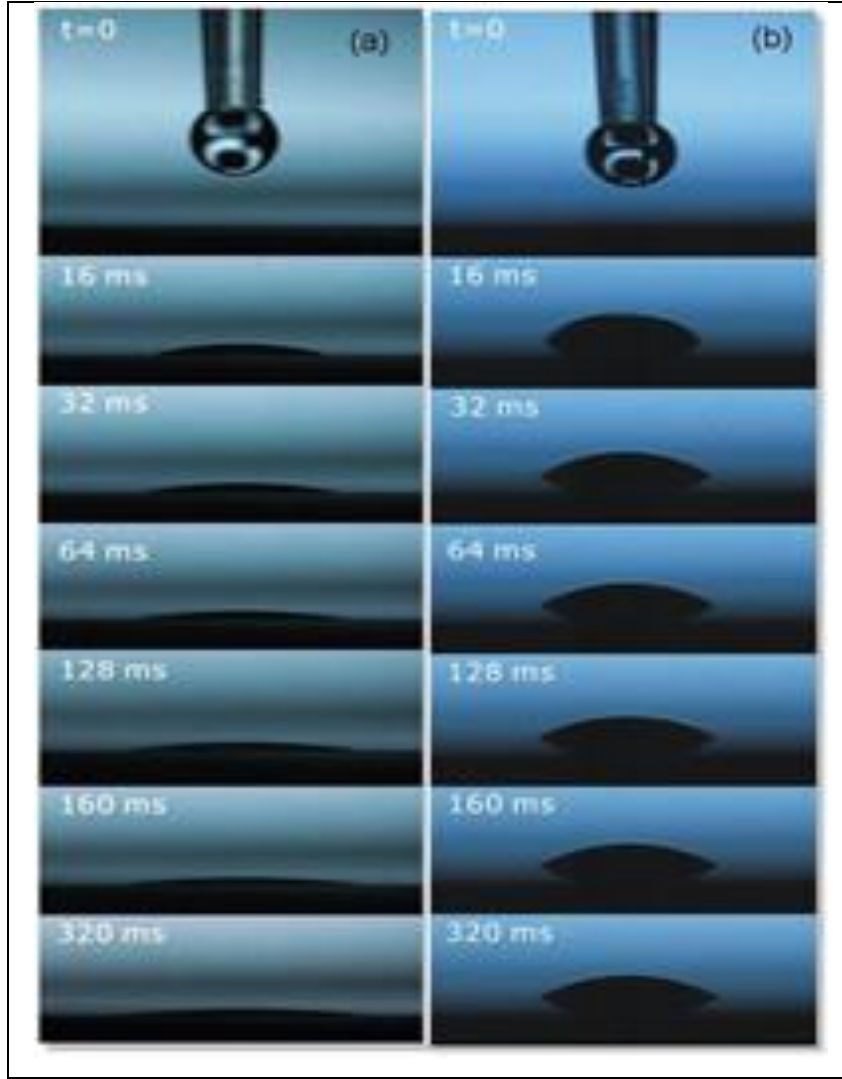
Malzeme yüzeylerinde gerçekleşen buğulanma olayını engellemek amacı ile enerji ve müdahale gerektiren farklı yöntemler kullanılmaktadır. Örneğin, buğulanmanın gerçekleştiği cam malzeme yüzeyini sürekli olarak ısıtmak, buğu oluşumunu engellemeye yönelik uygulamalardandır. Ancak bu tür yöntemler enerji ve zaman kaybına neden olmaktadır.

Nanoteknoloji ile enerji kullanımına ihtiyaç duymayan, herhangi bir müdahale ve/veya yenilenme gerektirmeden, uygulandıkları yüzeylere kalıcı berraklık kazandıran buğu tutmayan nanokaplamalar üretilmektedir. Bu özellikteki nanokaplamaların, buğu tutmama etkisinin kalıcı olması ve yüzeyin görüntüsünde herhangi bir değişikliğin gerçekleşmemesi gibi 2 temel özelliğe sahip olması beklenmektedir.

Buğu tutmayan nanokaplama uygulamalarında, nanoteknolojinin kullanıldığı birçok alanda olduğu gibi yaygın olarak TiO_2 nanoparçacıklar kullanılmaktadır. TiO_2 nanoparçacıkların kullanımı ile üretilen nanokaplamalar, yüksek yüzey enerjileri nedeniyle çok miktarda su buharını yüzeylerine çekmektedirler ve su seven (hidrofilik) yapıları nedeniyle buğulanma sonucu oluşan su damlacıklarını hızlı bir şekilde yüzeye yaymaktadırlar (Şekil 2.41). Yüzeye yayılan su damlacıkları şeffaftırlar ve yüzey görüntüsünü olumsuz etkilemektedirler. Bu özelliğe sahip nanokaplamalar ince film şeklinde, buğulanma olayının gerçekleşmesi istenilmeyen cam, ayna, plastik benzeri katı yüzeylerde buğulanma sonucu ortaya çıkan olumsuz etkileri ortadan kaldırmak için kullanılabilir[16, 122].

Buğu tutmayan nanokaplama uygulamalarına yönelik diğer bir yöntem ise camın hammaddesi olan silikanın kullanılarak, nanoboyutlarda pürüzlü ve su seven yapıda yüzeylerin oluşturulmasıdır. Bu tür yüzeylerde, nanogözenekli yapıya sahip silika

nanoparçacıklar ile oluşturulan, her biri yaklaşık 7 nm çapında, yüzeyinde nanoboyutlu oyuklar bulunan 15-20 adet katman kullanılmaktadır. Bu şekilde elde edilen nanokaplamalar insan gözüyle oldukça düz görülmektedir ancak nanoboyutlarda pürüzlü yapıya sahiptirler. Bu yapıları sayesinde, yüzeylerine gelen su buharını nanoboyutlu gözeneklerin içerisine çekerek ince film şeklinde yayılmasını ve yüzeyin berrak kalmasını sağlamaktadırlar[13, 123].



Şekil 2.41. Buğu tutmayan nanokaplama (TiO_2) uygulanmış ve uygulanmamış yüzeylerde su damlacıklarının zaman içerisinde aldığı şekil[122].



Şekil 2.42. Buğu tutmayan nanokaplama uygulamalarına yönelik örnekler [124, 125].

Buğu tutmayan nanokaplamalar, ışık yansımalarını da önemli oranda azaltmaktadır ve farklı yüzey özellikleri ile bir arada kullanılabilir. Katı malzeme yüzeylerine yaygın olarak püskürtme şeklinde uygulanmakta olan bu tür nanokaplamalara yönelik çalışmalar yoğun bir şekilde devam etmektedir[16, 123].

2.1.1.3.5. Bakteri Karşıtı Nanokaplamalar

İnsanoğlu yaşadığı çevreyi, kullandığı eşyaları ve hatta vücudunu milyarlarca mikroskopik canlıyla paylaşmaktadır. Bu mikroskopik canlılar, dünya üzerindeki biyokütlenin yaklaşık olarak %80-90'ını oluşturan mantarlar, bakteriler, mikroplar ve virüsler olarak sıralanabilir. Söz konusu mikroorganizmaların bir kısmı insan sağlığına zarar vermemektedir ve faydalı amaçlara yönelik kullanılmaktadır. Ancak zararsız türlerinin yanında insan sağlığı üzerinde ciddi sorunlar yaratabilecek nitelikte, çok sayıda mikroorganizma bulunmaktadır[126].

Mikroorganizmaların en yaygın ve en ciddi enfeksiyonlara neden olanları bakterilerdir. Bakteriler, tek hücreli mikroskopik canlılardır ve bitkiler ile hayvanlar arasında ayrı bir canlı kategorisini oluştururlar. Doğada, toprakta, havada, suda, bitkilerde, hayvanlarda ve insanlarda çok sayıda bakteri bulunmaktadır. Bakteriler çekirdeksiz ve klorofilsiz, 1-6 mikron büyüklüğünde, çıplak gözle görülemeyecek kadar küçük ve bölünerek çoğalan canlılardır[126, 127].

Kullanılan antibiyotiklere, antiseptiklere ve dezenfektanlara karşı dayanıklı mikroorganizmaların sayısının gün geçtikçe artması nedeniyle bilinen geleneksel bakterisitlere (bakteri öldürücü madde) alternatif sistemlerin geliştirilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Nanoteknolojinin gelişmesi ile mikroorganizmaların olumsuz etkilerinden korunmak ve onları yok etmek için onlarla onların boyutlarında mücadele edecek ürünler geliştirilebilmektedir.

Nanoteknoloji, bakteri karşıtı etkiye sahip nanoparçacıklar kullanılarak bu özelliğe sahip nanokaplamaların üretilmesini mümkün kılmaktadır. Bakır, çinko ve gümüş gibi metallerin iyonlarının güçlü bir bakteri karşıtı etkiye sahip olduğu uzun zamandır bilinmektedir. Bakteri karşıtı etkiye sahip bu metallerin kullanımında en büyük kısıtlama biyo-uyumluluklarıdır. Diğer metaller ile kıyaslandığında gümüş, insanlar için toksik (zehirli) etkisi en düşük olan elementtir.

Gümüş, bakteri karşıtı etkisi uzun yıllardır bilinen bir metaldir. Gümüşün ilk kez M.Ö. 3100 yıllarında Mısırlılar ve M.Ö. 2500 yıllarında Çinliler ve Persler tarafından kullanıldığı bilinmektedir. Bu eski uygarlıklar enfeksiyonları ve gıda bozulmalarını önlemek amacıyla gümüş kap kullanmışlardır. Modern tıbbın kurucusu sayılan “Hipokrat”, notlarında gümüşün iyileştirici ve enfeksiyon oluşumunu azaltıcı bir madde olduğunu belirtmiş, 19. yüzyılın sonlarına doğru, İsviçreli botanikçi “Karl Wilhelm von Nägeli”, gümüş elementindeki mikrop öldürücü etkinin gümüş iyonlarından kaynaklandığını tespit etmiştir. Antibiyotikler geliştirilmeden önce gümüş bileşikleri, enfeksiyonlara karşı kullanılmıştır. Özellikle son yıllarda birçok antibiyotiğe karşı dayanıklı bakterilerin ortaya çıkması sonucu gümüş, antibiyotiklere alternatif bir mikrop karşıtı madde olarak yeni kullanım alanları bulmaktadır.

Gümüş elementinin nanoteknolojik kullanımı ile geleneksel kullanımı arasında en önemli fark kullanım boyutlarıdır. Geçmişte metal alaşım olarak makro boyutlarda kullanılan gümüş, nanoteknolojik uygulamalarda nanoboyutlarda ve çok daha etkili şekilde kullanılabilir. Gümüş nanoparçacıkları çok yüksek yüzey hacim oranına sahiptirler ve bu nedenle gümüş iyonları kolaylıkla yayılabilmekte ve uygulandıkları yüzeylerde bakterilere hayatta kalma şansı tanımamaktadır[16, 126].

Gümüş iyonlarının bakteriler üzerindeki etkisi tam olarak aydınlatılmamış olmakla birlikte genellikle iki mekanizma üzerinde durulmaktadır. Bu mekanizmalardan birincisine göre gümüş iyonları, yapılarında elektron verici grup içeren proteinlerle reaksiyona girerek bu proteinleri etkisiz hale getirmektedir. Bakteri zarından besin girişi, metabolik olaylar

sonucu oluşan toksik maddelerin hücre dışına atılması gibi birçok işlev, zar üzerindeki proteinler tarafından gerçekleştirilir. Bu proteinler gümüş ile kararlı kompleksler oluşturarak işlevini kaybeder, dolayısıyla bakteri ölür. Gümüş iyonlarının bakteriler üzerindeki etki mekanizmalarından ikincisi ise bakteri membranından sitoplazmaya geçen gümüş iyonlarının, sitoplazmik proteinlerle ya da hücrenin DNA'sı üzerinde bulunan thio-, amino-, imidazol-, karboksil- ve fosfat gruplarıyla kompleks oluşturması ve bu molekülleri etkisiz hale getirmesiyle açıklanır.

Nanoboyutlu gümüş parçacıkları ile elde edilen üstün nitelikli bakteri karşıtı nanokaplamalar yapılarda, zemin, duvar, tavan, mobilya, perde, sıhhi tesisat, raf ve tezgahlar, kapı tokmakları ve elektrik devre anahtarları benzeri yüzeylere ince film şeklinde uygulanabilmektedir. Bakteri karşıtı nanokaplamalar ile kimyasal temizlik maddesi kullanmaksızın bakterileri yok etmek mümkün olmaktadır. Bu özelliğe sahip nanokaplamaların etkisi kalıcıdır ve zamanla işlevini yitirmezler. Bu özelliklerinin yanında ölü bakterilerin üst üste yığılmasıyla yeni bakterilerin gelişimine imkân verecek biyofilmlerin oluşmasını engellemek amacıyla yapışmayı önleyici yüzeyler ile kombine edilerek uygulanmaları tavsiye edilmektedir.

Bakteri karşıtı nanokaplamalar yapılarda kullanılan ahşap malzeme yüzeylerinde geniş bir kullanım potansiyeline sahiptir. Ahşap doğal olarak bir bakteri karşıtı etkiye sahiptir ancak üzerine uygulanan geleneksel vernik ve boya ile bu etki ortadan kalkmaktadır. Bakteri karşıtı nanokaplama uygulanarak bu etki ahşap malzemelere tekrar kazandırılabilir (Şekil 2.43) [16, 126].



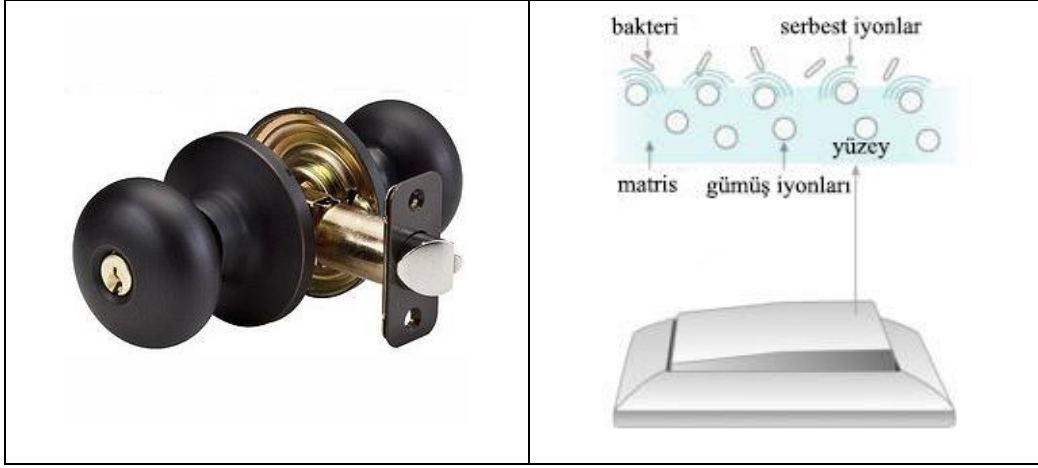
Şekil 2.43. Bakteri karşıtı nanokaplama uygulanmış ahşap zemin kaplamaları[128].

Ahşap malzemelerde olduğu gibi bakteri karşıtı nanokaplamalar yapılarda kullanılan seramik malzeme yüzeylerine de kolaylıkla uygulanabilmektedir. İnce film şeklinde uygulanan nanokaplama, bakterileri etkili bir şekilde yok etmektedir. Bu uygulamanın yanında, seramik yüzeylere oldukça yüksek pürüzsüzlük kazandıran ve bu yolla uygulandıkları yüzeye bakteri benzeri zararlı mikroorganizmaların yapışması engelleyen nanokaplamalar da bu amaçla kullanılmaktadır. Bu tür yüzeyler, su sevmeyen yapıları yardımı ile kir, kireç ve lekelerin yüzeyde birikmesini de engellemektedir (Şekil 2.44) [129, 130].



Şekil 2.44. Bakteri karşıtı nanokaplama uygulanmış seramik malzeme uygulamaları [129].

Bakteri karşıtı nanokaplamalar, yapılarda kullanılan ve yoğun kirletici etki altında kalan yüzeylerde de kullanılabilir. Bu etki kapı kolları, elektrik devrelerinde kullanılan anahtarlar gibi yoğun kullanıma sahip ve dolayısıyla bakteri tehdidi altında kalan alanlarda kullanılabilir (Şekil 2.45).



Şekil 2.45. Bakteri karşıtı nanokaplama uygulanmış seramik malzeme uygulamaları [131, 132].

Yapılarda, özellikle iç mekânda mahremiyetin sağlanması ya da ışık geçişinin kontrol altına alınması amacı ile kullanılan perdeler çok çeşitli özellikte kumaşlardan üretilmektedir. Nanoteknoloji, bakteri karşıtı nanoparçacıklar içeren kumaşların elde edilmesini mümkün kılmaktadır. Bu özelliğe sahip kumaşlar ile üretilen perdeler yapılarda kullanılabilir (Şekil 2.46) [133, 134].



Şekil 2.46. Bakteri karşıtı etkiye sahip kumaş ve perde [133, 135].

Malzeme yüzeylerine ince film şeklinde uygulanan bakteri karşıtı nanokaplamalara ek olarak bünyelerine doğrudan gümüş nanoparçacıklar katılarak elde edilen nanokompozit nitelikte nanokaplama da üretilebilmektedir. Bu kullanım yöntemlerinin yanında uygulandıkları yüzeylere, fotokatalitik tepkimeler ile organik bileşenleri parçalama özelliği

kazandıran nanokaplamalar, kendi kendini temizleme, havayı temizleme gibi üstün özelliklerin yanında bakteri karşıtı özelliğe de sahiptirler[16].

Bakteri karşıtı etkiye sahip nanokaplamalar kimyasal temizlik madde kullanımını azaltır, iş gücü ve temizliğe ayrılan zaman ve enerjide önemli oranda tasarruf sağlar.

2.1.1.3.6. Parmak İzi Tutmayan Nanokaplamalar

İnsanların parmaklarının iç yüzeyindeki deriler girintili çıkıntılı bir yapıya sahiptir. Parmakların iç yüzündeki bu girintili çıkıntılı yapı kişiye özgüdür ve herhangi bir yüzeye temasında, üzerinde bulunan ter bezleri tarafından salgılanmış su tabanlı yağ tabakasını iz bırakacak şekilde yüzeye bulaştırmaktadır. Bu biçimde oluşan izlere parmak izi denilmektedir[136].

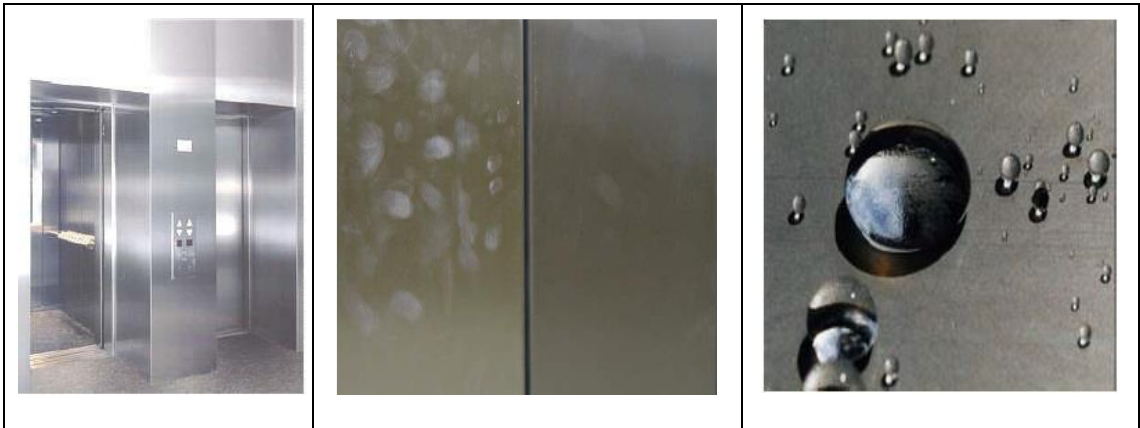
Parmak izi oluşumu, yapılarda çelik ve cam benzeri malzeme kullanımı üzerinde, özellikle iç mekân uygulamalarında olumsuz bir durumdur. Sağlık, temizlik ve estetik açıdan istenmeyen bu durumun ortadan kaldırılması için henüz parmak izi oluşumunu tamamıyla önleyebilecek nitelikte bir yüzey geliştirilememiştir ancak nanoteknolojinin gelişmesi ile parmak izlerinin görünürlüğünü önemli oranda azaltan nanokaplamalar geliştirilmiştir.

Parmak izi tutmayan nanokaplamalar, özellikle kolay erişilen ve yoğun kullanılan alanlardaki malzeme yüzeylerine uygulanarak bu olumsuz etkiyi ortadan kaldırılabilmektedir[16, 137]. Bu tür nanokaplamalar, sahip oldukları yüzey özellikleri ile ışığın kırılmasını ayarlayarak parmak izinin görünürlüğünü önemli oranda azaltmaktadır. Dikkatli incelemede parmak izi görülebilmektedir ancak geleneksel malzeme yüzeyine oranla görünürlük düzeyi önemli derecede azaltılmaktadır (Şekil 2.47) [16, 138].



Şekil 2.47. Parmak izi tutmayan nanokaplama uygulanmış ve uygulanmamış cam yüzeyi[138].

Cam gibi malzeme yüzeylerine uzun süreli net, berrak ve lekesiz bir görüntü kazandıran parmak izi tutmayan nanokaplamalar, malzeme yüzeylerine ince film şeklinde uygulanmakta ve geleneksel, silikon esaslı kaplama uygulamalarının en önemli dezavantajı olan temizlik işlemi sonucunda bulanık bir etki oluşumunu ortadan kaldırmaktadır. Bu özelliğe sahip nanokaplamalar malzeme yüzeyinde toz görünümünü de azaltmakta ve tozların yüzeyden uzaklaştırılmalarını kolaylaştırmaktadır. Parmak izi tutmayan nanokaplamalar, kırılmaz ve çatlamaz yapıları sayesinde uygulandıkları malzemelerin biçiminde değişiklik yapılmasına kısıtlama getirmemektedir. Sahip oldukları bu üstün özellikler ile asansörler, cepheler, mobilyalar, korkuluklar, kapı kolları gibi birçok mimari detay için oldukça uygun olmaktadır (Şekil 2.48) [16, 139].



Şekil 2.48. Parmak izi tutmayan nanokaplama uygulama örnekleri[139].

Parmak izi tutmayan nanokaplamalar, temizliğe ayrılan zaman ve enerji tüketiminde önemli oranda azalma sağlamaktadır. Zararlı kimyasal maddelerin kullanımı ve ekonomik olarak da olumlu getirileri vardır. Bu tür nanokaplamalar aşınma ve çizilme dayanımı ve kolay temizlenme gibi üstün özellikler ile bir arada kullanılabilir[16].

2.1.1.3.7. UV Işınlardan Koruyan Nanokaplamalar

Mimari yapılar, başta atmosfer ile sürekli temas halinde olan dış kabukları olmak üzere farklı yıpratıcı iklim koşullarına maruz kalmaktadır. Yapıların ve yapı malzemelerinin yıpranmasında ve eskimesinde önemli bir yer tutan iklim koşulları içerisinde en etkili olanı güneş ışınımıdır.

Yerküreye ulaşan güneş ışınları farklı enerji değerlerine ve 290 ile 3000 nm aralığında değişen dalga boylarına sahiptirler. Bu ışınlar X ışınları, UV (mor ötesi) ışınlar, görünür ışınlar (ışık), enfraruj (kızıl ötesi) ışınlar ve radyo dalgalarından oluşmaktadır.

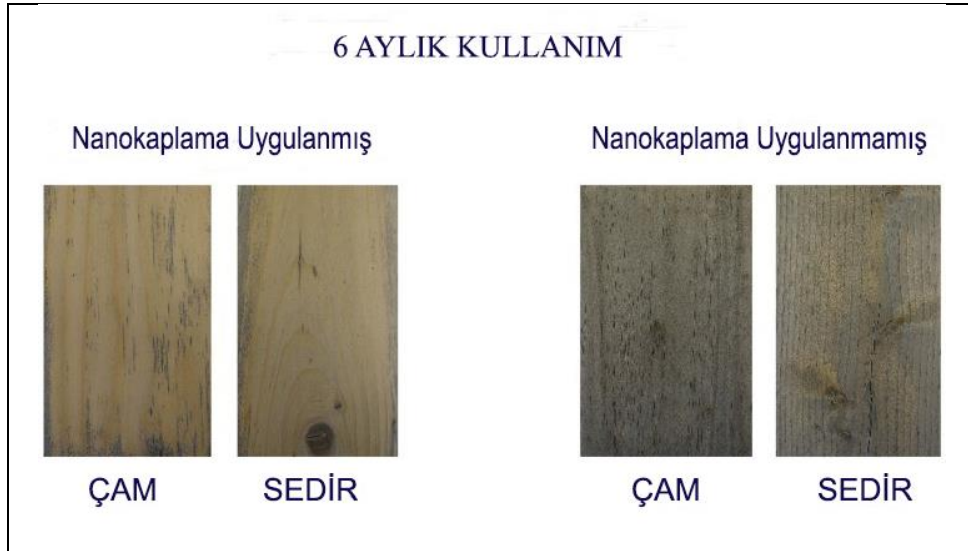
UV (mor ötesi) ışınlar, insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerinin yanı sıra yapılarda kullanılan malzemeler üzerinde de yıpratıcı etkiye neden olmaktadır. UV ışınları, 290 ile 400 nm arasında dalga boyuna sahiptir. Kısa dalga boyunda olan enerjik mor ötesi ışınlar, yapılarda kullanılan özellikle organik yapı malzemelerinin molekül yapısını bozmakta ve renk solması, renk dönmesi, yüzeysel kılcal çatlamlar gibi etkiler oluşturmaktadır. Kılcal çatlamlar zamanla derinleşerek malzemenin mekanik özelliklerinin azalmasına yol açmaktadır[140].

Mor ötesi ışınların bu olumsuz etkileri ve zararlarından hem yapı malzemelerinin hem de yapıda yaşayan insanların korunması amacı ile gerekli önlemler alınması gerekmektedir. Bu amaca yönelik olarak geleneksel UV koruyucu kaplamalar malzeme yüzeylerine uygulanmaktadır ancak bu tür kaplamalar organik yapıları nedeniyle zamanla kendileri de UV ışınlarından etkilenmekte ve işlevlerini kaybetmektedirler. Bu yapısal dezavantajları nedeniyle organik yapı UV koruyucu kaplamalar uzun ömürlü bir koruma sağlayamamaktadırlar[16, 140].

Geleneksel UV koruyucu kaplamaların gösterdikleri olumsuz etkinin ortadan kaldırılması için inorganik yapı UV koruyucu kaplamalar üretilmiştir. UV koruyucu kaplamaların uygulanması için ön koşul, şeffaf olmaları ve uygulandıkları malzeme görüntüsünde herhangi bir değişikliğe neden olmamalarıdır. Bu özelliğin sağlanabilmesi için UV emici maddelerin 15 nm' den küçük boyutlarda olması gerekmektedir. UV

ışınlarından koruyucu etkiye sahip nanokaplama uygulamalarında, nanoboyutlu titanyum dioksit (TiO₂) ve çinko oksit (ZnO) benzeri maddelerinin kullanımı uygundur. Nanoboyutlu inorganik maddeler ile üretilen UV koruyucu nanokaplamaları geleneksel eşdeğerlerinden ayıran en belirgin özellik, inorganik yapıları nedeniyle yüzeylerinin UV ışınlarından etkilenmemesi ve uzun ömürlü koruma sağlıyor olmalarıdır[16].

UV ışığı enerjik olduğu için tahta, kumaş ve pigment gibi organik maddelere zarar vererek solmalarına, kırılmaşmalarına ve madde kaybına uğramalarına neden olmaktadır. Korumasız bir tahta UV ışık ve nem değışikliklerinin ortak etkisiyle 100 yıl boyunca 5-6 mm aşınabilir. Bu durum UV koruyucu nanokaplama uygulanarak etkili bir şekilde engellenebilmektedir[140].



Şekil 2.49. İnorganik UV koruyucu nanokaplama uygulanmış ve uygulanmamış ahşap yüzeylerin 6 aylık kullanım sonrası karşılaştırılması[141].

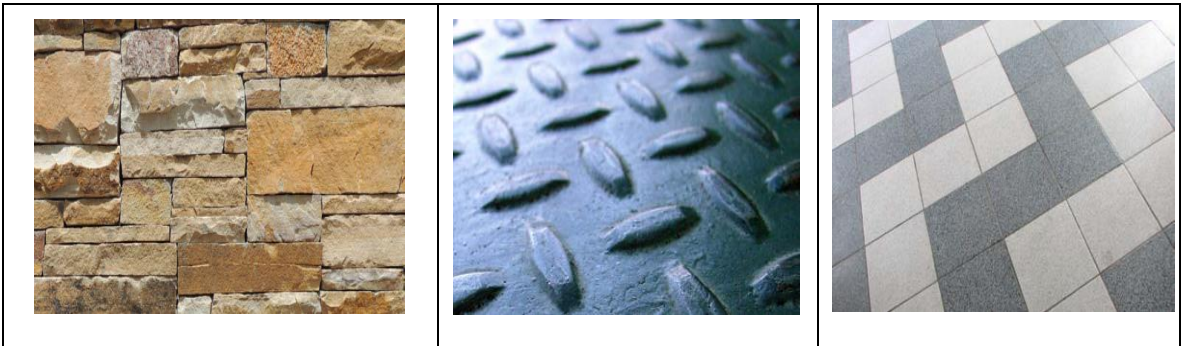
UV koruyucu nanokaplama uygulanmış ahşap malzemeler, görünümünde ve dayanımlarında zayıflama olmaksızın yapılarda dış ve iç ortamda geniş bir kullanım alanı bulmaktadır (Şekil 2.49) [142].



Şekil 2.50. UV koruyucu nanokaplama uygulanmış ahşap malzeme kullanım örnekleri [142].

UV ışınları taşlarda bulunabilecek pigmentlerin renklerinin değişmesine; dış cephe boyalarında, boyanın bağlayıcı kısmını oluşturan film yapıcı maddeyi ayrıştırarak boyanın eskimesine ve renginin solmasına, değişik doğal ya da yapay polimerlerin degradasyonuna (yıkılma; bir bileşiğin kendisini oluşturan daha basit parçalara ayrılması) ve böylece renklerinin bozulmasına, malzemenin çatlamasına ve dökülmesine neden olmaktadır. Bu özelliğe sahip nanomalzemeler ahşap yüzeylerde olduğu gibi taş, metal, seramik benzeri malzeme yüzeylerinde de geniş bir kullanım alanına sahiptir (Şekil 2.51).

UV koruyucu nanokaplama uygulanmış yüzeyler bakteri karşıtı, kendi kendini temizleme gibi birçok yüzey özelliği ile kombine edilebilmektedir. UV koruyucu nanokaplama kullanımı yapılarda kullanılan malzemelerin ömrünü uzatmaktadır. Bunun sonucunda hammadde tüketimi ve enerji israfı da önemli oranda azalmaktadır[16, 140, 143].



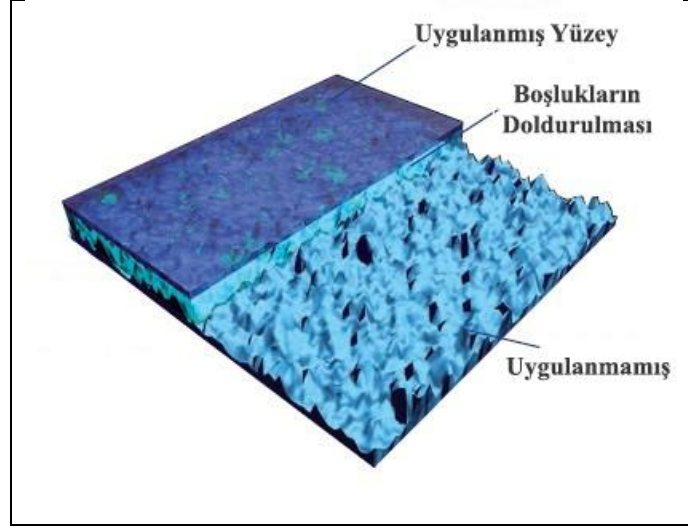
Şekil 2.51. UV koruyucu nanokaplama uygulanmış yüzeyler, doğal taş, metal, seramik [143].

2.1.1.3.8. Çizilmeyen ve Aşınmaya Dirençli Nanokaplamalar

Mimari yapılarda yaygın olarak kullanılan ahşap, metal, seramik benzeri malzeme yüzeyleri kullanım yeri ve şekline bağlı olarak değişen oranda yıpratıcı ve aşındırıcı etkiye maruz kalmaktadır. Bu yıpratıcı ve aşındırıcı etkiler malzeme yüzeylerinde, işlevsel ve estetik açıdan istenmeyen çizilme ve aşınma gibi fiziksel olumsuzlukların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Malzemelerin üzerinde başta kullanım ömürlerini kısaltmak ve görsel kalitelerini azaltmak gibi bir takım olumsuz etkilere neden olan bu tür fiziksel olayların oluşumunu engellemek amacıyla geleneksel kaplamalar kullanılmakta ancak bu uygulamalar ile malzeme yüzeylerine istenilen dayanım ve saydamlık kazandırılmamaktadır.

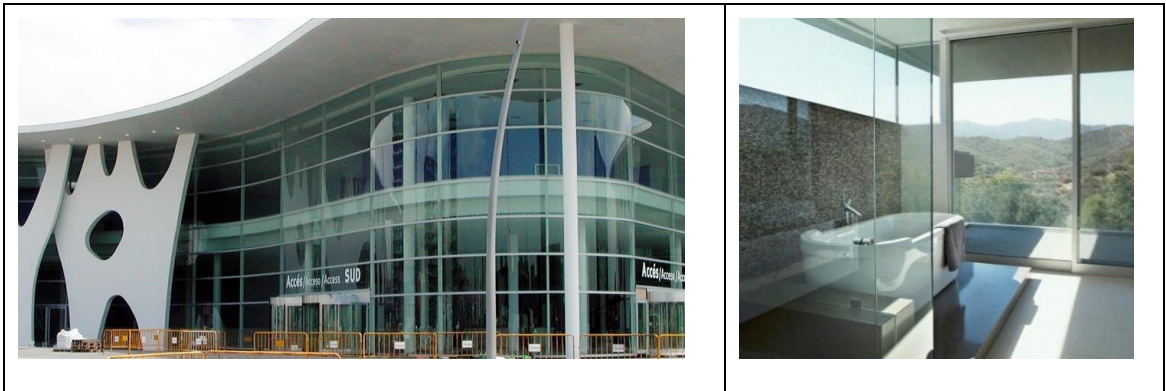
Nanoteknoloji ile üretilen çizilme ve aşınma dirençli nanokaplamalar, nanoboyutlu yapıları ile yüksek dayanım ve saydamlığı bir arada sağlayabilmektedir. Bu özelliğe sahip nanokaplamalar ile malzemelere, yüzey görüntülerinde herhangi bir değişiklik olmaksızın yüksek çizilme ve aşınma direnci kazandırılabilir.

Nanoteknoloji ile üretilen çizilme ve aşınma dirençli nanokaplamalarda saydamlığın sağlanabilmesi için kullanılan malzemelerin nanoboyutlarda olması önemlidir. Nanoteknoloji ile yüksek çizilme dayanımına sahip yüzey oluşturulmasına örnek olarak nanoboyutlu silikon dioksit ve alüminyum oksit kullanılarak oluşturulan nanokaplamalar; yüksek aşınma dayanımına sahip yüzey oluşturulmasına örnek olarak ise malzeme yüzeyinde gerçekleşen sürtünme etkisini azaltacak niteliğe sahip nanokaplamalar verilebilir. Bu tür uygulamalar ile üretilen çizilme ve aşınma dirençli nanokaplamalar kolay temizlenme, UV koruyucu yüzey özellikleri ile bir arada kullanılabilir[16, 144, 145].



Şekil 2.52. Çizilme ve aşınma dayanımı kazandırılmış yüzeyin şematik gösterimi[146].

Nanoteknoloji ile malzeme yüzeylerine kazandırılan yüksek çizilme ve aşınma dayanımı sayesinde yapılar da kullanılan malzemeler, görünümünde herhangi bir değişiklik olmadan uzun süre kullanılabilir. Bu özelliğe sahip olarak üretilen ince film, boya ve vernikler yapılar da geniş bir kullanım potansiyeline sahiptir. Nanokaplamalar yüksek çizilme ve aşınma direnci sunmaktadır ancak bu durum yüzeylerin hiçbir şekilde çizilmeyeceği ve aşınmayacağı anlamına gelmemektedir. Örneğin, yüksek çizilme dayanımına sahip nanokaplama uygulanmış bir yüzey anahtar ile çizilebilmektedir[16, 147].



Şekil 2.53. Kendi kendini temizleyen, UV koruyucu ve çizilme dayanımına sahip nanokaplama uygulanmış cam malzeme kullanım örnekleri[147].

2.1.1.3.9. Kaplama Uygulamalarında Nanoteknoloji Kullanımı Analiz Tablosu

Uygulandıkları malzeme yüzeylerine kendi kendini temizleme, kolay temizlenme, havayı temizleme gibi gelişmiş özellikler kazandıran nanokaplamalar, yapılarda kullanılan farklı malzemelerde (cam, membran, seramik, ahşap, metal ve beton) değişik biçimlerde (ince film, boya ve kompozit) kullanılabilir. Farklı yüzey özelliklerine sahip nanokaplamaların uygulanabildikleri malzemeler, uygulama biçimleri ve avantajları Tablo 2. 3.' de özetlenmiştir.

Tablo 2.3. Kaplama uygulamalarında nanoteknoloji kullanımı

NANOKAPLAMA ÖZELLİKLERİ		KAPLAMA UYGULAMALARINDA NANOTEKNOLOJİ KULLANIMI																		
		UYGULANILAN MALZEME ve UYGULAMA BİÇİMİ												AVANTAJLAR						
		Cam			Membran			Seramik			Ahşap			Metal			Beton			
		İnce Film	Boya	Kompozit	İnce Film	Boya	Kompozit	İnce Film	Boya	Kompozit	İnce Film	Boya	Kompozit	İnce Film	Boya	Kompozit	İnce Film	Boya	Kompozit	
Nano kaplama; bünyesine nanoparçacıklar dâhil edilmiş boya veya ince film şeklinde oluşturulan bir tabaka ile malzeme yüzeylerinin kaplanmasıdır. Bazı durumlarda, nanoparçacıklar geleneksel malzemelerin karışımlarına doğrudan eklenerek yüzey özellikleri istenilen yönde geliştirilebilir.																				Nano boyutta, makro boyutlarda görülmeyen kimyasal ve fiziksel değişimler görülür ve nano boyutlu taneciklerin yüzeye düzgün sıralanması ile nitelikli kaplamalar elde edilebilir.
Kendi kendini temizleme	Lotus ve Fotokatalitik etkisi olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.																		Yüzeylerin uzun süre temiz kalmasını sağlar, temizlik ve bakım masraflarını azaltır.	
Kolay temizlenme	Pürüzsüz, su ve yağ sevmeyen yapı																		Yüzeylerin kolay temizlenmesini sağlar, temizlik ve bakım masraflarını azaltır.	
Havayı temizleme	Zararlı bileşenleri parçalayabilecek yüzey özelliği																		Zararlı bileşenleri parçalayarak, dış ve iç mekân hava kalitesini artırır.	
Buğu tutmama	Yüksek yüzey enerjili ve su seven yapı																		Cam benzeri yüzeylerde net görüntü elde edilmesini sağlar.	
Bakteri karşıtı	Zararlı bileşenleri parçalayabilecek yüzey özelliği																		Zararlı mikroorganizmaları yok ederek hijyenik çevre sağlar.	
Parmak izi tutmama	Parmak izlerinin görünümünü azaltacak yapı																		Parmak izi görünürlüğünü azaltarak yüzeylerin temiz görünmesini sağlar.	
UV ışınlarından koruma	UV ışınlarından etkilenmeyen inorganik yapı																		UV ışınlarının yüzeylerde neden olduğu olumsuz etkileri önler.	
Çizilmeyen ve aşınmaya dirençli	Yüksek çizilme ve aşınma direncine sahip																		Yüzeylere çizilme ve aşınma direnci kazandırarak kullanım süresini uzatır.	

2.1.1.4. Nanoteknoloji ve Yalıtım Uygulamaları

Yalıtım, kelime olarak dış etkilerden ayırmak veya soyutlamak anlamına gelmektedir.

Yapı fiziği bağlamında yalıtım, “arzu edilmeyen fiziksel etkilerin ya da olayların bir taraftan diğer tarafa geçmesini engelleyen işlem ve sistemler bütünü olarak kabul edilir”[61]. Yapılarda yalıtım uygulamalarının amacı yapıların ömrünü uzatmak, bakım masraflarını azaltmak ve asgari enerji tüketimiyle kullanıcılar için optimum iç mekan koşullarını sağlamaktır. Yalıtım uygulamaları, ısı, su, ses ve yangın yalıtımı olarak sınıflandırılabilir.

Isı yalıtımı, enerji ve çevre ile olan yakın ilişkisi, uygulamadan hemen sonra tasarruf sağlaması, dolayısıyla ekonomik katkısı nedeniyle en yaygın ve önemli yalıtım konusudur[148].

Isı yalıtımı; malzemenin üretiminden uygulamasına kadar geçen süreçte, titizlik, hassaslık ve çok yönlü detay çalışması gerektirmektedir. Bu süreçteki en önemli faktör ise kullanılan yalıtım malzemesinin niteliğidir. Dünya genelinde her alanda etkisini hissettiren, çağımızın teknolojisi olarak kabul edilen nanoteknoloji bilimi, malzeme teknolojisinde yeni gelişmelerin yaşanmasına, uygulama tekniklerinin yenilenmesine ve malzemelerin çağın gereksinimlerine göre güncellenmesine neden olmuştur.

Nanoteknoloji biliminin gelişmesi ile üretilen üstün fiziksel özelliklere sahip nano malzemeler, yapılarda yalıtım malzemesi olarak kullanılabilirler. Nano malzemeler, alışlagelmiş yalıtım malzemelerinin üretim sürecinde görülen yenilenemez kaynaklara bağımlılığı ve insan sağlığına zararlı atıkların oluşması gibi olumsuz etkileri minimuma indirirken, yalıtımın verimliliğini maksimuma çıkarmaktadır[3].

Nano yalıtım malzemeleri, geniş kullanım alanlarına sahiptir ve yapılarda genellikle ısı yalıtım uygulamalarında tercih edilmektedir.

2.1.1.4.1. Nanoteknoloji ve Isı Yalıtım Uygulamaları

Mimaride ısı yalıtımı, insanların rahat ve sağlıklı yaşamaları için ısı konfor koşullarının sağlanması, dış ve iç ortam arasındaki ısı (enerji) akışının azaltılarak ısıtma-soğutma giderlerinin düşürülmesi, dolayısıyla yakıt ve enerji tüketimlerinin azaltılmasına yönelik olarak yapıya uygulanan önlemler bütünüdür[149].

Enerji tüketiminin hızla artıyor olması, fosil yakıt kaynaklarının gün geçtikçe azalması, hava kirliliği, küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi dünya genelinde etkisini hissettiren çevresel sorunlar ısı yalıtımını zorunlu hale getirmiştir.

Isı, binalarda ısı geçişine yüksek mukavemet gösteren özel olarak üretilmiş, ısı tutucu olarak nitelendirilen ısı yalıtım malzemeleri ile iç ortamlarda korunmaya çalışılır. Isı iletkenlik katsayıları (λ) 0,1 W/mK' den küçük olan, kondüksiyon (iletim), konveksiyon (taşıma) ve radyasyon (ışınım) yoluyla gerçekleşen ısı akışlarına karşı iyi bir direnç gösteren malzemelere ısı yalıtım malzemesi denilmektedir[149, 150].

Isı yalıtımı sağlamak amacıyla genellikle gözenekli yapıya sahip, gözeneklerinde hareketsiz hava veya gaz bulunan heterojen yapıli malzemeler kullanılmaktadır. Gözenekli ortam, katı bir iskelet içerisinde birbirleri ile bağlantılı boşlukların bulunduğu bir malzeme olarak tanımlanmaktadır. Malzemeyi oluşturan maddenin yapısına göre; kapalı veya açık gözenekli olabilirler.

Isı yalıtım malzemesinin bünyesinde bulunan gözeneklerin malzemenin katı kısmına oranı, hava boşluğu veya gözeneklerinin çokluğu ve boyutları gibi fiziksel özelliklerinin ısı iletkenliği üzerine etkisi uzun yıllardır bilinmektedir. Gözeneklerdeki basınç ve sıcaklığın azaltılması ve gözenek boyutlarının küçültülmesi ile yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlik kat sayıları azaltılarak, yalıtkanlık değerleri artırılabilir. Nano ısı yalıtım malzemeleri bu bağlamda öne çıkmaktadır.

Nanoteknoloji biliminin gelişmesi ile üstün fiziksel özellikleri keşfedilen ve ısı yalıtım uygulamalarında kullanılmak üzere üretilen nano malzemeler, bünyelerinde bulunan nano boyutlardaki (20 nm-100 nm) gözenekler nedeniyle hava moleküllerinin hareket etmesine izin vermeyerek malzeme yüzeyinden ısı geçişini engellemektedirler. Yüksek yüzey-hacim oranına sahip olmaları nedeniyle, minimum malzeme kalınlığında ısı yalıtım işlevini yerine getirebilmeleri, en belirgin özellikleridir.

Geleneksel ısı yalıtım malzemeleriyle karşılaştırıldığında, 6-7 kat daha fazla performans gösteren, daha fazla enerji korunumu sağlayarak yapılarda ısıtma maliyetini önemli oranda azaltan nanomalzemeler; cephede, duvarda, çatıda ve zeminde örtü biçiminde, yarı saydam duvar panelleri, cam/plastik levhalar, U-profil camların arasında dolgu malzemesi olarak ve pencere/gün ışığı sistemlerinde ince film biçiminde uygulanabilmektedirler. Bununla birlikte, nano ısı yalıtım malzemeleri yeni inşa edilmekte olan binaların yanı sıra, dönüştürme ve yenileme yapılan binalarda da uygulanabilmektedir[16].

Nano yapılı ısı yalıtım malzemeleri;

- Aerojel ısı yalıtım malzemeleri,
- Vakumlu ısı yalıtım panelleri (VYP),

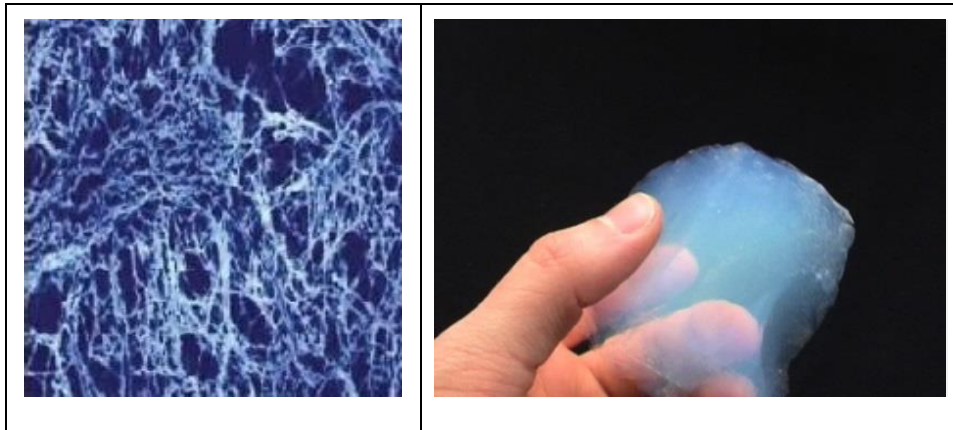
olarak sınıflandırılabilir.

2.1.1.4.1.1. Aerojel Isı Yalıtım Malzemeleri

Aerojel, gözenekleri içerisinde bulunan sıvının hava ile değiştirilmiş olduğu katı maddedir. Aerojelin milyonlarca ufak delikten oluşan yüzeyi, süngeri andırır. Genel olarak bakıldığında, aerojeller %90 ile %98 aralığında gözenekliliğe sahiptir ve gözenekleri çoğunlukla nano yapıdadır (Şekil 2.54) [151].

Aerojellerin karbon aerojel, organik aerojel ve inorganik aerojel gibi türleri bulunmakla birlikte, inorganik aerojel sınıfına giren silika aerojeller üstün özellikleri nedeniyle en yaygın kullanılan aerojel türüdür. İlk olarak 1931 yılında Steven Kistler tarafından keşfedilmiş olan silika aerojeller, silika esaslı sıvı bir jelin yüksek ısı ve basınç altında daha önceden belirlenmiş kritik bir noktaya kadar kurutulması ile elde edilen nano yapılı malzemelerdir.

Silika aerojeller, yüksek gözeneklilik, yüksek yüzey alanı, düşük kırılma katsayısı, düşük elektrik iletim sabiti gibi üstün fiziksel özelliklere sahiptir. Dünyanın en hafif katı maddesi olarak bilinmelerine rağmen kendi ağırlıklarının yaklaşık olarak 2,000 katı ağırlığa karşı dayanım gösterebilmektedirler[3]. Süngeri andıran ve ışığı geçirgen narin yapısı, maddeye “donmuş duman” adının verilmesine sebep olmuştur (Şekil 2.54).



Şekil 2.54. Silika aerojelin elektron mikroskop görüntüsü, silika aerojel[152, 153].

Silika aerojeller, bir başka silika (kum) esaslı madde olan camla kıyaslandığında 1000 kat daha az yoğunluğa ve gözenekli bir yapıya sahiptir. Büyüklüğü milimetrenin milyarda biri kadar olan gözenekler, bir ağ gibi malzemenin içini kuşatır ve deliklerin etrafı da başka bir malzeme ile kaplıdır. Silika aerojeller, bilinen köpüklerden ve diğer ısı yalıtım maddelerinden çok daha üstün özelliklere sahiptir[154].

Tablo 2.4. Silika aerojelin, silika esaslı madde olan camla kıyaslanması[155].

ÖZELLİK	DEĞER	
	SİLİKA AEROJEL	SİLİKA CAM
Yoğunluk (kg/m ³)	5-200	2300
Yüzey alanı (m ² /g)	500-800	0.1
Isı iletkenliği (W/mK) 25 C°	0.016-0.03	1.2
Gözenek boyutları	1-100 nm	---
Işık geçirgenliği (632.8 nm dalga boyunda)	%90	%99
Isıl genleşme katsayısı (1/C 20-80 C°)	2x10 ⁻⁶	10x10 ⁻⁶
Ses hızı (m/s)	70-1300	5000-6000

Silika aerojeller, gözenekliliği ve nanometrik gözenek boyutları nedeniyle oldukça düşük ısı iletkenliği katsayısına sahip, üstün performanslı ısı yalıtım malzemelerinin üretilmesinde kullanılmaktadır. Havadan daha düşük ısı iletkenlik katsayısına sahip olan silika aerojelin bünyesinde yer alan ve her biri yaklaşık 20 nm boyutlarında olan gözenekler hava moleküllerinin malzeme yüzeyinden geçişine izin vermeyerek istenilen yalıtımı çok daha ince malzeme kalınlığında çok daha etkili bir şekilde sağlamaktadır[16, 75].

Doğada kolay bulunabilen malzemelerden sentezlenebilmeleri, aerojellerin üretimini daha ekonomik hale getirmekte ve bu yolla aerojeller malzeme endüstrisinde yaygın kullanım alanı bulabilmektedir. Yapı endüstrisinde başta ısı yalıtım malzemesi olmak üzere diğer birçok disiplinde kullanılmakta ve kullanım potansiyelleri araştırılmaktadır.

Aerojel esaslı malzemelerin mimarlıkta en yaygın kullanımı ısı yalıtım uygulamalarında görülmektedir. Aerojel esaslı ısı yalıtım malzemeleri yapılarda kullanım şekillerine göre;

1. Isı yalıtım örtüsü (yapı cephelerine, çatılara, döşemelere, duvarlara ve/veya geleneksel yalıtım panellerine uygulanır),
2. Dolgu malzemesi (yarı saydam duvar panellerinde, cam/plastik levhalar veya U-profil camların arasında uygulanır),
3. İnce film (pencere/gün ışığı sistemlerinde saydam yüzeylere uygulanır), biçiminde sınıflandırılabilir[16, 156].

2.1.1.4.1.1.1. Aerojel Isı Yalıtım Örtüleri

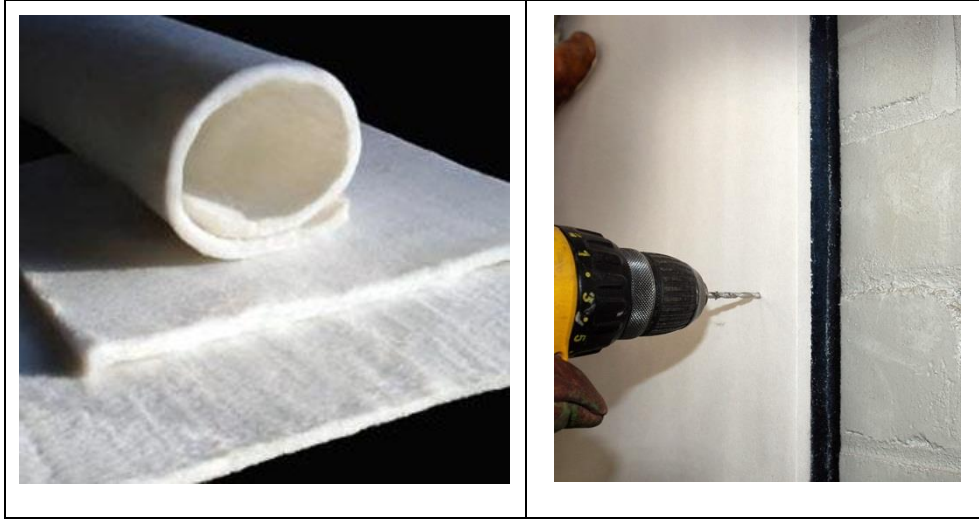
Aerojel ısı yalıtım örtüleri, silika aerojel ve lifli katkı maddeleri kullanılarak üretilen nano gözenekli, monolitik aerojellerin kırılğan yapısının aksine oldukça esnek yapıya sahip kompozit malzemelerdir (Şekil 2.55). Esnekliğinin yanında, düşük ısı iletim katsayısı, yüksek basınç dayanımı, nefes alabilme ve su sevmeyen(hidrofobik) yüzey gibi birçok üstün özelliğe sahip olan aerojel ısı yalıtım örtülerinin yangın dayanım sınıfları, üretimlerinde tercih edilen lifli katkı maddesine göre değişiklik gösterebilmektedir.

Aerojel yalıtım örtüleri, geleneksel ısı yalıtım malzemelerine (polistiren, taş yünü, cam yünü vb.) oranla çok daha ince kalınlıkta, çok daha etkili ısı yalıtım değerine sahiptirler. Bu özellikleri nedeniyle, daha geniş iç mekân oluşumunu olanaklı kılar (100 m² alana sahip bir iç mekânda, geleneksel ısı yalıtım malzemelerine göre 1,5-2 m² alan kazanımı sağlayabilirler), kapladıkları hacimde yaşanan azalma nakliye masraflarında önemli bir kazanç sağlamaktadır[157, 158].

Aerojel ısı yalıtım örtüleri, bünyelerinde bulunan nano boyutlu gözeneklerin, hava moleküllerini hapsederek, malzeme yüzeyinden geçişlerine izin vermemesiyle, pasif bir şekilde yüksek ısı yalıtımı sağlamaktadır. Sahip oldukları bu üstün özellik nedeniyle vakum seviyesi, nem, sıcaklık gibi parametreler malzemenin ısı yalıtım performansını olumsuz yönde etkilememektedir. Bu malzemeler, yapı cephelerine, çatılara, zeminlere, ve/veya geleneksel yalıtım panellerine, yüksek ısı yalıtım değeri ve enerji tasarrufu için uygulanabilmektedir.

Aerojel ısı yalıtım örtüleri, uygulama işlemleri sırasında herhangi bir alt iskelet veya çerçeve sisteme ihtiyaç duymaksızın uygulama yüzeyine vidalanarak uygulanabilir (Şekil

2.55). Üretici firmalar tarafından farklı boyutlarla üretilen ısı yalıtım örtüleri uygulama sırasında (makas, bıçak gibi ekipmanla) kolaylıkla kesilerek, boyutlarında düzenleme yapılabilir. Kesim işlemi gerçekleştirilirken toz oluşabilmektedir bu nedenle işlem yapılırken gerekli önlemler (eldiven, gözlük ve maske gibi) alınmalıdır[157].



Şekil 2.55. Aerojel ısı yalıtım örtüsü, aerojel ısı yalıtım örtüsünün duvar yüzeyine montajı[159].

2.1.1.4.1.1.2. Aerojel Dolgulu Paneller

Düşük ısı iletkenliği, yüksek ışık geçirgenliği ve etkili ısı yalıtım kabiliyeti gibi üstün özelliklere sahip aerojel taneciklerinin, koruyucu levhalar (cam, plastik gibi) ve/veya U-profil camların arasına doldurulması ile elde edilmektedir (Şekil 2.56).

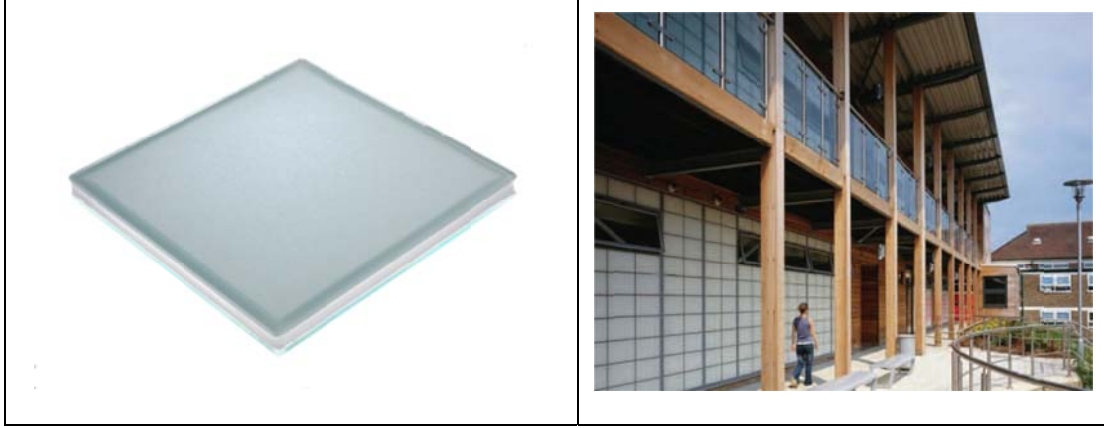
Panellerde dolgu malzemesi olarak kullanılan tanecikli aerojeller, düzgün kürelerden veya düzensiz olarak kırılmış parçalardan oluşmaktadır.

Düzgün küresel taneciklerin homojen bir dağılımı vardır. Ancak daha düşük saydamlığa sahiptirler. Düzgün ve kırık tanecikler optik bakımdan da önemli farklara sahiptir.

Parçalardan oluşmuş aerojeller, lekeli, dumanlı bir görünüme neden olmaktadır. Çünkü irili ufaklı düzensiz tanelerin dağılımı da düzgün olmadığı için dağınık bir yerleşim oluşmaktadır. Bu aerojellerin yarısaydam veya daha düşük saydamlıkta türleri vardır.

Dolgu malzemesi olarak kullanılan aerojel tanecikleri, nem ve çekme basıncına karşı dayanım gösterememektedir. Bu tür malzemeler su ve su buharı ile etkileşimlerinde çok

kolay işlevlerini kaybetmektedirler. Bu nedenle koruyucu levhalar ile uygulanmaktadır[16].



Şekil 2.56. Aerojel dolgulu panel ve uygulama örneği[160].

Aerojel dolgulu paneller, çok etkili ısı ve ses yalıtımı sağlamasına ek olarak iyi bir ışık geçirimi sunmaktadır ve ışığı mekâna eşit şekilde dağıtmaktadır. Doğrudan gelen güneş ışığının parlamasını engelleyerek panjur, güneş kırıcı gibi önlemlere olan gereksinimin ve yapay gün ışığı ihtiyacının önüne geçmektedir[16].

2.1.1.4.1.1.3. Aerojel İnce Filmler

Yüksek ısı yalıtımı ve ışık geçirgenliği değerlerine sahip, gözenekli yapıda silika jel esaslı malzemelerdir. Bu malzemeler, kuvars kumu (silika jel, SiO_2) ve gözenekler arasını dolduran hava/gazlardan oluşmaktadır. Kırılgan yapıda olmalarına rağmen bünyelerine eklenen lifli katkı maddeleri ile malzeme bünyesine esneklik kazandırılabilir. Işığı oldukça az yansıtması nedeniyle, cam yüzeylere uygulandıklarında yaklaşık olarak % 12 oranında daha fazla ışık geçirimi sağlayabilmektedirler. Sahip oldukları nano boyutlu gözenekler nedeniyle, yüksek ısı yalıtım değerine sahiptir ve oldukça hafiftirler (Şekil 2.57).

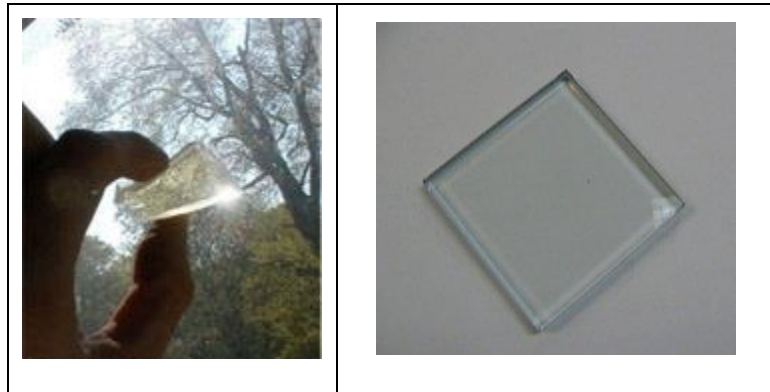
Aerojel ince filmler, kuvars kum taneciklerinin ışığın dalga boyundan küçük boyutlarda olmasıyla çok iyi ışık geçirgenliğine sahip olmaları, yanmayan yapıları gibi gelişmiş fiziksel özellikleri nedeniyle, başta pencereler olmak üzere yapılarda birçok

uygulama alanına sahiptir. Pencere bölmelerinde kullanılan, cam veya plastik esaslı saydam yalıtım elemanlarının yüzeyine sandviç şeklinde uygulanabilir.

Tablo 2.5. Aerojel ince film ısı yalıtım malzemesi teknik özellikleri (airglass) [161].

Yoğunluk	50-200 kg/m ³
Yansıtma İndeksi	1.02-1.05
Isı iletim katsayısı	20 C°' de 0.021 W/m° - 300 C°' de 0.2
Bozulma sıcaklığı	750 C° üzerinde
Kimyasal içerik	%99.99 SiO ₂
Standart boyutlar	60x60x2cm ³
Tanecik boyutları	10-30 nm

Üretim sürecinde kalıp kullanılması nedeniyle, farklı kalınlık ve biçimlerde üretilebilmektedirler (kalınlığı değişen silindireler, küpler, tabaklar). Standart boyutlarda üretilen ince filmler, uygulama sahasında şerit testere ile kesilerek boyutlarında oynama yapılabilir. Ayrıca herhangi bir olumsuz etki olmadan malzeme yüzeyinde (matkap gibi ekipmanlar ile) delik açılabilir.



Şekil 2.57. Aerojel ince film ısı yalıtım malzemesi, ince film uygulanmış cam[161, 162].

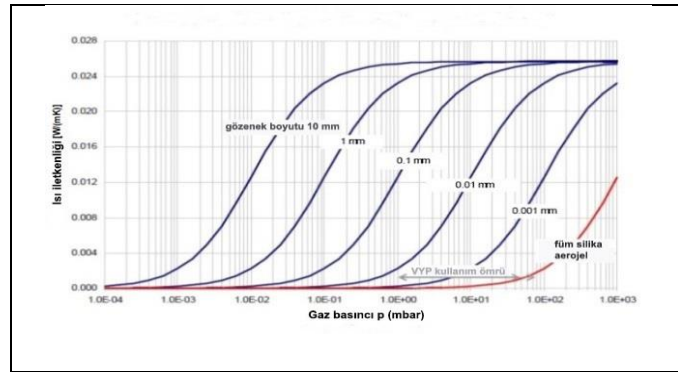
2.1.1.4.1.2. Vakumlu Isı Yalıtım Panelleri (VYP)

Geleneksel ısı yalıtım malzemelerinde yalıtımı sağlayan havadır ve dolayısıyla malzemelerin ısı yalıtım performansı, havanın ısı iletim katsayısına bağlı olarak şekillenmektedir[163]. Hava molekülleri ısıyı, iletim ve taşınım olmak üzere iki farklı mekanizma ile sıcak ortandan soğuk ortama taşımaktadır.

Hava yoluyla ısı taşınımı, hava moleküllerinin uzun mesafeli hareketleri ile yüksek sıcaklıktaki bölgeden düşük sıcaklıktaki bölgeye, hacim yeterli olduğunda ısının taşınması şeklinde gerçekleşir. Hacmin küçülmesi ve havanın hareketsiz kalması ısı taşınım yoluyla gerçekleşen ısı hareketlerini en aza indirmektedir. Hava yoluyla ısı iletimi ise, hava moleküllerinin malzeme gözeneklerinde, ortalama hareket yörüngeleri boyunca hareket ederek, birbirleri ile çarpışmaları sonucunda gerçekleşmektedir[164]. Hava yoluyla gerçekleşen ısı iletiminin azaltılabilmesi, yüksek ısı yalıtım değerlerine sahip malzemelerin üretilmesinde önemli bir potansiyele sahiptir. Bu amaca yönelik olarak uygulanan farklı yöntemler vardır. Bu yöntemler üç ana başlık altında toplanabilir:

Birinci yöntem, ısı yalıtım malzemelerinin gözeneklerinde bulunan havanın, ısı iletim katsayısı daha düşük gaz ile değiştirilmesidir (bu yaklaşım kapalı hücreli köpüklerin üretilmesinde etkin rol oynamıştır) (Şekil 2.58).

İkinci yöntem, ısı yalıtım malzemelerinin gözenek boyutlarında değişiklik yapılarak nano boyutlara çekilmesi ve/veya nano boyutlu gözeneklere sahip malzemelerin kullanılmasıdır (bu yöntem aerjel esaslı ısı yalıtım malzemelerinin üretilmesinde etkin rol oynamıştır).



Şekil 2.58. Gözenek boyutlarına göre havanın ısı iletim katsayısı değişimi[164].

Üçüncü yöntem, ısı yalıtım malzemelerinin vakumlanmasıyla, malzeme gözeneklerinde bulunan hava molekülü sayısını düşürmek ve havanın basıncını azaltmaktır (bu yaklaşım vakumlu yalıtım panellerinin üretilmesinde etkin rol oynamıştır).

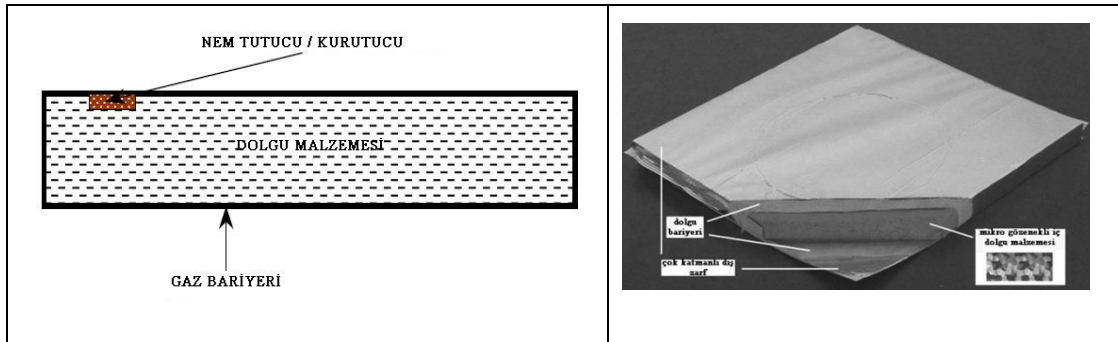
Gaz basıncının azaltılmasıyla, hava/gaz moleküllerinin ortalama hareket yörüngelerinde artış meydana gelmektedir. Birim hacimde serbest olarak hareket eden gazların çarpışma sıklığı azalacağından, hava yoluyla gerçekleşen ısı iletiminde önemli oranda azalma olacaktır. Gazın hareket ettiği boşluğun hacmi (gözenek boyutları) azaldıkça bu mekanizma daha iyi çalışmaktadır. Düşük basınç ve küçük gözenekler hava/gazın ısı iletim mekanizmasını mümkün olan en düşük seviyelere getirmektedir[165, 166]. Vakumlu ısı yalıtım panelleri bu yöntem ile üretilen malzemelerdir.

Vakumlu ısı yalıtım panelleri (VYP) genellikle açık gözenekli yapıda (bu yolla vakumlanabilir) bir iç dolgu malzemesinin, malzeme karakterine bağlı olarak gaz giderici/kurutucu kullanılarak ya da tek başına bir dış zarfın içine yerleştirilerek vakumlanması ve sızdırmazlığı sağlanarak atmosfere kapatılması (bu işlem, her iki uçtan çıkıntı yapacak şekilde bırakılan dış zarfın panelin arka yüzüne katlanması şeklinde tamamlanır) ile oluşturulan ısı yalıtım malzemeleridir (Şekil 2.59) [16, 163].

Yüksek yalıtım değerleri ile günümüzde kullanılmakta olan ısı yalıtım malzemeleri arasında en etkili çözümü sağlayan ve birçok alanda kullanım potansiyeli araştırılıp, geliştirilmekte olan vakumlu ısı yalıtım panelleri, üç ana bileşenden oluşmaktadır (Şekil 2.59). Söz konusu bileşenler;

1. İç dolgu malzemesi,
2. Gaz giderici/Nem kurutucular (iç dolgu malzemesi karakterine bağlı olarak)
3. Dış zarf,

olarak sıralanabilir[163, 167].



Şekil 2.59. VYP yapısının şematik gösterimi ve içeriği[168].

İç dolgu malzemeleri, açık gözenekli (vakumlanabilir) yapıda olan, atmosfer basıncı gibi dış etkenlere karşı panele dayanıklılık ve esneklik kazandıran ve iletim yoluyla gerçekleşen ısı transferini en aza indirecek özelliklere sahip malzemelerdir.

Vakumlu ısı yalıtım panellerinde iç dolgu malzemesi olarak kullanılan malzemeler; aerojel, açık hücreli poliüretan, geri dönüşümü yapılmış poliüretan, açık hücreli ekstrude edilmiş polistiren, fiberglass, toz malzemeler olarak sıralanabilir[163].

Aerogel, füm silika gibi nano yapıları malzemeler açık hücre yapıları ve nano boyutlardaki gözenekleri nedeniyle en çok tercih edilen iç dolgu malzemeleri olarak öne çıkmaktadır[164, 169].

Dış zarf malzemeleri, vakumlanmış iç dolgu malzemesinin etrafını tamamen saran, yapıyı dış ortamdan ayırarak iç dolgu malzemesine hava ve buhar geçişini engelleyen, gaz ve nem geçirgenlikleri oldukça düşük çok katmanlı filmlerdir. Dış zarf malzemeleri, iç dolgu malzemesinin vakumlanması ile elde edilen düşük basınç değerlerini korumaları nedeniyle panellerin kullanım ömrü üzerinde doğrudan etkilidirler[165, 166].

Vakumlu ısı yalıtım panellerinde dış zarf malzemesi olarak kullanılan malzeme alternatifleri; plastik, paslanmaz çelik ve alüminyum içeren çok katmanlı filmler olarak sıralanabilir[163].

Gaz giderici/nem tutucular, düşük vakum seviyelerinde iç dolgu malzemesindeki gözeneklerin arasına dış ortamdan geçen gaz ve buharın tahliyesini sağlayarak panelin işlevini yitirmesini engellemektedirler[67]. Yerleştirilecek gaz giderici sayısı tamamen planlanan VYP ömrüyle ilişkilidir[163].

Vakumlu yalıtım panellerinde gaz giderici/nem tutucu olarak kullanılan malzeme alternatifleri, zeolit, karbon tozu, desikant ve kimyasal gaz gidericiler olarak sıralanabilir[163].

Farklı malzeme birleşimleri kullanılarak üretilebilen vakumlu ısı yalıtım panelleri, geleneksel ısı yalıtım malzemelerine oranla çok daha ince malzeme kalınlığında, çok daha etkili ısı yalıtım değerlerine sahiptirler. Bir başka deyişle maksimum ısı yalıtım değerini minimum malzeme kalınlığında sağlamaktadırlar[16].

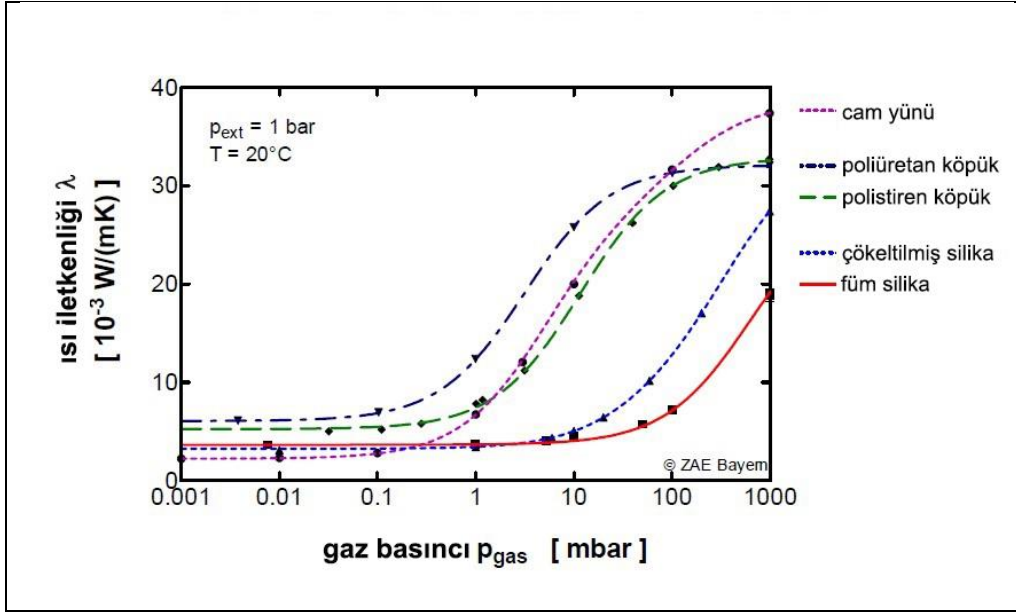


Şekil 2.60. Isı yalıtım uygulamalarında kullanılan geleneksel malzemeler ve VYP[168].

Vakumlu ısı yalıtım panelleri sahip oldukları bu özellik ile uygulandıkları yapılarda, geleneksel malzemelere oranla daha fazla zemin alanı çıkarmaktadırlar. Üstün ısı yalıtım özelliklerinin yanında, geri dönüşümlü ve sağlığa zararsız malzemelerden üretilmeleri, sürdürülebilir olmaları gibi birçok olumlu özelliğe sahiptirler. Bu olumlu özelliklerinin yanında çok pahalı ve yeni bir ürün olmaları, fiziksel etkilere karşı hassas dış zarfa sahip olmaları nedeniyle, geleneksel ısı yalıtım malzemelerinin yerini tam olarak alamamışlardır[16, 164, 166].

Vakumlu ısı yalıtım panellerin kullanım ömrü, vakum seviyelerine bağlıdır ve vakumlu oldukları sürece işlevlerini yerine getirebilmektedirler. Kullanım amacına bağlı olarak değişmekle birlikte, VYP'lerin kullanım ömürleri 30 ila 50 yıl arasında değişmektedir (nemli ve rutubetli çevre, dış zarfın zarar görmesi gibi dış etkenler bu süreyi kısaltabilmektedir).

Vakumlu ısı yalıtım panellerinde kullanılan açık hücreli dolgu malzemesinin, yüksek gözenek basıncında daha düşük ısı iletim katsayısına sahip olabilmesi gözenek yapısı ile ilişkilidir. Daha küçük gözenekli dolgu malzemeleri, daha yüksek gözenek basınçlarında daha düşük ısı iletim katsayısına sahip olabilmektedir. Bu nedenle nano yapı malzemeler (aerojel, füm silika, vb.) açık hücre yapıları ve nano boyutlardaki gözenekleri nedeniyle en çok tercih edilen iç dolgu malzemeleri olarak öne çıkmaktadırlar (Şekil 2.61) [170].



Şekil 2.61. Farklı iç dolgu malzemelerinin ısı iletim katsayıları[164, 170].

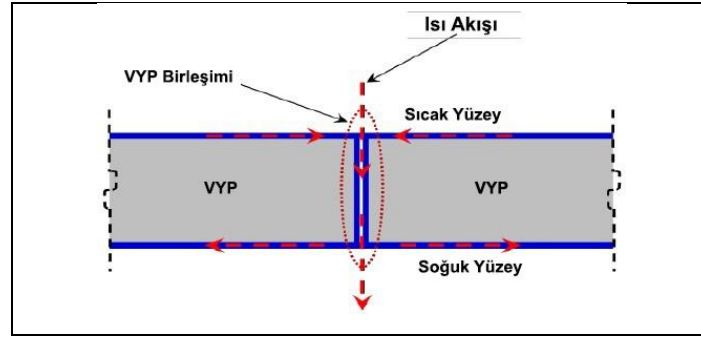
Vakumlu ısı yalıtım panelleri, iç mekânda ve dış mekânda farklı yapı elemanlarında kullanılabilir. İç mekânda zemin, tavan, kapılar, bölücü duvarlar ve duvar panellerinde; dış mekânda cephe, çatı ve çatı pencerelerinde, teras zemini, pencere parapetleri ve prefabrike beton/kompozit panellerde yüksek ısı yalıtım özelliğini oldukça ince malzeme kalınlığında sağlamaları nedeniyle tercih edilmektedir. Yeni yapıların inşasında kullanılabildikleri gibi var olan yapılarının yenileme ve dönüşüm çalışmalarında da kullanılabilirler (tek başlarına veya geleneksel ısı yalıtım malzemeleri üzerine).

Vakumlu ısı yalıtım panellerinin yapılarda uygulanması sürecinde, panelin yapı içinde konumlandırılma biçimi, yapı elemanlarının diziliş sırası ve biçimi, panelin dış zarf sağlamlığının korunması gibi ısı yalıtım değerini ve vakumlu ısı yalıtım panellerinin kullanım süresini doğrudan etkileyen, bu nedenle dikkat edilmesi gereken önemli durumlar vardır[16, 166].

Vakumlu ısı yalıtım panellerinin istenilen düzeyde ısı yalıtım değerlerini sağlayabilmesi için uygulama sırasında yerleştirilme biçimleri oldukça önemlidir. Bunun nedeni ise, vakumlu ısı yalıtım panellerin en önemli problemlerinden biri olan termal köprü (edge effect) etkisidir (Şekil 2.62) [166]. Özellikle nano boyutlu gözenekleri nedeniyle, iç dolgu malzemesi olarak yaygın kullanıma sahip silika esaslı malzemelerin kullanıldığı vakumlu panellerin iç kısmında ulaşılan ısıl değerler, katı ortamda yaklaşık 0.004 W/mK olarak bilinse de, gerçekte bu değer vakumlu ısı yalıtım panelinin her

noktasında sağlanması mümkün değildir. Çünkü iç dolgu malzemesinin dışını saran alüminize ya da metalize koruyucu bariyer filmlerin ısı iletim kat sayıları çok yüksektir. Özellikle, vakumlu ısı yalıtım panelinin yan duvarlarında ve bariyer filmin katlanma detaylarında bu etki, ısı iletimi üzerinde kendini net bir şekilde göstermektedir[16, 166].

Yapı içerisindeki vakumlu ısı yalıtım panellerinin birbirine temas etmesi durumunda ise etki daha da artmaktadır. Komşu paneller arasında bırakılan boşluklar soğuk ısı köprülerini en az seviyeye indirmeye yönelik olmalıdır. Mesafe gereğinden fazla olursa bu ısı sızmasına neden olmakta, panel boyutları büyüdükçe yalıtım değerleri artmaktadır[13, 70]. Aynı iç dolgu malzemesine sahip VYP' ler de kullanılan bariyer filme bağlı olarak ısı yalıtım değeri değişebilmektedir.



Şekil 2.62. İki VYP arasında oluşan termal (ısı) köprü[168].

Dış zarf malzemesinin sağlamlığı VYP' lerin işlevleri üzerinde doğrudan etkili olduğu için şantiye sahasında ve nakliye sırasında çok dikkatli olunmalı, gerekli özel ürünler ile önlemler alınmalıdır. Gevşek yapıda bir dış zarf, panelin delindiğini ve işlevini kaybettiğini göstermektedir.

Şekil 2.63' de vakumlu ısı yalıtım panellerin Almanya' da yer alan, tarihi niteliğe sahip müstakil bir konutta kullanımı gösterilmektedir. Konutun sahip olduğu çok küçük saçak genişliği nedeniyle, cephelerine uygulanacak ısı yalıtım kalınlığı, Almanya Tarihi Anıtlar Koruma Dairesinin almış olduğu kararla 60 mm ile sınırlandırılmıştır. İnce katmanların istendiği ve geleneksel çözümlerin uygulanamadığı yapıda, cephenin yalıtımı 15 mm kalınlığında vakumlu ısı yalıtım panelleri ile sağlanmıştır. Uygulama öncesi ve sonrasına ait fotoğraflar yapı kabuğunda neredeyse hiçbir değişikliğin olmadığını göstermektedir.

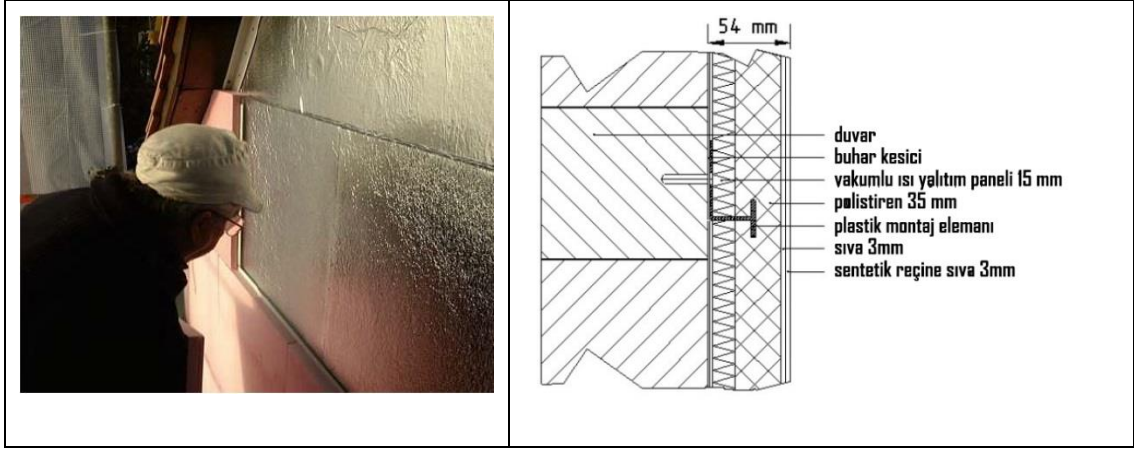


Şekil 2.63. Vakumlu ısı yalıtım uygulanmasından öncesine ve sonrasına ait görünüm[168].

Uygulamada ilk olarak, VYP'lerin oturacağı plastik ankraj elemanlar yapı dış duvarına monte edilmiştir. 15 mm kalınlığında, $0.5 \times 0.5 \text{ m}^2$ boyutlara sahip VYP'ler bu ankraj elemanları içerisine yerleştirilmiştir. Panellerin üzeri (yapıştırıcı bir madde yardımıyla sabitliği sağlanarak) 35 mm kalınlığında polistren panolar ile kaplanmıştır. Son olarak cephe yüzeyine sıva uygulanmıştır. Cephelerdeki pencere açıklıklarının etrafında küçük boyutlu ($25 \times 50 \text{ cm}^2$ ve $12,5 \times 50 \text{ cm}^2$) VYP'ler kullanılmıştır ve boyutsal olarak standart dışı kalan alanlar polistiren ile kaplandığı için cephenin % 95'i VYP, % 5'i Polistiren panolar ile yalıtılmıştır (çatı katında yer alan duvar yüzeylerinde bu oran 35 m^2 'ye çıkmıştır).

Vakumlu ısı yalıtım paneli ve polistiren panolar kullanılarak gerçekleştirilen ısı yalıtım uygulaması sonucunda, U-değeri $0.6-0.75 \text{ W/m}^2\text{K}$ olan yapı dış duvarında (30 cm doğal taş duvar) bu değer $0.19 \text{ W/m}^2\text{K}$ seviyesine indirilmiştir.

Yapı cephesine uygulanan vakumlu ısı yalıtım panelleri işlevlerini kaybetmiş olmaları halinde bile yaklaşık olarak 0.02 W/mK ısı iletkenliği değeri sağlayabilmektedirler. VYP'lerin sahip olduğu bu özellik ve kullanılan polistren ısı yalıtım panoları sayesinde duvar yüzeyinin ısı yalıtım değeri sürekli bir şekilde sağlanabilmektedir.



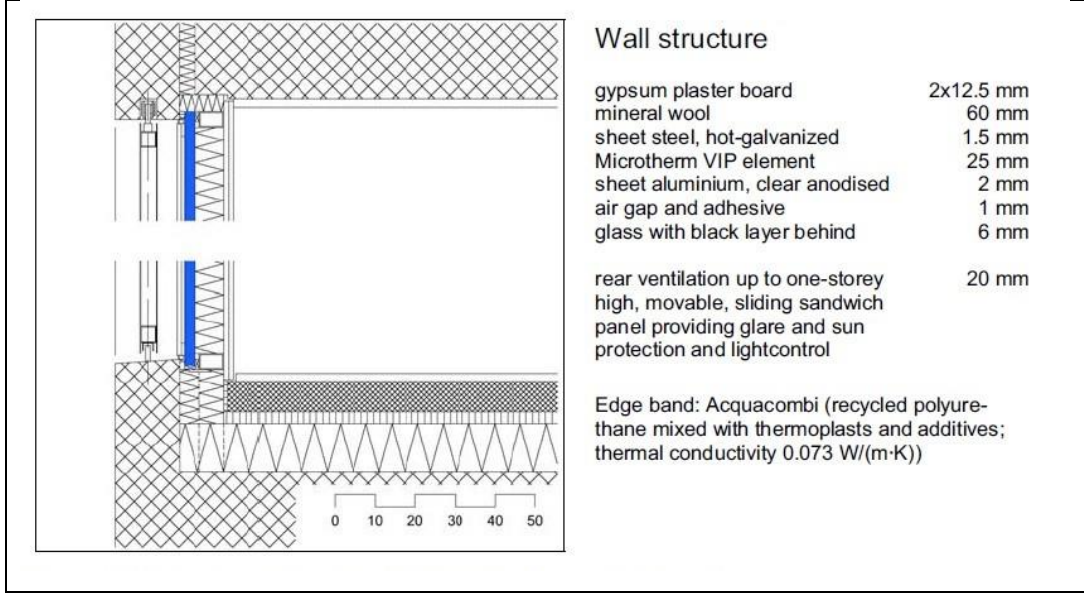
Şekil 2.64. VYP'lerin polistiren ile kaplanması, VYP uygulanmış yapı dış duvar kesiti [168].

Vakumlu ısı yalıtım panellerin yapılarda kullanımına yönelik diğer bir örnek olarak İsviçre' de yer alan müstakil konut verilebilir (Şekil 2.65). Yapının geniş cam yüzeyleri nedeniyle ek yalıtım gereksinimine ihtiyaç duyulmaktadır. Oldukça dar bir taban alanı üzerine inşa edilmiş olan yapıda ortaya çıkan bu gereksinimler tasarımcıyı oldukça ince malzeme kalınlığında etkili ısı yalıtım değerine sahip olan VYP kullanımına yöneltmiştir.



Şekil 2.65. VYP uygulanmış yapıya ait cephe görüntüleri [168].

Yapının 50 m²' lik zemin katı, 8 adet duvar paneli kullanılarak oluşturulmuştur. Uygulama da ilk olarak metal bir çerçeve oluşturularak 60 mm kalınlığında geleneksel taş yünü ısı yalıtım levhası bu çerçeveye yerleştirilmiştir ve ardından sistem 2 kat alçı levha ile kapatılmıştır.

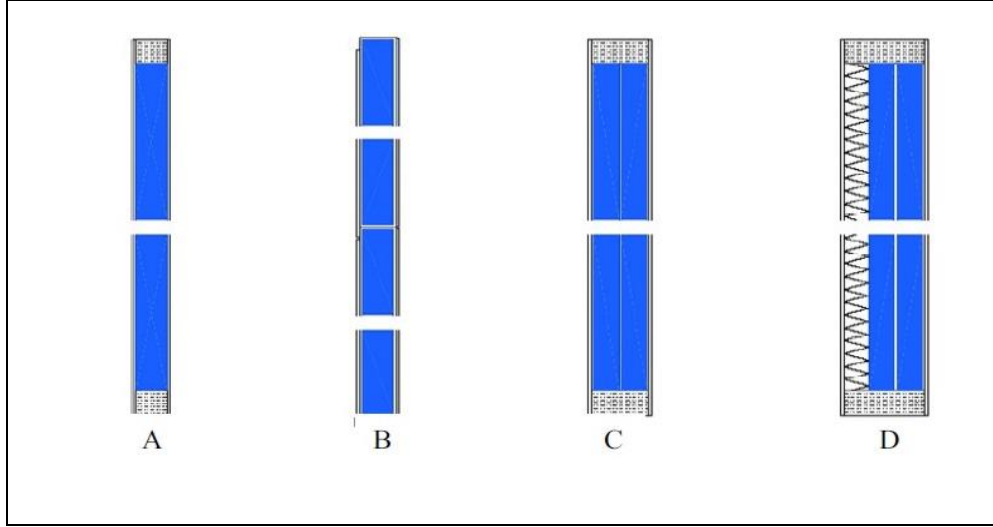


Şekil 2.66. VYP uygulanmış yapı dış duvar kesiti[168].

metal çerçeve üzerine yerleştirilen çelik direklere VYP' ler monte edilmiş, kenar derzleri geri dönüştürülmüş poliüretan köpük ile tamamlanmıştır. Son olarak yapışkan alüminyum bant ile sızdırmazlıkları sağlanmıştır. 10 mm kalınlığındaki cam levha ile sistem arasında 8 mm genişliğinde bir hava boşluğu bırakılmıştır. VYP' ler işlevlerini kaybetse de sistem ısı yalıtımını sağlayacaktır.

Vakumlu ısı yalıtım panelleri genellikle standart boyutlarda üretilmektedirler ancak özel boyutlarda üretim de mümkündür. Özel boyutlarda üretim karmaşık ve pahalı olması nedeniyle fazla tercih edilmemektedir. Vakumlu ısı yalıtım panelleri farklı boyut ve malzemeler ile bir arada kullanılabilir.

Vakumlu ısı yalıtım panellerinin işlevlerine devam edebilmeleri için dış zarf sağlamlıkları oldukça önemlidir. Bu durum, panelin kesilemeyeceği ve boyutlarında değişiklik yapılamayacağı anlamına gelmektedir. Bu nedenle VYP' lerin kullanımı oldukça dikkatli tasarım ve uygulama süreçlerini gerektirmektedir.



Şekil 2.67. VYP sandviç panel çeşitleri[168].

Son yıllarda yapılan yoğun araştırmalar ve çalışmalar, özellikle yeni malzemelerin üretim sürecine dahil edilmesi (örneğin aerjel dolgu malzemesi) VYP'lerin üretim maliyetinde ve zamanında önemli gelişmelerin yaşanmasına neden olmaktadır. Yakın gelecekte küresel ısınma tehdidiyle karşı karşıya olan dünyada yüksek ısı yalıtım değerleri nedeniyle VYP'lerin oldukça yaygın kullanıma sahip olması beklenmektedir[16, 165].

2.1.1.4.1.3. Isı Yalıtımı Uygulamalarında Nanoteknoloji Kullanımı Analiz Tablosu

Geleneksel ısı yalıtımı malzemelerine oranla çok daha etkili ısı yalıtımı sağlayan nanomalzemelerin yapılarda kullanım alanları duvar, döşeme, doğrama(pencere) ve çatı başlıkları altında Tablo 2. 6.' da gösterilmiştir. Ayrıca, yapılarda yaygın kullanıma sahip geleneksel ısı yalıtım malzemeleri (cam yünü, taş yünü, EPS ve XPS) ile aerjel ısı yalıtım örtüsü (Tablo 2. 7.) ve vakumlu ısı yalıtım paneli (Tablo 2. 8.), malzeme özellikleri, üretim ve uygulama başlıkları altında karşılaştırılmıştır.

Tablo 2.6. Isı yalıtım uygulamalarında nanoteknoloji kullanımı

NANOMALZEMELER	ISI YALITIM UYGULAMALARI ve NANOTEKNOLOJİ KULLANIMI																	
	YAPILARDA KULLANIM ALANLARI																	
	DUVAR				DÖŞEME					DOĞRAMA(PENCERE)				ÇATI				
	Bodrum Kat		Yapı Kabuğu		Zemine O.		Kat	Tavan		Saydam		Yarı saydam		Teras		Eğimli	Yeşil	
Dıştan	İçten	Dıştan	İçten	Su Yalıtımlı	Su Yalıtımsız	Ara Kat	Ek Yalıtımlı	Ek Yalıtımsız	Cam	Fiberglas	Cam	Cephe Elemanı	Yürünebilen	Yürünemeyen		Yürünebilen	Yürünemeyen	
Aerojel Isı Yalıtım Örtüsü																		
Aerojel Dolgulu Panel																		
Aerojel İnce Film																		
Vakumlu Isı Yalıtım Paneli																		

Tablo 2.7. Aerojel ısı yalıtım örtüsü ile geleneksel ısı yalıtım malzemelerinin karşılaştırılması

GENEL BİLGİLER		ISI YALITIM MALZEMELERİ				
Karşılaştırma tablosu		NANO MALZEME	GELENEKSEL MALZEMELER			
		Aerojel Isı Yalıtım Örtüsü	Cam Yünü	Taş Yünü	Genleştirilmiş Polistiren (EPS)	Ekstrüde Polistiren (XPS)
Malzeme Özellikleri	Isı iletkenlik (W/mk)	0.010-0,020	≤ 0,040	≤ 0,040	0,030 - 0,040	≤ 0,035
	Yoğunluk (kg/m ³)	50-100	40-120	30-200	10-300	20-52
	Basınç dayanımı (N/m ²)		0,5-500		30-500	100-1000
	Su Buharı difüzyon direnci		1	1	20-100	90-100
	Işık Geçirgenliği	-	-	-	-	-
	Hammadde	Silika aerojel	Silis kumu	Bazalt taşı	Polistiren	Polistiren
Üretim ve Uygulama	Üretim Şekli	Hammadde ve istenen özellikler için lifli katkı maddeleri kullanılarak elde edilir.	İnorganik hammaddenin yüksek sıcaklıkta (1200 - 1400°C) ergitilerek elyaf haline getirilmesi sonucu elde edilir.		EPS: Hammaddenin, su buharı ile teması sonucu, hammadde granüllerinin içinde bulunan pentan gazının granülleri şişirmesi ve birbirlerine yapışması sonucu elde edilir. XPS: Hammaddeden ekstrüzyon yolu ile üretilmektedir.	
	Ürün Biçimi	Örtü	Levha, rulo ve şilte	Panel, levha, rulo, şilte ve dökme	Levha ve kalıp	Levha
	Standart Boyutlar	Kalınlık:3,5/6/8 mm Genişlik:56 cm Uzunluk:120 m	Kullanım yeri ve amacına göre farklı boyutlarda üretilebilir.			
	Uygulama Sıcaklığı	-200/+160	-50/+250	-50/+650	-50/+75	
	Uygulama ve bakım Gereklilikleri	Kuru ve havalandırılan alanlarda depolanmalıdır, kullanım sırasında oluşabilecek toza karşı önlem alınmalıdır. Bakım gerektirmez.	Sıcak ve rutubetli ortamda dahi, boyutlarında bir değişme olmaz. Bozulmaz, çürümez, küf tutmaz, korozyon ve pas yapmaz. Zararlı mikroorganizmalar tarafından tahrip edilemez. Bakım gerektirmez.		Baca gazları, metan grubu gazları, benzin grubu, eter, ester ve amin grubu kimyasallara karşı hassastır. Güneşin mor ötesi ışınlarına (UV) karşı hassastır. Doğrudan güneş ışınlarından korunmalıdır.	
	Çevre ve atmosfer etkisi	İnsan sağlığına zararlı değildir. Olumsuz çevresel etkileri yoktur. Isı yalıtımında kullanılması atmosfer üzerinde olumlu etkiye sahiptir.	Petrokimyasal çıkarımı en büyük etkidir. Enerji kullanımı oldukça yüksektir.			

Tablo 2.8. Vakumlu ısı yalıtım paneli ile geleneksel ısı yalıtım malzemelerinin karşılaştırılması

GENEL BİLGİLER		ISI YALITIM MALZEMELERİ				
Karşılaştırma tablosu		NANO MALZEME	GELENEKSEL MALZEMELER			
		Vakumlu ısı yalıtım paneli	Cam Yünü	Taş Yünü	Genleştirilmiş Polistiren (EPS)	Ekstrüde Polistiren (XPS)
Malzeme Özellikleri	Isı iletkenlik (W/mk)	≤ 0,005	≤ 0,040	≤ 0,040	0,030 - 0,040	≤ 0,035
	Yoğunluk (kg/m ³)	180-210	40-120	30-200	10-300	20-52
	Basınç dayanımı (N/m ²)	150	0,5–500		30–500	100–1000
	Su Buharı difüzyon direnci		1	1	20-100	90-100
	Işık Geçirgenliği	-	-	-	-	-
	Hammadde	Silika aerojel	Silis kumu	Bazalt taşı	Polistiren	Polistiren
Üretim ve Uygulama	Üretim Şekli	İç dolgu malzemesinin, gaz giderici/nem kurutucu kullanılarak ya da tek başına dış zarf içine yerleştirilmesi ve vakumlanarak atmosfere kapatılması biçiminde üretilir.	İnorganik hammaddenin yüksek sıcaklıkta (1200 - 1400°C) ergitilerek elyaf haline getirilmesi sonucu elde edilir.		EPS: Hammaddenin, su buharı ile teması sonucu, hammadde granüllerinin içinde bulunan pentan gazının granülleri şişmesi ve birbirlerine yapışması sonucu elde edilir. XPS: Hammaddeden ekstrüzyon yolu ile üretilmektedir.	
	Ürün Biçimi	Panel	Levha, rulo ve şilte	Panel, levha, rulo, şilte ve dökme	Levha ve kalıp	Levha
	Standart Boyutlar	Kalınlık:10-50 mm Genişlik:60 cm Uzunluk:100/50 cm	Kullanım yeri ve amacına göre farklı boyutlarda üretilir.			
	Uygulama Sıcaklığı	-70/+70	-50/+250	-50/+650	-50/+75	
	Uygulama ve bakım Gereklikleri	Hassas dış zarf yapısı nedeniyle nakliye sürecinde ve uygulama sahasında dikkat ve önlem gerektirmektedir.	Sıcak ve rutubetli ortamda dahi, boyutlarında bir değişme olmaz. Bozulmaz, çürümez, küf tutmaz, korozyon ve pas yapmaz. Zararlı mikroorganizmalar tarafından tahrip edilemez. Bakım gerektirmez.		Baca gazları, metan grubu gazları, benzin grubu, eter, ester ve amin grubu kimyasallara karşı hassastır. Güneşin mor ötesi ışınlarına (UV) karşı hassastır. Doğrudan güneş ışınlarından korunmalıdır.	
	Çevre ve atmosfer etkisi	İnsan sağlığına zararlı değildir. Olumsuz çevresel etkileri yoktur. Isı yalıtımında kullanılması atmosfer üzerinde olumlu etkiye sahiptir.			Petrokimyasal çıkarımı en büyük etkidir. Enerji kullanımı oldukça yüksektir.	

2.1.1.5. Nanoteknoloji ve Fotovoltaik Paneller

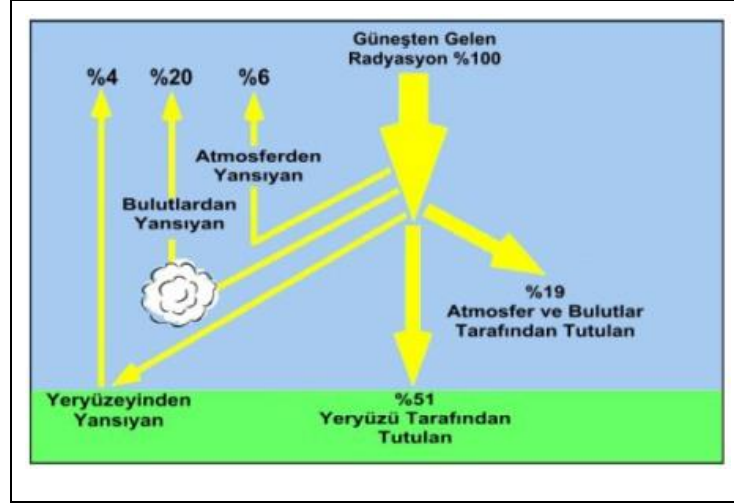
Günümüzde, her alanda ihtiyaç duyulan enerjinin önemi giderek artmaktadır. Enerji, uygarlığımızın temel girdisi olup, üretim ve tüketimi, kalkınma ve gelişmişlik düzeylerini ölçmede kullanılan en geçerli göstergelerdendir. 1970’li yıllarda yaşanan petrol krizi, fosil kaynakların sınırlı ve yerine yenisi konulamayacak bir enerji kaynağı olması, üretim ve tüketim yöntemlerinden kaynaklanan çevre ile ilgili olumsuz gelişmeler yenilenebilir, sınırsız ve çevreye uyumlu kaynak ve teknolojilerin araştırılması ve geliştirilmesini gerekli hale getirmiştir[171, 172].

Günümüzde, özellikle son 20 yılda yapıların enerji ihtiyacına yönelik, yenilenebilir kaynaklardan olan güneş enerjisi kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu amaçla yapı kabuğu, dış ortamdan insanları sınırlama ve yaşamsal mekân sağlama gibi işlevlerin yanında bir enerji kazanım yüzeyi olarak da düşünülmekte ve tasarlanmaktadır[172].

Güneş; bol, sınırsız, yenilenebilir ve en önemlisi de herhangi bir bedel ödenmeden kolayca erişilebilen bir enerji kaynağıdır. Ayrıca diğer fosil kaynaklı yakıtların kullanılması ile ortaya çıkan çevresel sorunların güneş ışığından enerji üretiminde bulunmaması nedeniyle temiz ve çevre dostu bir enerjidir[173, 174].

Güneş enerjisi, güneşteki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi şeklindeki füzyon sürecinden açığa çıkan ışıma enerjisidir. Güneşten çeşitli dalga boylarında enerji yayılmaktadır. Güneşin bütün yüzeyinden yayılan ve milyon km kat ederek gelen enerji, dünya’ da bir yılda kullanılan enerjinin yaklaşık 15 bin katıdır.

Güneş ışınımının tamamı yer yüzeyine ulaşmaz, % 30 kadarı dünya atmosferi, bulutlar ve yer kabuğu tarafından geriye yansıtılır, % 51’ i atmosferi geçerek dünya yüzeyine ulaşır. Güneşten gelen ışınımının % 19’ u ise, atmosfer ve bulutlarda tutulur. Bu enerji ile Dünya’nın sıcaklığı yükselir ve yeryüzünde yaşam mümkün olur (Şekil 2.68) [171].



Şekil 2.68. Dünya üzerine düşen güneş ışınlarının dağılımı[175].

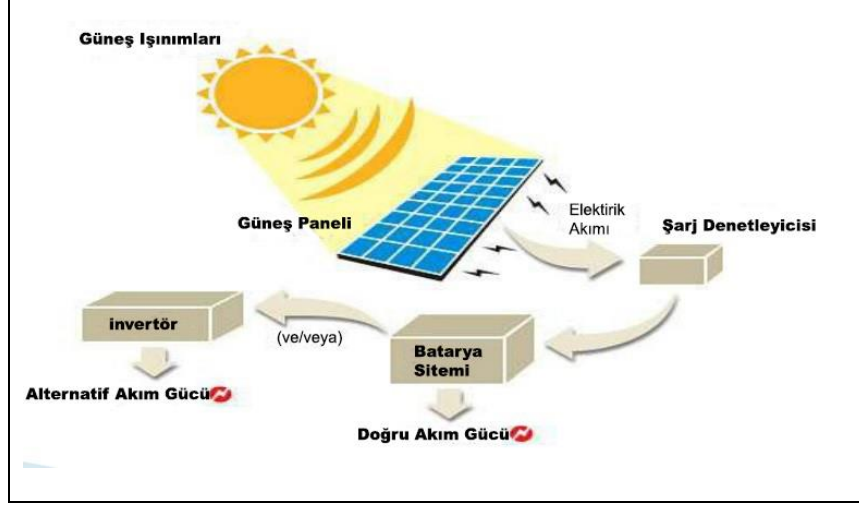
Güneş ışınımları yapı kabuğunda alınan mimari önlemler ya da mekanik bileşenler aracılığıyla istenilen enerjiye dönüştürülebilmektedir. Güneş enerjisi teknolojileri, malzeme, yöntem ve teknolojik düzey açısından çeşitlilik göstermekle birlikte ısıtma amaçlı (ısı) güneş teknolojileri ve elektrik üreteçleri (güneş pilleri) olarak iki ana gruba ayrılabilir. Isıl güneş teknolojilerinde öncelikle ısı elde edilip, daha sonra bu ısı başka enerji türlerine çevrilebilirken, güneş pillerinde doğrudan elektrik enerjisi elde edilmektedir[173, 174, 177].

Güneş pilleri, fotovoltaik teknoloji ile güneş enerjisinden doğrudan elektrik elde edilmesi için tasarlanan düzenekler olarak tanımlanmaktadır. Fotovoltaik ise fotonlar tarafından aydınlatılan özel yarı iletken düzeneklerden doğrudan elektrik enerjisi üretebilen teknolojiye verilen addır[176].

Güneş pilleri, seçilen yarı iletken malzemelerin özel koşulları sağlayacak şekilde bir araya getirilmesi ile oluşturulmaktadır. Yarı iletken madde, elektriksel olarak iletken sayılmayan ancak bazı dış etkiler ile iletken duruma geçebilecek maddedir, yani yalıtkan olarak da kabul edilemezler. Normal koşullarda yalıtkan olan bu maddeler, manyetik etki, ısı, elektriksel gerilim ya da ışık gibi dış etmenler altında bir miktar elektronlarını serbest bırakacak şekilde iletken duruma geçmektedirler[176].

Fotovoltaik sistem kurulurken bazen yalnızca fotovoltaik paneller yeterli olmamakta ve ihtiyaç durumuna göre sisteme yardımcı elemanlar eklenebilmektedir. Sistemin güneş ışığının olmadığı zamanlarda da kullanılabilmesi için akülere, akülerin ve sistemin aşırı

elektrik yüklenmemesi için regülatörlere, genellikle şebekeden kullanılan alternatif akımı sağlayabilmek için ise invertörlere ihtiyaç duyulmaktadır (Şekil 2.69) [177].



Şekil 2.69. Fotovoltaik sistem bileşenleri[178].

Fotovoltaik paneller güneş pillerinin bir araya getirilmesi ile oluşturulur. Fotovoltaik panellerin doğası gereği dış etmenlere açık alanlarda çalıştırılacağı düşünüldüğünde ve güneş pillerinin yapıları da göz önüne alındığında, güneş pilleri bir araya getirilerek fotovoltaik paneller oluşturulurken koşullarının pillere ve bağlantılarına etkisini en aza indirecek bir yapıda olması gerekmektedir. Fotovoltaik paneller oluşturulurken pilleri korumakta kullanılacak saydam ön kaplamanın güneş ışınlarını en düşük seviyede yansıtanlar arasından seçilmesi de önemlidir[176].

Fotovoltaik Yunanca, ışık anlamına gelen “photo” ve elektrik akımını geliştiren makinayı tasarlayan Alessandra Volt’tan esinlenerek voltaj anlamına gelen “voltaic” kelimelerinin birleşmesinden oluşmaktadır. Fotovoltaik paneller ilk kez 1839 yılında “Becquerel “ tarafından araştırılmıştır. Becquerel, elektrolit içerisine daldırılmış elektrotlar arasındaki gerilimin, elektrolit üzerine düşen ışığa bağımlı olduğunu gözlemleyerek fotovoltaik olayını bulmuştur. Katılarda benzer bir olay, 1876 yılında G.W. Adams ve R.E. Day tarafından selenyum kristalleri üzerinde gösterilmiştir. 1914 yılına gelindiğinde fotovoltaik diyotların verimliliği %1 değerine ulaşmış olsa da gerçek anlamda güneş enerjisini %6 verimlilikle elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik diyotlar ilk kez 1954 yılında “Chapin” tarafından silikon kristali üzerinde gerçekleştirilmiştir[172, 183].



Şekil 2.72. Silikon esaslı fotovoltaik hücre, modül, panel ve dizi[179, 180, 181, 182].

Fotovoltaik güç sistemleri ilk olarak uzay teknolojisi uydu araçlarında elektrik üretici olarak kullanılmaya başlanmıştır. Teknolojik gelişmelere bağlı olarak sistem, saat ve hesap makinalarında, sokak aydınlatmasında, 1981 yılından bu yana da yapılarda kullanılmaktadır. Önceleri, özellikle elektrik şebekesinin olmadığı yerlerde kullanılmaya başlansa da çevre bilincinin artmasıyla yapılarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Fotovoltaik paneller, yapılarda ilk kez, çatılarda uygulanmıştır. Özel fotovoltaik çatı panelleri mevcut çatılara ek bir sistem olarak ilave edilmiş, daha sonraları ise doğrudan çatı kaplama malzemesi olarak üretilmiştir. Yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları ile söz konusu panellerin yapılarda kullanım alanları hızla genişlemiştir[184].

Fotovoltaik paneller mimaride yapı malzemesi olarak yapının bir çok farklı bölümüne entegre edilebilmektedir. Fotovoltaik panellerin yapıya entegrasyonuna tasarım aşamasında karar verilebileceği gibi mevcut bir yapıya sonradan entegre de edilebilmektedir. Fotovoltaik paneller çerçeve sistem olarak ya da yapıştırma olarak uygulanabilir. Çerçeve sistemlerde fotovoltaik paneller alüminyum bir çerçevenin içine yerleştirilir, bu sistem klipslerle çerçeve içine yerleştirilir ya da silikonla levhalara ya da çerçeveye yapıştırılır ve bu şekilde yapı yüzeyine monte edilir. Panellerin geçirgen olması isteniyorsa fotovoltaik hücreler iki cam arasına lamine edilerek de kullanılabilirler. Bu

sistemler yapı kabuğundaki mevcut bir malzemeye silikon ile yapıştırma olarak da uygulanabilirler. Bu tür uygulamalarda ince film malzemeler uygundur[177, 184].

Tasarım aşamasında yapılan uygulamalar mimara daha çok özgürlük vermekte ve fotovoltaik panellerin tasarımın bir parçası olarak kullanılmalarına olanak sağlanmaktadır. Panelleri, yapı kabuğuna ikinci bir yapı malzemesi olarak entegre etmek yerine, paneller kabuğun kendisi olarak da işlevini yerine getirebilmektedir.

Fotovoltaik paneller mimaride kullanılırken de fotovoltaik sistemin genel prensiplerine uyulması gerekmektedir. Yapılarda fotovoltaik paneller çatıda, cephede veya yapıdan bağımsız olarak kullanılabilir[177].

Fotovoltaik paneller yapıların çatılarında, çatı örtüsü olarak kullanılmakta veya çatı üzerine ek bir strüktür ile uygulanabilmektedir (Şekil 2.71). Uygulama yapılacak çatıya göre ve kullanılacak fotovoltaik hücre türüne göre uygulama biçimi değişiklik göstermektedir[177].



Şekil 2.71. Fotovoltaik panellerin çatıda kullanımına yönelik örnekler[185, 186].

Fotovoltaik paneller yapı cephelerinde; cephe kaplaması, giydirme cephe ve güneş kırıcı olarak kullanılabilirler (Şekil 2.72). Cepheye entegre edilen fotovoltaik sistemler yapı kabuğuna çerçeve sistem ile monte edilerek ya da cephedeki mevcut malzeme üzerine yapıştırma ile uygulanabilirler. Bu şekilde cephe yüzeyine gelen güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren sistemler, genellikle mevcut yapıya entegre edilirken kullanılır. Diğer bir sistem ise yapı strüktürü üzerine yapı düşey kabuğu olarak entegre edilen ve giydirmeye cephe görevi gören sistemlerdir[177].



Şekil 2.72. Fotovoltaik panellerin cephede kullanımına yönelik örnekler[187, 188].

Fotovoltaik paneller yapıdan bağımsız olarak tasarlanan ayrı bir mimari öge de olabilirler. Bir yapı girişinde üst örtü olarak tasarlanabilecekleri gibi bölücü bir duvar, yönlendirici bir eleman olarak kullanılabilirler (Şekil 2.73). Bunların dışında tamamen yapıdan bağımsız, sadece elektrik enerjisi üretmek için ayrı bir strükture monte edilip kullanılabilirler[177].

Fotovoltaik paneller kullanılarak güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretmenin avantajları;

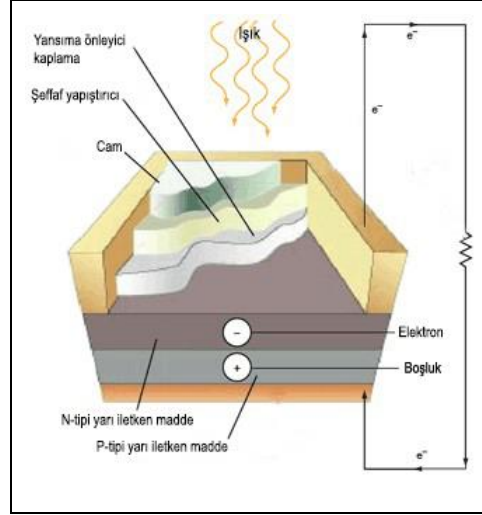
- Herhangi bir fosil yakıt tüketmeden bağımsız olarak enerji üretmesi ve karbon salınımına neden olmaması,
 - Güneş enerjisi kullanımı için herhangi bir ücret ödenmiyor olması,
 - Kurulumundan sonra uzun yıllar sorunsuz olarak çalışabilmeleri,
 - Sistemin hareketli parçaları az olduğundan az bakım gerektirmesi,
 - Enerji kaynağı ile kullanım yeri arasında uzun kablolar ve bağlantı elemanları olmadığı için arada kaybolan güç kaybından tasarruf sağlaması,
 - Modüler sistemler oldukları için artan enerji ihtiyacına bağlı olarak sistemin rahatlıkla arttırılabilir olması,
- şeklinde sıralanabilmektedir[189].



Şekil 2.73. Fotovoltaik panellerin yapıdan bağımsız kullanımına yönelik örnekler [190, 191].

Nanoteknoloji alanında ortaya çıkan gelişmeler, birçok konuda olduğu gibi yapılarda güneş enerjisi kullanımına yönelik uygulamalara da önemli yenilikler getirmektedir. Nanoteknoloji, fotovoltaik teknoloji ile güneş enerjisinden doğrudan elektrik elde edilmesi için tasarlanan özel düzenekler olan güneş pilleri üzerinde, geleneksel silikon esaslı güneş pillerinin özelliklerinin geliştirilmesi ve yeni nesil organik ince film güneş pillerinin üretilmesi olmak üzere iki temel şekilde etkisini göstermektedir[3, 192].

1954 yılından beri kullanımda olan geleneksel güneş pillerinin büyük çoğunluğu (yaklaşık %90' ı) silikon malzeme kullanılarak üretilmektedir. Nanoteknoloji, geleneksel silikon esaslı güneş pillerinde yer alan malzemelerin nanoboyutlarda (atomlar düzeyinde) kullanılmasını; nanoboyutlarda gerçekleştirilen uygulamalar ile güneş pillerinin verimini arttıracak özelliklerin (yansıtma karşıtı nanokaplama uygulanmış cam malzeme, nanoyapılı saydam yapıştırıcı gibi) kullanılan malzemelere kazandırılmasını sağlayarak daha uzun ömürlü, daha verimli ve daha çevreci güneş pilleri geliştirilebilmesini sağlamaktadır. Bu tür uygulamalara örnek olarak, silikon nanoparçacıklar kullanılarak üretilen silikon mürekkebi ile ince film şeklinde güneş pillerinin istenilen yüzeye baskılanarak oluşturulması verilebilir[3, 193].



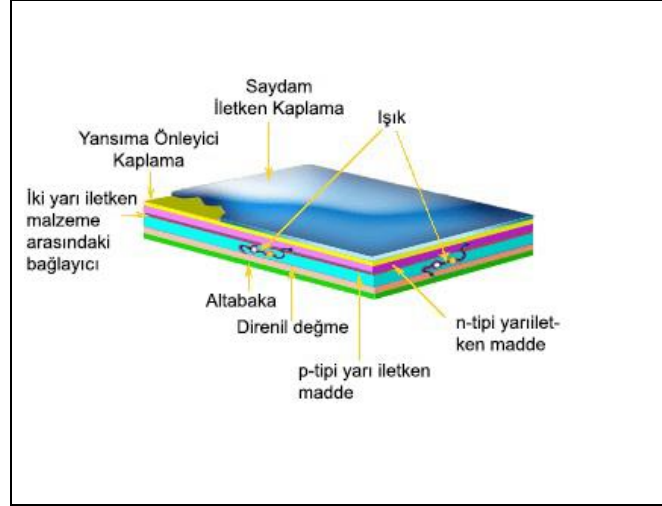
Şekil 2.74. 7 katmandan oluşturulan, standart bir silikon esaslı güneş pilinin şematik gösterimi [192].

Geleneksel güneş pillerinin üretim maliyetlerinin büyük çoğunluğunu üretimlerinde kullanılan silikon malzemesi oluşturmaktadır. Silikon, birçok disiplinde farklı amaçlarla olmak üzere geniş bir kullanım alanına sahip olması nedeniyle her geçen gün fiyatını arttırmakta ve elde edilmesi zorlaşmaktadır. Bu durum güneş pilleri üretiminde silikona alternatif malzeme kullanımına yönelik çalışmalara neden olmaktadır.

Nanoteknoloji yalnızca silikon esaslı güneş pillerinin özelliklerini geliştirmek, verimlerini arttırmak amacıyla kullanılmamaktadır, aynı zamanda silikona alternatif organik yarı iletken malzemeler kullanılarak çok daha ucuz ve esnek yapıda olan organik ince film güneş pillerinin üretilmesine imkân tanımaktadır.

Nanoteknoloji ile üretim imkânı bulan ince film güneş pilleri, esnek yapıları sayesinde silikon esaslı geleneksel cam panelli güneş enerji sistemlerine oranla yapılarda çok daha geniş kullanım alanı bulmaktadır. Hafif, esnek, kırılmaz ve çatlamaz yapıları nedeniyle estetik açıdan geleneksel güneş pillerinin yol açtığı olumsuzlukları ortadan kaldırabilmektedirler. Bu özellikteki ince film güneş pilleri yapılarda pencerelerde, çatıda ve cephelerde kullanılabilir. Bu uygulamaların ötesinde yapı kabuğu tümüyle bir güneş üretim sistemine dönüştürülebilmektedir[3].

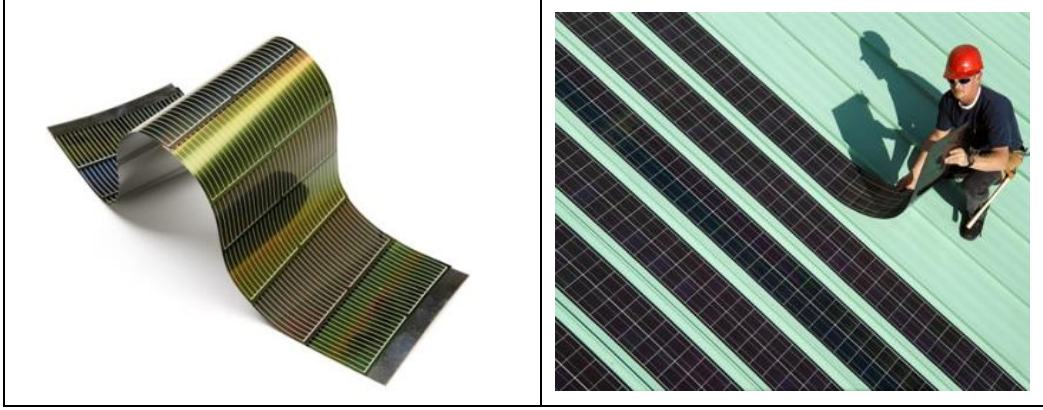
Şekil 2. 75' de şematik gösterilen ince film güneş pilleri, silikon esaslı geleneksel güneş pillerinden enerji üretim yöntemi olarak çok farklı olmamakla birlikte kullanılan yarı iletken malzeme, pil kalınlığı ve esnek yapı özellikleri ile farklılık göstermektedir[192].



Şekil 2.75. 6 katmandan oluşturulan, organik malzeme esaslı ince film güneş pilinin şematik gösterimi[192].

Nanoteknoloji kullanılarak ince film güneş pilleri üretim çalışmaları yapılması ve bu çalışmaların ürüne dönüştürülmesi ile belli başlı olumlu ve olumsuz özellikler ortaya çıkmaktadır.

İnce film şeklinde üretilen güneş pillerinin sahip oldukları fiziksel özellikleri ile tasarımcılara esnek yapı formları oluşturma imkânı vermesi, boyutsal olarak tasarımı sınırlayıcı bir özellik taşımamaları ve hafiflikleri ile yapı yükünü azaltmaları, nanoteknoloji ile kendini yenileyebilecek ve temizleyebilecek yapı özellikleri kazandırılarak bakım ve işletim maliyetlerinin azaltılması ve nanoboyutlu yarı iletken malzeme kullanılarak güneş pillerinin veriminin artırılması potansiyeline sahip olmaları olumlu özellikleri olarak sıralanabilir. Bu olumlu özelliklerinin yanında nano ölçekte üretim ve gözlem yapmak konusunda ortaya çıkan zorluklar, özel üretim, denetim ve onarım yöntemlerine duyulan gereksinim, ilk uygulama maliyetinin yüksek olması, bilgi eksikliği ve yeterli elemanın bulunmaması olumsuz özellikleri sayılabilmektedir[194].



Şekil 2.76. İnce film güneş pili ve uygulama biçimi[192].

Günümüzde silikon esaslı güneş pillerinin özelliklerinin geliştirilmesi ve organik ince film güneş pillerinin üretilmesi çalışmalarının gerçekleştirildiği nanoteknoloji ile yakın gelecekte nanoboyutlu gümüş ve/veya titanyumdioksit parçacıklar kullanılarak saydam güneş pillerinin oluşturulması ve bu pillerin pencere sistemlerinde kullanılan cam benzeri malzemelere dahil edilebilmesi, karbon nanotüpler ile daha verimli ve dayanıklı güneş pillerinin üretilmesi, güneş pillerinin ihtiyaç duyduğu güneş ışınlarının dik gelmesi gerekliliğinin ortadan kaldırılması ve kullanım alanlarının genişletilmesi, boya ve benzeri maddelere güneş enerjisi üretebilecek nitelik kazandırılması, yapıların bütünüyle güneşten enerji üretebilecek özellikte malzemeler ile donatılması gibi yeniliklerin yaşanması beklenmektedir. Bu yenilikler ile güneş enerji sistemlerinin maliyetleri azaltılırken enerji üretim verimleri arttırılabilecektir[22, 195, 196, 197].

2.1.1.6. Diğer Nanomalzeme Uygulamaları

2.1.1.6.1. Nanoyapıştırıcılar

Aynı veya farklı özelliklere sahip malzemelerin en az iki tanesini birbirine adhezyon kuvvetleri (yapıştırılan malzeme molekülleri ile yapıştırıcı molekülleri arasındaki çekim kuvveti) aracılığı ile güçlü bir şekilde bağlayacak ve bu bağlantıyı aynı dayanım değerini kaybetmeden uzun süre koruyacak yapıya sahip olan bağlantı elemanına yapıştırıcı denmektedir[198].

Malzemelerin yapıştırıcı kullanılarak birleştirilmesi, mekanik bağlantı elemanları (vida, kaynak, perçin, lehim vb.) kullanılmasına oranla önemli avantajlar sağlamaktadır.

Yapıştırıcı, yük ve gerilimi tüm birleşim yüzeyine yayarak statik ve dinamik yüklerin düzgün dağılmasını sağlamakta, gerilimin belli noktalarda yoğunlaşmasını engellemektedir. Dolayısıyla yapıştırıcı ile gerçekleştirilmiş bir bağlantı, bükülme ve titreşime, mekanik yöntemle yapılan bir bağlantıya oranla daha fazla dayanıklıdır. Yapıştırıcı aynı zamanda birleşim yerinin sızdırmazlığını da sağlamakta, böylece mekanik yöntemler ile birleştirilmiş parçalarda görülebilen korozyonu engellemektedir. Yapıştırıcı, düzgün olmayan yüzeylerin birleştirilmesini de kolaylaştırır çünkü parça boyutlarında veya şeklinde çok az değişiklik ile daha hafif birleşimler elde edilebilmektedir. Yapıştırıcı uygulamalarında, birbirine yapıştırılacak yüzeylerin temiz olması gibi yapışma işleminden beklenen sonuçlar açısından dikkat edilmesi gereken önemli noktalar vardır[198].

Yapıştırıcı olarak kullanılan ilk malzemenin tarihi M.Ö. 4000 yıllarına kadar uzanmaktadır. Arkeologların yaptığı çalışmalar, ilkel kabilelerin kırılan çömlekleri, ağaç öz suyundan yaptıkları yapıştırıcı reçine ile birleştirdiklerini ortaya çıkarmıştır. Ayrıca yapılan diğer arkeolojik araştırmalar, M.Ö 1500–1000 yıllarında, ahşap yapıştırma işlemlerinde yapıştırıcıların kullanıldığını ortaya koymuştur. 1700' lü yıllarda yapıştırıcıların yaygın olarak kullanılmasıyla, yapıştırıcıların tarihinde hızlı değişiklikler meydana gelmiştir. 20. yüzyıl başlarında sentetik reçinelerin geliştirilmesi, endüstride yapıştırıcı kullanımında hızlı bir artışa neden olmuştur. Sentetik reçinelerden elde edilen yapıştırıcıların; deformasyonlara ve neme karşı gösterdikleri dirençler, yapıştırıcı kullanımını önemli oranda artırmıştır.

Yapıştırıcılar ve yapıştırıcı malzemeler birçok disiplinde olduğu gibi yapı ve yapı malzemesi sektörü için de oldukça önemlidir. Geleneksel yapıştırıcılar, formaldehit (metanal) gibi çevreye zararlı bileşenler içermekte ve gelişen teknolojiye istenilen düzeyde cevap verememektedir. Nanoteknoloji ile geleneksel yapıştırıcı malzemelerin fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri geliştirilebilmekte ya da üstün özellikli, yeni nesil nano yapıştırıcılar üretilmektedir[3, 18, 198].

Nanoteknoloji kullanılarak geleneksel yapıştırıcıların özelliklerinde gelişme sağlanmasına yönelik uygulamalara, nanoboyutlu silikat kullanılarak geleneksel yapıştırıcıların akma özelliğinde (viskozite) artış sağlanması, benzer şekilde yapıştırıcı karışımına doğrudan demir oksit nanoparçacıklar katılarak yapıştırıcı malzemelerin sertleşme süresinin kısaltılması ve karbon nanotüp ya da nanolif kullanılarak daha yüksek ısı iletkenliğine sahip nano yapıştırıcılar üretilmesi verilebilmektedir. Bu tür uygulamalar ile geleneksel yapıştırıcılar daha ince kalınlıkta daha yüksek dayanıma sahip duruma

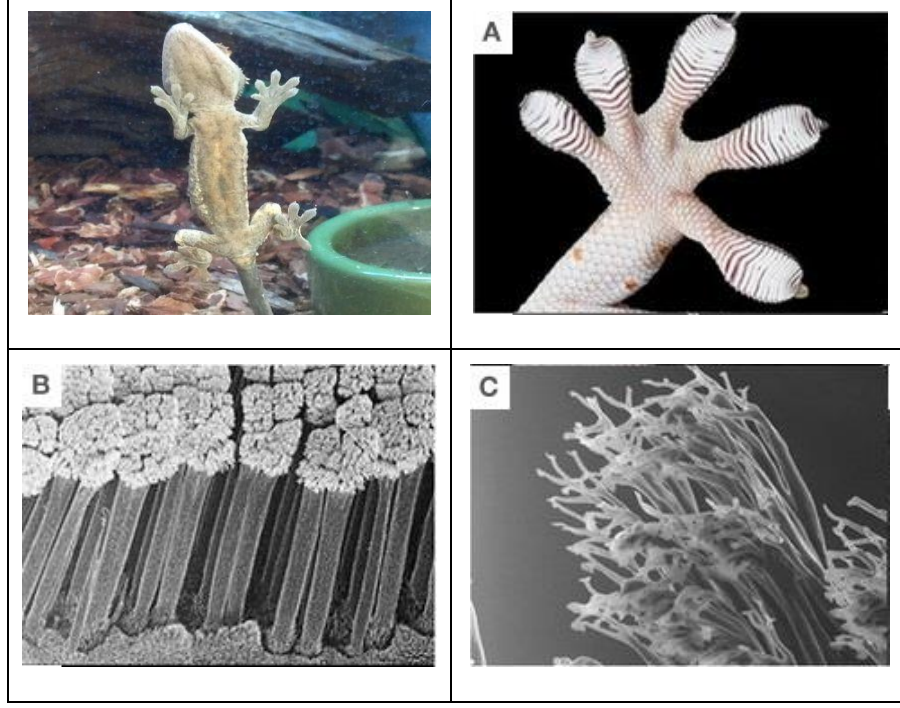
getirilebilmektedir. Ayrıca nanoteknoloji ile yapıştırıcı malzemelere bakteri karşıtı etki gibi yüzey özellikleri de kazandırılabilir[18].

Nanoteknoloji ile geleneksel yapıştırıcı malzemelerin özelliklerini geliştirmenin yanında yeni nesil nano-yapıştırıcılar ve yapıştırıcı malzemeler de üretilmektedir. Nanoteknoloji ile malzeme üretimi yaygın olarak doğadan ilham alınarak gerçekleştirilmektedir ve bu üretim sürecini anlayabilmek için öncelikle, “canlı cansız varlıkların taklit edilerek yeni tasarımlara esin kaynağı olması” şeklinde açıklanan “Biyomimesis (biyos-hayat, mimesis-taklit etmek)” kavramını bilmek gerekmektedir. İlk kez Montanalı bir yazar ve bilim gözlemcisi olan “Janine M. Benyus” tarafından ortaya atılmış olan bu kavram, 20. yüzyılın sonunda literatüre girmiştir. Bu kavramın gelişmesi ile doğadan esinlenme, öğrenme, uyarılma ve/veya uygulama biçimlerinin neler olabileceği ve farklı disiplinlerde nasıl kullanılabilirliği sistematik olarak tartışılmaya başlanmıştır. Birçok farklı disiplinde kendine yer bulan “Biyomimesis” kavramı genel anlamıyla "doğadan öğrenerek" daha ileri teknolojik ürünler geliştirilmesine yönelik araştırma ve çalışmalar, şeklinde özetlenmektedir[18, 199].

Biyomimesis yaklaşımı doğanın işlev ve sistemlerinin işleyişini örnek almakta, doğada var olan organizmaların nasıl var olduğundan çok formun kattığı işlevin ne işe yaradığı ile ilgilenmektedir. Biyomimesis kapsamında yeni teknolojik gelişmeler, buluşlar için doğanın zekası kullanılmaktadır[18, 199].

Nanoteknoloji alanında çalışan bilim insanlarının doğayı taklit etmeleri konusunda en bilinen örneklerden biri, lotus çiçeğinin yapraklarının su tutmama ve kendini temizleyebilme özelliklerinden yararlanılarak, kendi kendini temizleyebilen nitelikte nanokaplamaların üretilmesidir. Yapıştırıcılar konusunda da bilim insanları, tropik bölgelerde yaşayan bir kertenkele türü olan “geko” lardan yararlanmaktadır (Şekil 2.77). Yapılan araştırmalar sonucunda gekoların duvarda hatta tavanda asılı kalmasını ve tırmanmasını sağlayan, üzerinde her biri 200 nm boyutlarında olan milyonlarca kıl ve bu kıllardan ayrılan yüzlerce nano boyutlu kıl bulunan özel ayak yapıları olduğu tespit edilmiştir (Şekil 2.77). Bu yapıdan yola çıkan araştırmacılar sentetik geko nanotüp bandı üretmeyi başarmışlardır. Üretilen bu bant geleneksel muadilleri gibi tek kullanımlık değildir ve zararlı bileşenler içermemektedir. Bu şekilde üretilen geko bantının diğer bir özelliği de kontrol edilebilir yapışkanlık kabiliyetidir. “Geko bantı”, geleneksel yapışkan bantlar gibi üzerine bastırıldığında değil, belli bir yönde kaydırıldığında yapışmakta ve

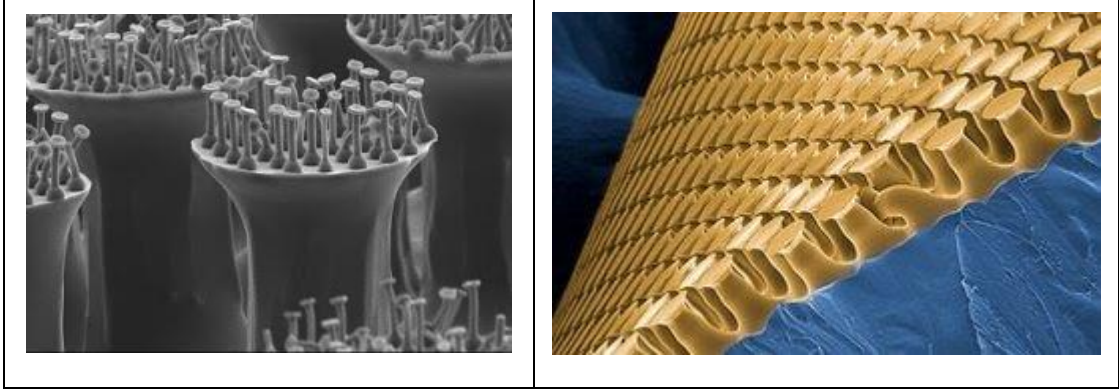
tersi yönde kaydırıldığında da yüzeyden kolaylıkla ayrılmaktadır. Bu özelliği geko bantını oldukça kullanışlı duruma getirmektedir[3, 18, 200].



Şekil 2.77. Cam yüzeyine tırmanan geko, gekoların ayak yapısı, gekoların ayaklarında bulunan, nanoboyutlu kıl yapıları[201, 202].

Gekoların ayak yapılarından ilham alınarak gerçekleştirilen diğer bir uygulaması ise herhangi bir yapıştırıcı kullanımına ihtiyaç duymaksızın, malzemelerin istenilen yüzeye kendiliğinden yapışmasını sağlayan bir teknoloji geliştirilmesidir. Geliştirilen bu malzemeler yüzeylerindeki özel olarak şekillendirilmiş nano boyutta kıllar sayesinde düz bir zemin üzerine herhangi bir yapıştırıcı malzeme kullanmadan tutunabilmektedir (Şekil 2.78).

Bilim insanları, gekolardan ilham alınarak gerçekleştirilen yapıştırıcı ve yapıştırıcı malzeme üretim çalışmalarının benzerlerini denizlerde, ıslak kaya ve benzeri yüzeylere etkili bir şekilde tutunma kabiliyetine sahip midyeler üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Çalışmaların sonucunda her türlü ıslak yüzeyde kullanılacak, üstün özellikli yapıştırıcıların üretilmesi amaçlanmaktadır. Henüz daha yolun başında olunmasına rağmen bu tür çalışmalar, nanoteknolojinin çevreye zararsız, üstün özellikli yapıştırıcılar üretme konusunda sahip olduğu geniş kullanım potansiyelini yansıtmaktadır[1].



Şekil 2. 78. Gekolardan ilham alınarak oluşturulan, nanoboyutlu yüzey yapısı [203, 204].

Nanoteknoloji ve nanomalzemeler kullanılarak özellikleri geliştirilen ya da üretilen yeni malzemelerin yapı sektörü, elektronik, robot bilimi, havacılık ve uzay gibi pek çok kullanım alanı mevcuttur. Söz konusu yapıştırıcı veya malzemelerin yapı sektöründe kullanılması etkili ve doğaya dost çözümler sunabilecek etki ve niteliğe sahiptir[3, 18, 198].

2.1.1.6.2. Nanoplastikler

Plastiğin kelime olarak sözlüklerde tek ve ortak bir anlamı yoktur. İlk zamanlarda bir malzeme olmaktan çok bir yöntem olarak algılanmış ve bu da farklı tanımlamalara yol açmıştır[84]. Plastik genel bir ifadeyle endüstriyel ürünlerin imalatına uygun, geniş yelpazedeki sentetik ya da yarı sentetik, organik, şekil değiştirebilen katı malzemelere verilen isim olarak ifade edilebilmektedir[205].

Plastikler, karbonun (C) hidrojen (H), oksijen (O), azot (N) ve diğer organik ya da inorganik elementler ile oluşturduğu, monomer adı verilen basit yapıdaki moleküllü gruplardaki bağın koparılarak, polimer adı verilen uzun ve zincirli bir yapıya dönüştürülmesi ile elde edilmektedir. Plastiklerin, moleküler ağırlıkları genelde yüksek olup diğer elementlerin de eklenmesi ile performansları artırılabilir ya da maliyetleri düşürülebilir.

Plastik sözcüğü Yunanca'da şekillendirilmeye uygun anlamındaki "plastikos" ve şekillendirilmiş anlamındaki "plastos" sözcüklerinden türetilmiştir. Bu isim onların imalat esnasındaki üstün dövülebilme ya da eğilip bükülme özellikleri ile filmler, tabakalar,

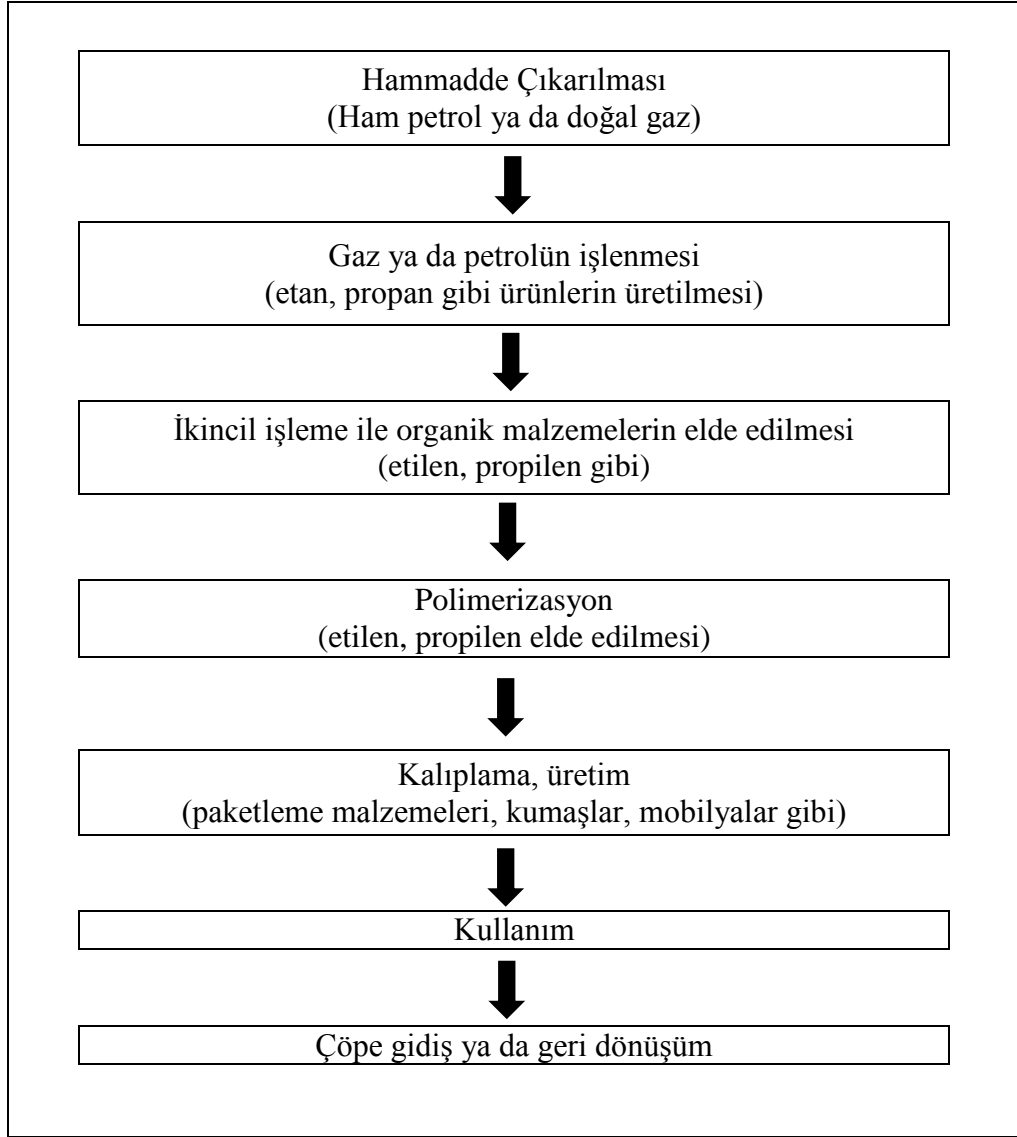
borular, kutular benzeri çeşitli son ürünler ortaya çıkarabilme yetenekleri nedeniyle verilmiştir[205, 206].

Plastiklerin imalatı, doğadaki elementlere belli bir sıcaklık ve basınç altında, katalizör kullanılarak müdahale edilmesi ve monomerlerin reaksiyona sokulması ile olur. Genelde plastikler petrol rafinerilerinde kullanılan ham petrolün işlenmesi sonucu arta kalan malzemelerden elde edilmektedir. Plastik ilk üretildiğinde toz, reçine veya granül halde olabilir. Daha sonra farklı işlemler kullanılarak son ürün halini almaktadır.

Plastiklere çok çeşitli yöntemler ile biçim verilebilir. Kolayca işlenebilen, ucuz, hafif ve dayanıklı malzemeler olan plastikler, pek çok uygulamada metallerin yerini almıştır. Günümüzde sanayide ve yapılarda çok çeşitli plastik ürünler kullanılmaktadır.

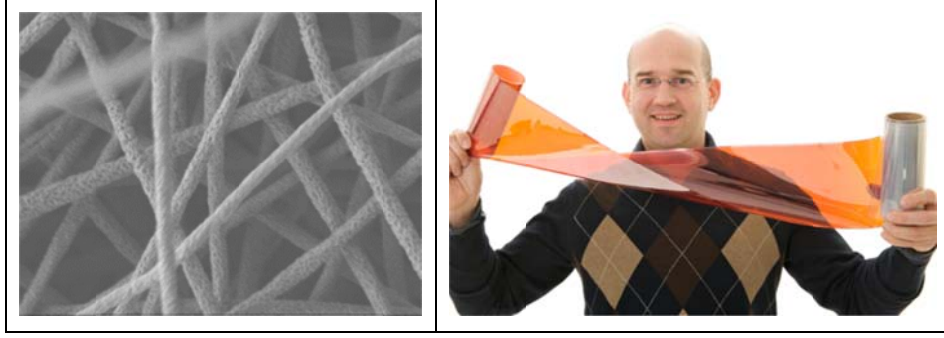
Plastik malzemelerin kullanılacakları alana göre doğru seçilmeleri sürdürülebilir ve çevreci olmaları yönünde belirleyicidir. Plastik malzemeler ile yaşanan en büyük sorun fazla dayanıklı olmalarıdır. Atılan bir plastik şişe doğada 200 ile 400 sene arasında varlığını sürdürecektir. Bunun yanında günümüz geri dönüşüm sistemlerinin plastik malzemeleri sorunsuz geri dönüştürebilme kapasitesi bu dezavantajı olumlu yönde etkilemektedir. Ayrıca plastiklerin geri dönüşüm süreçleri demir-çelik malzemelerin geri dönüşüm süreçleri ile kıyaslandığında çok daha az enerji gerektirir. Plastikler doğru kullanıldıklarında hava kirliliğini ve küresel ısınmayı engelleyebilen elemanlar olabilirler. Günümüzde harcadığımız enerjinin büyük bir kısmı fosil kaynaklı yakıtların yakılması ile kışları mekânları ısıtmaya, yazları ise soğutmaya harcanmaktadır. Ancak yapılar, genişletilmiş polistiren köpük ya da poliüretan köpükle kaplandığında ısı kayıplar azaldığından daha etkili bir ısı dengesi sağlanmaktadır. Sonuçta elektrik santrallerinden ve yapılardan yayılan hava kirliliği azaltılmış olmaktadır[205, 206].

Plastiğin sosyal tarihçesi ile ilgili bazı yabancı kaynaklar ve 1986 yılında kurulmuş olan “The Plastics Historical Society” nin web sitesinden edinilen bilgiler bir araya getirildiğinde dört temel dönem göze çarpmaktadır. Bunlar; doğal plastikler, yarı sentetik ve sentetik malzemelerin bulunuşu ve dünya savaşlarının olduğu dönem; dünya savaşları sonrası 1960'lara kadar geçen dönem; 1970'ler ve çevresel kaygılar; bilgi çağı ve günümüz şeklinde temel kısımlara ayrılabilir[206].



Şekil 2. 79. Plastik malzeme üretim, kullanım ve geri dönüşüm döngüsü[205].

Çağımızın teknolojisi olarak kabul edilen ve etki alanını hızla genişleten nanoteknoloji çalışmaları, üstün özellikli yeni nesil plastiklerinin üretilmesi konusunda da önemli katkı sağlayabilecek potansiyele sahiptir. Nanoteknoloji ile geleneksel eşdeğerlerine oranla daha yüksek dayanıma sahip, ısı ve çizilmeye karşı daha dayanıklı özel plastik nanokompozitler oluşturulabilmektedir. Bu uygulamalara, nanoteknoloji ile oluşturulan, 50 ile 150 nm arasında değişen boyutlarda, bakır gibi akım taşıma kapasitesine sahip, oldukça esnek, hafif ve dayanıklı olan plastik nanotüpler kullanılarak yüksek elektrik iletkenliğine sahip nanokompozitlerin oluşturulması örnek olarak gösterilebilir. Bu teknoloji ile iletken boyalar, yüksek performanslı kaplamalar, sızdırmazlık ürünleri ve yapıştırıcılar üretmek mümkün olabilmektedir (Şekil 2.80) [3, 156, 207].



Şekil 2.80. Nanoteknoloji ile üretilen plastik malzemeler[208, 209].

Nanoteknoloji ile kalıplama, filmleme ve paketlenme gibi uygulamalarda plastiklerin artırılarak, malzeme tasarrufu ve daha yüksek verim elde edilmektedir. Ayrıca, yağ bazlı bir yaklaşım yerine, biyoesaslı plastik elde edilmesi ile potansiyel sera gazı emisyonlarının azaltılması ve üretim süreçlerinin verimliliğinin artması mümkün olacaktır.

Nanoteknoloji kullanılarak plastik malzeme üretim çalışmaları temel olarak,

- Oldukça hafif, saydam ve çelik gibi sağlam plastiklerin üretilmesi,
 - Plastik malzemelere çizilme, çatlama sonrası kendini iyileştirebilme özelliğinin kazandırılması,
 - Biyoesaslı polimerler üretimi,
- çalışmaları üzerinde yoğunlaşmaktadır[3, 18].

2.1.1.6.3. Nano Aydınlatma Elemanları

İnsanlar çevrelerini, nesnelere tüm duyularından önce görme yolu ile algılar. Görme ya da görsel algılama, insanın dış dünya, yakın ve uzak çevre ile olan algısal ilişkiler bütününde oldukça önemli bir yer kaplar. Aydınlik, görsel algılamanın koşuludur. Bu durum, görsel algılamanın bir bileşeni olan ışık ve temel malzemesi ışık olan aydınlatmanın önemini açıkça ortaya koyar[210].

Aydınlatma, Uluslararası Aydınlatma Komisyonu' nun (International Commission on Illumination; CIE) tanımıyla nesnelere ve bunların çevrelerine ya da bir bölgeye, gereği gibi görülebilmeleri için tekniğine uygun şekilde ışık uygulanmasıdır.

İnsanların yaşamlarını sürdürdükleri yapıların her mekanında aydınlatmaya gereksinim vardır. İnsanlar için yapılan aydınlatmanın amacı çok çeşitli insan gereksinimlerine yardımcı olmak ve bu sırada görsel konfor koşullarını sağlamaktır.

Duygular, eylemler, algılamalar ve sağlık aydınlatmadan etkilenir. Örneğin, bürolar, okullar, hastaneler, fabrikalar, trafik, güvenlik gibi çeşitli konularda aydınlatma, temelde iyi görme koşullarının sağlanması için yapılır[210].

Aydınlatma uygulamaları, yapılarda kullanılan enerjinin yaklaşık olarak 1/3' ünü tüketmektedir. Aynı zamanda geleneksel aydınlatma elemanları ısınmaya neden oldukları için yapıların ısı konforunu olumsuz etkilemekte ve soğutma giderlerini arttırmaktadır. Örneğin akkor lambalar (uygun bir şekilde seçilmiş maddeleri yüksek sıcaklıklara kadar ısıtarak ışık vermesini sağlayan yapıdaki ışık kaynakları) kullandıkları enerjinin %95' ini ısıya dönüştürmektedir. Akkor lambalara oranla daha az enerji tüketen ve daha verimli olan floresan lambalar, içerdikleri cıva ve benzeri ağır metaller ile çevreye ve insan sağlığına zarar verdikleri için tehlikeli atık niteliğindedir. Geleneksel aydınlatma elemanlarında görülen bu olumsuzluklar, daha az enerji tüketen, daha verimli ve çevreci aydınlatma elemanlarının üretilmesi konusunda arayışlara neden olmaktadır. Daha etkili aydınlatma elemanları ile önemli miktarda enerji tasarrufu sağlamak mümkündür[3, 156, 211, 212, 213].

Nanoteknoloji, birçok uygulama başlığında olduğu gibi yeni nesil aydınlatma elemanları üretimi konusunda da önemli gelişmeler sağlayacak potansiyele sahiptir. Nanoteknolojinin aydınlatma elemanları üzerinde en somut yansıması, ışık yayan organik diyotların (OLED) üretilmesi olarak ortaya çıkmaktadır.

Işık yayan organik diyotlar (OLED) bir anot ve katot arasında sandviç edilmiş çok tabakalı ve ışık yayabilen organik bir yapıdır. Nanoyapılı yarı iletken malzemeler kullanımı ile geliştirilen OLED teknolojisi mimarlık ve daha bir çok farklı disiplin için, gerçek bir devrim niteliğindedir.

OLED' ler oldukça verimli ve esnek yapıda ışık kaynaklarıdır. OLED' ler esnek yapıları ile çok geniş uygulama alanına sahiptirler. Bu tür aydınlatma elemanları yapılarda duvar, zemin, tavan, perde, masa gibi herhangi bir yüzeye (düz veya kavisli) uygulanabilmektedir ve bu teknoloji ile yapılardaki her türlü yüzey ışık kaynağı haline getirilebilmektedir. Ayrıca, Almanya' da gerçekleştirilen araştırmalar da saydam yapıda, cam paneller arasına yerleştirilerek kullanılan OLED' ler üretilmiştir.

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, cıva ve halojenler bulundurmadığı için çevreci olması, iç ve dış mekânda suya dayanıklı olmasıdır[3, 156, 211, 212, 213].

2.2. Ön Araştırmalar

Nanoteknoloji kullanılarak elde edilen nanomalzemeler ve bu malzemelerin uygulandığı örnek yapılar hakkında gerekli bilgilerin elde edilmesi amacıyla ön araştırmalar yapılmıştır. Ön araştırmalarda izlenen aşamalar aşağıdaki gibidir:

1. Veri toplama ve örneklerin seçimi
2. Yapı analiz tablolarının oluşturulması

2.2.1. Veri Toplama ve Örneklerin Seçimi

Nanomalzemeler ve yapılarda kullanım olanaklarının araştırılmasında kitap, dergi, tez ve internet kaynaklarından yararlanılmıştır. Elde edilen bilgiler doğrultusunda, yapımında nanomalzeme kullanılan örnek yapılar analiz çalışması yapmak amacıyla seçilmiştir.

Nanoteknolojinin oldukça yeni bir bilim dalı olması nedeniyle yapılarda nanomalzeme kullanımı henüz yaygınlaşmamıştır. Bu nedenle analiz tablolarının oluşturulmasında nanoteknoloji ile yapılarda uygulama alanı bulunan strüktür, kaplama, ısı yalıtımı ve fotovoltaik panel başlıkları altında uygulanmış örnek yapılar seçilmiştir. Seçilen örneklerin literatüre girmiş yapılar olmasına dikkat edilmiştir.

Nanomalzemeler, yapılarda yaygın olarak kaplama uygulamalarında kullanılmaktadır. Strüktür sistemleri, ısı yalıtım ve fotovoltaik panel uygulamalarında nanomalzeme kullanımı çok yeni olduğu için örnek sayısı oldukça kısıtlıdır. “Diğer nanoteknoloji uygulamaları” başlığında açıklanan nanoyapıştırıcı, nanoplastik ve nanoaydınlatma malzemeleri üzerinde ise çalışmalar halen devam etmektedir ve henüz bu uygulamalara ait ürünler kullanıma sunulmamıştır. Bu nedenlerden dolayı çalışma kapsamında analiz edilmek üzere 4 adet strüktür uygulaması, 20 adet kaplama uygulaması, 10 adet ısı yalıtım uygulaması ve 4 adet fotovoltaik panel uygulamasını içeren 38 adet örnek yapı analiz edilmiş, “diğer nanoteknoloji uygulamaları” başlığı altında açıklanan malzemelere ait uygulama örnekleri incelenmemiştir.

2.2.2. Yapı Analiz Tablolarının Oluşturulması

Çalışma kapsamında oluşturulan ve Ek Tablo 1.1 – Ek Tablo 1.38 arasında gösterilen mimaride nanomalzeme kullanımına yönelik yapı analiz tabloları; literatür araştırmasından yararlanılarak yapıyı, yapıda kullanılan nanoteknolojik malzemeleri tanıtan, bu malzemelerin uygulama bilgilerini ve kullanım avantajlarını açıklayan veriler ile hazırlanmıştır.

Örnek yapı analiz tablolarında, incelenen her bir yapıya ve yapıda kullanılan nanomalzemeye ait temel bilgiler verilmiş, bu bilgiler resim, fotoğraf ve şekiller ile desteklenmiştir. Günümüzde nanoteknolojinin yapılarda kullanımının çok yeni ve dünya genelinde henüz nanomalzeme kullanımının yaygınlaşmamış olması nedeniyle bu malzemelerin kullanıldığı yapılar oldukça sınırlıdır. Bu nedenle çalışma kapsamına alınan örnek yapı 38 adet ile sınırlı tutulmuştur.

Yapımında nanomalzeme kullanılan örnek yapıların incelendiği analiz tabloları,

1. Yapıya ait bilgiler,
2. Kullanılan nanomalzeme ve uygulama bilgileri,

olmak üzere 2 bölümden oluşmaktadır.

2.2.2.1. Yapıya Ait Bilgiler

Nanoteknoloji ile geleneksel malzemelere oranla çok daha gelişmiş fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip yapı malzemeleri kullanıma sunulmaktadır. Nanomalzemeler, mimari uygulamalar üzerinde geniş bir kullanım potansiyeline sahiptir.

Ek Tablo 1.1- 1.38’ de gösterilen analiz tablolarında yapımında nanomalzeme kullanılan örnek yapının adı, mimarı, işlevi, yapım yeri ve yılına ait bilgiler yer almaktadır.

- Yapının Adı

Yapının literatürde geçen adıdır.

- Yapının Mimarı

Yapıyı tasarlayan mimar/mühendis/tasarım ekibinin dahil olduğu firmadır.

- Yapının İşlevi

Yapının tamamının sahip olduğu işlevdir.

- Yapım Yeri

Yapının inşa edilmiş olduğu kent ve ülke olarak belirtilmiştir.

- Yapım Yılı

Yapının inşa edildiği yıldır. Ancak bazı durumlarda nanomalzemeler önceden inşa edilmiş yapıların yenileme/restorasyon çalışmalarında kullanılmaktadır. Böyle bir durumda yapının inşa edildiği ve nanomalzeme sürecinin tam olarak bitirildiği yıllar birlikte verilmiştir. Nanomalzeme uygulama yılı parantez içerisinde gösterilmektedir (Yapım yılı (Nanomalzemenin uygulandığı yıl), 1600 (2011) gibi).

2.2.2.2. Kullanılan Nanomalzeme ve Uygulama Bilgileri

Yapı analiz tablolarının bu bölümünde, incelenen yapılarda kullanılan nanomalzemeler ve uygulamalarına ait bilgiler verilmiştir. Bu bilgiler kullanım alanı, malzemenin adı, kullanım yeri, kullanım amacı, kullanım biçimi, malzemenin nano yapısı nedeniyle sahip olduğu özellikler ve uygulama bilgileri şeklinde sıralanmıştır.

- Kullanım Alanı

Nanomalzemelerin yapılarda kullanım alanını (strüktür, kaplama, ısı yalıtımı ve fotovoltaik panel) ifade etmektedir.

- Kullanılan Malzeme

Yapıda kullanılan nanomalzemenin adıdır. Malzemenin nanoboyutlarına göre adlandırılmış biçimi de (iki boyutlu 2-D, üç boyutlu 3-D gibi) bu başlıkta yer almıştır.

- Kullanım Yeri

Nanomalzemeler yapılarda geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu başlıkta, incelenen örnek yapı uygulamalarında nanomalzemelerin kullanıldığı yerler cephe, çatı, dış mekân, yapı kabuğu (dış duvar katmanlaşması), iç mekân ve strüktür sistemi başlıklarında verilmiştir. Bu başlıklara ek olarak aynı yapıda farklı yerlerde kullanılan nanomalzemelerin kullanım yerleri cephe/çatı ve cephe/iç mekân biçiminde gösterilmiştir.

- Kullanım Amacı

Nanomalzemenin yapıda hangi amaca yönelik kullanıldığı (dayanım artışı, kendi kendini temizleme, ısı yalıtımı gibi) ifade edilmektedir.

- Kullanım Biçimi

Bu başlık altında nanomalzemenin kullanım biçimi (nanokompozit, ince film kaplama, boya gibi) ifade edilmektedir.

- Özellikleri

Nanoteknoloji, nanoölçekte, gelişmiş özellikli malzemelerin üretilmesini mümkün kılmaktadır. Bu başlık altında, incelenen yapılarda kullanılan malzemelerin nano yapıları nedeniyle kazandıkları üstün özellikler verilmiştir.

- Uygulama Bilgileri

Yapı analiz tablolarının bu bölümünde, seçilen örnek yapının ve nanomalzemenin genel uygulama bilgileri özetlenmiş ve nanomalzeme kullanımı ile yapıya kazandırılan avantajlar analiz edilmiştir.

3. BULGULAR VE İRDELEMELER

Çağımızın teknolojisi olarak kabul edilen nanoteknoloji alanında yaşanan gelişmelere paralel olarak geliştirilen ve üstün fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklere sahip nanomalzemelerin mimaride kullanım olanaklarının incelendiği çalışmada öncelikle literatür çalışması yapılmış, daha sonra literatürden elde edilen bulgulardan yararlanılarak nanomalzemelerin mimaride en çok kullanıldığı ve/veya gelecekte kullanım potansiyeli yüksek olan başlıklarda (strüktür, kaplama, ısı yalıtımı, fotovoltaiik panel) örnek yapılar incelenmiştir. 38 örnek yapının oluşturduğu yapı analiz tablolarından (Ek Tablo 1.1-1.38) ve literatür çalışmasından elde edilen bulgular değerlendirilmiş ve irdelenmiştir.

Bulgular ve irdemeler;

1. Yapıya ait bilgiler ile ilgili bulgular ve irdeme,
 2. Kullanılan nanomalzemeye ve uygulama bilgilerine ait bulgular ve irdeme,
- olmak üzere iki başlık altında incelenmiştir.

3.1. Yapıya Ait Bilgiler ile İlgili Bulgular ve İrdeme

• Yapının İşlevi

İncelenen 38 adet örnek yapı genellikle farklı işlevlere sahiptir. Bu nedenle bu yapıların işlevsel dağılımında bir yığılma tespit edilememiş, ancak tablo 3.1' de gösterildiği gibi nanomalzeme kullanımının incelenen örnek yapılar arasında konut işlevi yüklenen yapılarda yoğunlaştığı görülmüştür. Ayrıca, literatür araştırmasından yararlanılarak nanomalzemelerin havaalanı, kongre merkezi, tünel gibi işlevlere sahip yapılarda da kullanıldığı tespit edilmiş, ancak araştırma aşamasında yeterli bilgiye ulaşılamadığı için bu yapılar analiz edilmemiştir.

Tablo 3.1. Analiz edilen yapıların işlevlerine göre dağılımı

Yapının işlevi	Nanomalzeme kullanım alanı				Adet
	Strüktür	Kaplama	Isı yalıtımı	Fotovoltaik panel	
Bilim Merkezi	1	-	-	-	1
Dini Yapı	-	1	1	-	2
Eğitim	-	-	3	-	3
Fabrika	-	-	-	1	1
Gösteri/Sergi Mrkz.	-	-	1	1	2
Kamu Binası	-	1	-	-	1
Konaklama	-	2	-	-	2
Konut	2	5	3	-	10
Müze	-	-	1	-	1
Restoran	-	1	-	-	1
Sağlık Yapısı	-	2	-	-	2
Stadyum	-	1	-	-	1
Ticaret Merkezi	-	2	-	-	2
Ulaşım	1	1	-	1	3
Yönetim/Ofis	-	4	1	1	6
Toplam	4	20	10	4	38

Tablo 3.1, çalışma kapsamında oluşturulan analiz tablolarında (Ek Tablo 1.1-1.38) yer alan veriler ile hazırlanmıştır.

Elde edilen bulgular sonucunda, nanomalzemelerin hemen her türlü işleve sahip yapıda kullanılabildiği, ancak nanomalzeme üretiminin oldukça yeni ve pahalı olması, nanomalzemelerin geleneksel malzemelere oranla daha karmaşık yapıda olması gibi nedenler ile nanomalzemelerin konut işlevine sahip yapılarda daha yaygın olarak kullanıldığı görülmüştür.

- Yapım Yeri

Yapılan bu çalışmada, nanomalzeme kullanılan 38 adet örnek yapının yapım yeri (ülke) Tablo 3.2' de gösterilmiştir.

Tablo 3.2. Analiz edilen yapıların yapım yerlerine göre dağılımı

Yapım yeri	Nanomalzeme kullanım alanı				Adet
	Strüktür	Kaplama	Isı yalıtımı	Fotovoltaik panel	
ABD	1	3	4	-	10
Almanya	3	3	1	2	7
Aruba	-	1	-	-	2
Avustralya	-	2	-	-	1
Avusturya	-	1	-	-	1
Belçika	-	1	-	1	2
Çin	-	-	-	1	1
Fransa	-	1	-	-	1
İngiltere	-	2	2	-	4
İskoçya	-	-	1	-	2
İspanya	-	1	-	-	2
İsviçre	-	-	2	-	1
İtalya	-	3	-	-	3
Japonya	-	1	-	-	1
K. İrlanda	-	1	-	-	1
Toplam	4	20	10	4	38

Elde edilen bulgular sonucunda, inşasında nanomalzeme kullanılan örnek yapıların daha çok Amerika Birleşik Devletleri ve Almanya’ da yoğunlaştığı görülmektedir. Bu ülkelerin sahip oldukları gelişmiş teknoloji ve paralelinde yürütülen nanoteknoloji araştırmaları, nanomalzeme kullanımının bu ülkelerde yoğunlaşmasına neden olmaktadır.

Nanomalzemeler dünya genelinde son 10 yıldır kullanılmaktadır ancak nanoteknoloji çalışmalarının yeterli düzeye ulaşmamış olması nedeniyle Türkiye’ de henüz yapımında nanomalzeme kullanılan, büyük ölçekli bir uygulama gerçekleştirilememiştir. Bu nedenle, çalışma kapsamına alınan örnek yapılar içerisinde Türkiye’ de bulunan herhangi bir yapıya yer verilememiştir.

•Yapım Yılı

Nanomalzemeler, yeni inşa edilecek yapılarda ve/veya yenileme/restorasyon uygulamalarında kullanılabilir. İnceleme kapsamına alınan yapıların 25 adedinde yapım aşamasında, 13 adedinde ise yenileme/restorasyon aşamasında nanomalzeme kullanılmıştır. Bu nedenle yapım yılının analiz edildiği Tablo 3.3.’ de nanomalzemenin uygulandığı tarih esas alınmıştır.

Nanomalzeme kullanımının 2003-2013 yılları arasında gerçekleştirildiği yapıların dağılımı aşağıdaki tabloda gösterilmiştir:

Tablo 3.3. Analiz edilen yapıların nanomalzeme uygulama yıllarına göre dağılımı

Yapım yılı	Nanomalzeme kullanım alanı				Adet
	Strüktür	Kaplama	Isı yalıtımı	Fotovoltaik panel	
2003	-	1	-	-	1
2004	-	-	1	-	1
2005	-	1		-	1
2006	-	3	3	1	7
2007	1	1	-	-	2
2008	1	1	-	-	2
2009	2	2	1	-	4
2010	-	2	1	3	7
2011	-	1	2	-	3
2012	-	3	1	-	4
2013	-	5	1	-	6
Toplam	4	20	10	4	38

Nanoteknolojinin sağlayacağı olanaklar ilk olarak, Nobel fizik ödüllü “*Richard Feynman*’ın malzeme ve cihazların moleküler boyutlarda üretilmesi ile başarılabilecekler üzerine 1959 yılında verdiği konferans ile ortaya çıkmış olsa da nanomalzemelerin mimari yapılarda kullanımının 10 yıllık bir geçmişi vardır.

Çalışma kapsamında oluşturulan yapı analiz tablolarının incelenmesi ile seçilen yapılar arasında en eski tarihli uygulamanın 2003 yılında gerçekleştirildiği, nanomalzemelerin yapılarda kullanımının oldukça yeni sayılabileceği ve özellikle 2005 yılından sonra nanoteknoloji alanında gerçekleştirilen araştırma, geliştirme faaliyetlerinin hız kazanması ile nanomalzemelerin yapılarda kullanım oranının arttığı ortaya çıkmaktadır.

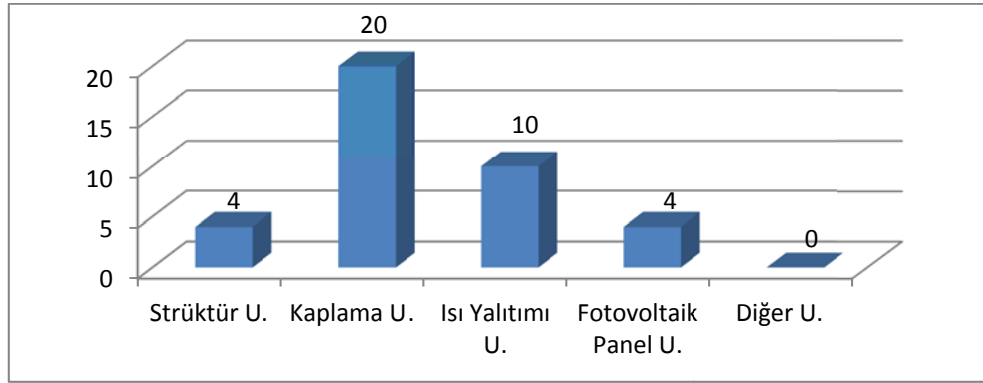
3.2. Kullanılan Nanomalzeme ve Uygulama Bilgilerine Ait Bulgular ve İrdeleme

• Kullanım Alanı

Literatür araştırmasından elde edilen bulgular doğrultusunda, nanomalzemelerin birçok özelliği bir arada taşıdığı ve geleneksel malzemeler ile çözülemeyen enerji, çevre,

üretim, emniyet gibi birçok sorunu çözme potansiyeline sahip olduğu; yapılarda kullanımı ile geleneksel yöntem ve malzeme tercihinde ortaya çıkan gereksinim ve ihtiyaçları değiştirdiği görülmüştür.

Nanomalzemeler yapılarda farklı kullanım alanlarında tercih edilmektedir. Çalışma kapsamında analiz edilen yapılarda kullanılan nanomalzemelerin kullanım alanlarına göre dağılımı Şekil 3.1.' de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Analiz edilen yapılarda kullanılan nanomalzemelerin kullanım alanlarına göre dağılımı

Nanoteknoloji ile geleneksel malzemelere oranla çok daha gelişmiş fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklere sahip strüktür malzemeleri, kaplama malzemeleri, ısı yalıtım malzemeleri ve fotovoltaik paneller yapılarda kullanıma sunulmaktadır.

Elde edilen bulgular sonucunda, nanomalzemelerin analiz edilen yapılarda en çok kaplama ve ısı yalıtım uygulamalarında kullanıldığı, “diğer” başlığı altında yer alan nanomalzemeler (nanoyapıştırıcı, nanoplastik ve nanoaydınlatma) üzerinde çalışmaların devam ettiği ve henüz seri üretime geçilemediği için bu malzemelerin kullanıldığı örnek bir yapının olmadığı tespit edilmiştir.

• Kullanılan Nanomalzeme

Nanoteknolojinin gelişmesi ile yapılarda kullanıma sunulan nanomalzemeler, 2.1.1.1. başlığı altında detaylı olarak açıklanan ve nano ebat aralığı, <100 nm içinde yer almayan boyutlarının sayısı temel alınarak sınıflandırılabilir. Bu araştırmada, incelenen yapıların 4 tanesinde sıfır boyutlu (nanoparçacık), 20 tanesinde iki boyutlu (nanokaplama,

nanolevha), 14 tanesinde ise üç boyutlu (nanokompozit) nanomalzeme kullanıldığı görülmüştür. Bu malzemeler ve sayıları Tablo 3.4.' te gösterilmiştir.

Tablo 3.4. Analiz edilen yapılarda kullanılan nanomalzemelerin boyutlarına göre dağılımı

Kullanılan nanomalzeme	Nanomalzeme kullanım alanı				Adet
	Strüktür	Kaplama	Isı yalıtımı	Fotovoltaik panel	
Sıfır boyutlu/0-D	1	3	-	-	4
Bir boyutlu/1-D	-	-	-	-	-
İki boyutlu/2-D	3	17	-	-	20
Üç boyutlu/3-D	-	-	10	4	14
Toplam	4	20	10	4	38

Tablo 3.4' ten elde edilen bulgular sonucunda; incelenen 38 adet yapıda gerçekleştirilen nanoteknoloji uygulamalarının sıfır boyutlu (nanoparçacık), iki boyutlu (nanokaplama, nanolevha) ve üç boyutlu (nanokompozit) nanomalzemeler kullanılarak gerçekleştirildiği görülmektedir. Nanoteknoloji kapsamında yürütülen araştırma ve geliştirme çalışmalarının, iki boyutlu nanomalzeme kullanımına yoğunlaşması nedeniyle nanoteknoloji uygulamalarının yaygın olarak bu tür nanomalzemeler kullanılarak gerçekleştirildiği düşünülmektedir. Ayrıca yapılan çalışma ile bir boyutlu (karbon nanotüp) nanomalzeme kullanımına yönelik çalışmalar yapılmasına rağmen, bu çalışmaların henüz ürüne dönüştürülememesi nedeniyle bu tür malzemelerin uygulandığı örnek bir yapının olmadığı ortaya çıkmaktadır.

- Kullanım Yeri

Nanomalizemeler, yapılarda farklı kullanım yerlerine sahiptir. Analizi yapılan 38 adet yapıda kullanılan nanomalzemelerin kullanım yerleri Tablo 3.5' de gösterilmiştir.

Tablo 3.5. Analiz edilen yapılarda kullanılan nanomalzemelerin kullanım yerlerine göre dağılımı

Kullanım yeri	Nanomalzeme kullanım alanı				Adet
	Strüktür	Kaplama	Isı yalıtımı	Fotovoltaik panel	
Cephe	-	14	-	1	15
Cephe/çatı	-	-	1	-	1
Cephe/iç mekân	-	1	-	-	1
Çatı	-	2	5	3	10
Dış mekân	-	1	1	-	2
İç mekân	-	2	1	-	3
Strüktür sistemi	4	-	-	-	4
Yapı kabuğu	-	-	2	-	2
Toplam	4	20	10	4	38

38 adet örnek yapının incelenmesi sonucunda, nanomalzemelerin, 15 yapıda cephede, 10 yapıda çatıda, 2 yapıda da dış mekânda, 3 yapıda iç mekânda, 4 yapıda strüktür sisteminde ve 2 yapıda yapı kabuğunda(dış duvar katmanlaşması) kullanıldığı görülmüştür. Bu kullanım yerlerine ek olarak nanomalzemeler, 1 yapıda cephe ve iç mekânda, 1 yapıda ise cephe ve çatıda aynı anda kullanılmıştır. Nanomalzemeler, gelişmiş özellikleri ile yapılarda farklı yerlerde aynı amaç doğrultusunda kullanılabilirlerdir.

Tablo 3.5' den elde edilen bulgular sonucunda; nanomalzemelerin örnek olarak seçilen yapılarda farklı yerlerde kullanılabildiği ancak; en çok yapı cephelerinde tercih edildiği görülmektedir. Yapı cephelerinin estetik algıda ön planda olması, kullanılan geleneksel malzemelerin istenilen etkiyi yaratamaması ve uzun kullanım ömrüne duyulan gereksinim, nanomalzeme kullanımının cephelerde yoğunlaşmasına neden olmaktadır. Bu nedenlere ek olarak, nanoteknoloji araştırma faaliyetlerinin cephelerde kullanılan nanomalzemeler üzerine yoğunlaşması, nanomalzemelerin yapı cephelerine diğer yapı bölümlerine oranla daha kolay uygulanabiliyor olması gibi nedenler nanomalzemelerin en çok yapı cephelerinde tercih edilmesinde rol oynamıştır.

• Kullanım Amacı

Nanomalzeme yapılar da farklı amaçlar doğrultusunda kullanılabilirlerdir. Çalışma kapsamına alınan ve analizi gerçekleştirilen yapılarda kullanılan nanomalzemelerin kullanım amaçlarına göre dağılımları Tablo 3.6' da gösterilmiştir.

Tablo 3.6. Analiz edilen yapılarda kullanılan nanomalzemelerin kullanım amaçlarına göre dağılımı

Kullanım amacı	Nanomalzeme kullanım alanı				Adet
	Strüktür	Kaplama	Isı yalıtımı	Fotovoltaik panel	
Bakteri karşıtı	-	2	-	-	2
Dayanım artışı	1	-	-	-	1
Elektrik üretimi	-	-	-	4	4
Havayı temizleme	-	4	-	-	4
Isı yalıtımı	-	-	5	-	5
Isı yalıtımı/duvar	-	-	4	-	4
Isı/ses yalıtımı	-	-	1	-	1
Kendini temizleme	-	11	-	-	11
Kolay temizlenme	-	3	-	-	3
Taşıyıcı eleman	3	-	-	-	3
Toplam	4	20	10	4	38

Nanomalzemeler analiz edilen yapılarda en çok kendi kendini temizleyen yüzey oluşturmak amacıyla kullanılmaktadır. Kendi kendini temizleme özelliğine sahip yüzeyler ile yapılara kazandırılan estetik ve ekonomik avantajlar, nanomalzeme kullanım amacının bu başlık altında yoğunlaşmasına neden olmaktadır. Bu kullanım amacının yanında, ısı yalıtım uygulamalarında kullanılan nanomalzemelerin, geleneksel eşdeğerlerine oranla çok daha ince malzeme kalınlığında çok daha etkili ısı yalıtım değeri sağlıyor olmaları nedeniyle nanomalzemelerin ısı yalıtım amacına yönelik kullanımı da diğer kullanım amaçlarına oranla öne çıkmaktadır.

- Kullanım Biçimi

Nanomalzemeler, yapılarda çeşitli biçimlerde kullanılmaktadır. Araştırma kapsamına alınan yapılarda tercih edilen nanomalzemelerin kullanım biçimleri Tablo 3.7' de gösterilmiştir.

Tablo 3.7. Analiz edilen yapılarda nanomalzemelerin kullanım biçimlerine göre dağılımı

Nanomalzemenin Kullanım biçimi	Nanomalzeme kullanım alanı				Adet
	Strüktür	Kaplama	Isı yalıtımı	Fotovoltaik panel	
Boya	-	6	-	-	6
Çelik donatı	3	-	-	-	3
Fotovoltaik panel	-	-	-	4	4
İnce film kaplama	-	11	-	-	11
Kompozit	1	3	-	-	4
Panel	-	-	8	-	8
Örtü	-	-	2	-	2
Toplam	4	20	10	4	38

İncelenen yapılarda, nanomalzemelerin 8 farklı biçimde kullanıldığı ancak; yaygın olarak ince film kaplama ve panel biçiminde uygulandığı görülmüştür. İnce film kaplama ve panel biçimindeki nanomalzemelerin diğer malzeme biçimlerine oranla çok daha kolay uygulanabilmesi, hata seviyelerinin oldukça düşük olması, iş gücü ve zamandan tasarruf sağlamaları gibi özellikleri daha çok tercih edilmelerine neden olmaktadır.

- Özellikleri

Üretim faaliyetlerin nanoteknoloji kapsamında kabul edilebilmesi için genel kabul görmüş ölçütler vardır. Bu ölçütlerden en önemlisi geliştirilen nanomalzemelerin üstün özelliklerini nano ölçek (1-100 nm) ve buna bağlı uygulamalar ile kazanmış olmaları, atom/molekül seviyesinde bir kontrol, uyarlama veya müdahale sürecinin söz konusu olmasının gerekliliği şeklinde özetlenmektedir.

İncelenen yapılarda kullanılan nanomalzemelerin sahip oldukları gelişmiş özellikler, farklı nanoyapılarından kaynaklanmaktadır. Kullanılan nanomalzemelerin nano yapılarına göre dağılımı Tablo 3.8' de gösterilmektedir.

Tablo 3.8. Analiz edilen yapılarda kullanılan nanomalzemelerin nano yapılarına göre dağılımı

Nanoyapı	Nanomalzeme kullanım alanı				Adet
	Strüktür	Kaplama	Isı yalıtımı	Fotovoltaik panel	
Fotokatalitik etki	-	12	-	-	12
Nanoboyut	1	-	-	-	1
Nanokristal yapı	-	-	10	4	14
Nanoüretim	3	-	-	-	3
Nanoyüzey	-	8	-	-	8
Toplam	4	20	10	4	38

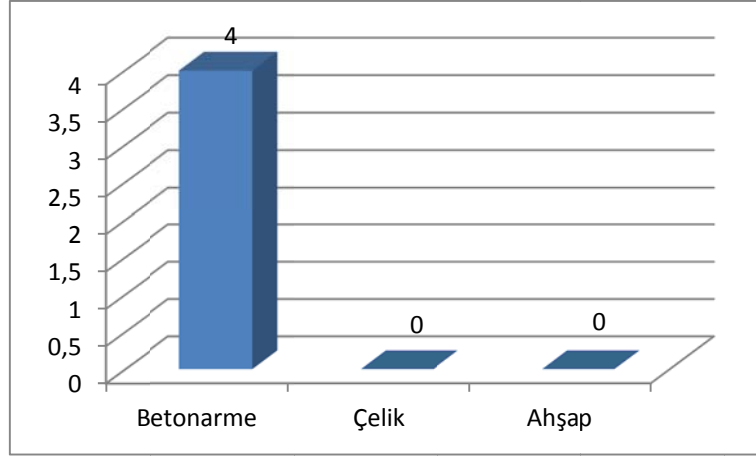
Tablo 3.8’ de gösterildiği gibi, incelenen yapılarda kullanılan nanomalzemelerin gelişmiş özellikleri farklı nanoyapılarından kaynaklanmaktadır. Analiz edilen yapılarda kullanılan nanomalzemelerin gelişmiş özelliklerinin yaygın olarak, zararlı bileşenleri zararsız hale getirmek ve kirletici maddeleri parçalamak gibi önemli getirileri olan fotokatalitik etkiye sahip olmalarından kaynaklandığı görülmektedir.

- Uygulama Bilgileri

Nanomalzemeler, genellikle yenilikçi ve sürdürülebilir tasarım ilkeleri ile oluşturulan yapı uygulamalarında kullanılmaktadır. Geleneksel malzemeler ile gerçekleştirilmesi zor ve/veya mümkün olmayan uygulamalar nanomalzeme kullanımı ile gerçekleştirilmektedir.

Yapılarda nanomalzeme uygulamaları malzemelerin kullanım alanlarına göre farklılık göstermektedir. Çalışma kapsamında incelen yapılara ve kullanılan nanomalzemelere ait uygulama bilgileri strüktür, kaplama, ısı yalıtımı ve fotovoltaik panel olmak üzere 4 başlık altında açıklanmaktadır.

Strüktür uygulamalarında nanomalzeme kullanımı farklı uygulama yöntemleri ile gerçekleştirilmektedir. Strüktür uygulamalarında nanomalzeme kullanılan yapıların sahip oldukları strüktür sistemleri Şekil 3.2’ de gösterilmektedir:



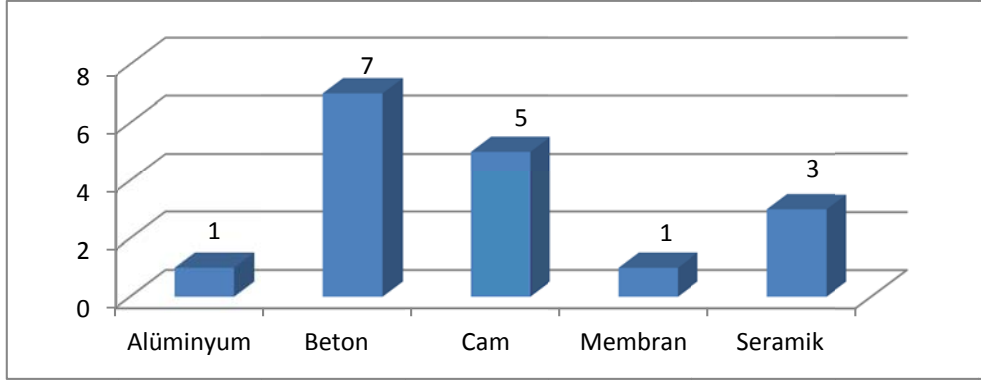
Şekil 3.2. Strüktür uygulamalarında nanomalzeme kullanılan yapıların strüktür sistemlerine göre dağılımı

Şekil 3.2' de, strüktür uygulamalarında nanomalzeme kullanımının betonarme strüktür sistemine sahip yapılar ile sınırlı kaldığı, çelik ve ahşap strüktür sistemine sahip yapılarda kullanımına yönelik çalışmalar yapılmasına rağmen henüz bu tür uygulamaları içeren örnek bir yapı olmadığı görülmüştür.

Çalışmada, betonarme strüktür sistemine sahip 4 adet yapı incelenmiştir. İncelenen yapıların bir tanesinde nanoboyutlu yapısı ile beton malzeme içerisindeki boşlukları doldurarak dayanım ve işlenebilirlik artışı sağlayan SiO_2 nanoparçacık, 3 tanesinde ise nanoboyutlu levhalar kullanılarak oluşturulan, yüksek dayanım değerine sahip çelik donatı kullanılmıştır. Betonarme strüktür uygulamalarında bu malzemelerin yanında farklı nanomalzeme kullanımına yönelik araştırmalar olumlu sonuç vermişse de, henüz yapı sektöründe kullanıma sunulmuş, seri üretimi gerçekleştirilen bir ürün olmadığı için bu malzemelerin kullanıldığı örnek bir yapı incelenememiştir.

Yapılan araştırmalar, nanoteknolojinin strüktür uygulamalarında kullanılan çelik ve ahşap malzemelerin strüktürel performans ve kullanılabilirliğini önemli oranda arttıracak potansiyele sahip olduğunu göstermektedir ve bu amaca yönelik çalışmalar hızla devam etmektedir. Yapılan çalışmalarda nanoteknoloji ile özellikleri geliştirilen çelik ve ahşap strüktür malzemelerine yönelik çalışmaların tamamlanmadığı ve bu malzemelerin yapı sektöründe kullanıma sunulmadığı görülmektedir.

Kaplama uygulamalarında kullanılan nanomalzemeler yapılarda farklı malzeme yüzeylerine uygulanabilmektedir. Analiz edilen yapılarda kullanılan nanokaplamaların uygulandıkları malzeme yüzeylerine göre dağılımı şekil 3.3' de gösterilmektedir:



Şekil 3.3. Nanokaplamaların uygulandıkları malzeme yüzeylerine göre dağılımı

Analiz edilen yapılarda nanokaplamaların, genellikle diğer malzemelere oranla yapılarda daha yaygın kullanılan beton ve cam malzeme yüzeylerine uygulandığı görülmektedir.

Nanokaplama uygulamaları ile yapıların uzun süre temiz kalması, bakım ve onarım masraflarının azaltılması, insan sağlığına zararlı bileşenlerin etkisiz hale getirilmesi gibi birçok gelişmiş özellik elde edilmektedir. Nanokaplamalar farklı işlevsel özellikleri(kendi kendini temizleme, havayı temizleme, parmak izi tutmama gibi) bir arada sağlayabilmektedir.

Isı yalıtım uygulamalarında nanomalzeme kullanımı farklı uygulama yöntemleri ile gerçekleştirilmektedir. Analiz çalışmasında, ısı yalıtım uygulamalarında kullanılan nanomalzemelerin birçok özelliği bir arada taşıdığı, geleneksel ısı yalıtım malzemeleri ile karşılaştırıldığında, 6-7 kat daha fazla performans gösterdiği, daha fazla enerji korunumu sağlayarak yapılarda ısıtma maliyetini önemli oranda azalttığı görülmektedir.

Nanoteknolojinin gelişmesi ile üretilen ısı yalıtım malzemelerinin en önemli özelliği ince malzeme kalınlığında etkili ısı yalıtımı değeri sağlamalarıdır. Bu yolla yapılardaki uygulamaları alan kaybına neden olmamakta ve geleneksel malzemeler ile çözülemeyen/gerçekleştirilemeyen uygulamalar mümkün olabilmektedir.

Nanomalzemelerin ısı yalıtım uygulamalarında cephede, duvarda, çatıda ve zeminde uygulandığı yapılan çalışmalar ile tespit edilmiştir. Ayrıca, ısı yalıtım uygulamalarında kullanılan nanomalzemeler yeni inşa edilmekte olan binaların yanı sıra, dönüştürme ve yenileme geçiren yapılarda da uygulanabilmektedir.

Fotovoltaik panellerde nanomalzeme uygulamaları geleneksel malzeme kullanımından çok farklı olmamakla birlikte bu yolla panellerin verimi önemli oranda

arttırılabilmektedir. Nanoteknolojinin getirdiği esneklik nedeniyle fotovoltaik panellerin yapılarıdaki uygulama alanları genişlemektedir. Nano-PV'ler fiziksel özellikleri ile tasarımcılara esnek yapı formları oluşturma imkânı vermektedir. Boyutsal olarak tasarımı sınırlayıcı bir özellik taşımazlar ve hafif olmaları nedeniyle yapı yükünü fazla arttırmazlar.

4. SONUÇLAR

21. yüzyılın teknolojisi olarak kabul edilen nanoteknoloji ile gelişmiş özelliklere sahip yeni yapı malzemelerinin (nanomalzemeler, nanokompozitler gibi) üretilebileceği ve/veya sınırlı bir performansa sahip geleneksel yapı malzemelerinin özelliklerinin geliştirilebileceği görülmektedir.

Gelişmiş fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklere sahip nanomalzemeler ekonomik, estetik, çevresel ve daha pek çok konuda sağladığı avantajlar ile günümüzde mimarlık alanında giderek daha çok önem kazanmakta ve tercih edilmektedir. Nanomalzemeler, gelişmiş ülkelerde son 10 yıldır kullanılıyor olmalarına karşın, ülkemizde kullanımları oldukça sınırlıdır ve henüz büyük ölçekli bir uygulama gerçekleştirilememiştir.

Nanomalzemelerin mimaride kullanım olanaklarını ortaya koymayı amaçlayan ve bu amaç doğrultusunda yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar, iki başlık altında toplanmıştır:

1. Nanomalzemelerin mimaride kullanımı ile ilgili sonuçlar
2. Genel sonuçlar

4.1. Nanomalzemelerin Mimaride Kullanımı ile İlgili Sonuçlar

Nanomalzemeler, 21.yüzyılın başlarından itibaren yapılarda kullanılmaya başlanmıştır. Geleneksel malzemelere oranla çok daha gelişmiş özelliklere sahip nanomalzemelerin yapılarda kullanım olanaklarını araştırmak için 38 adet örnek yapı üzerinde inceleme yapılmış ve elde edilen bulgular ve irdelemeler doğrultusunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır. Örnek yapılardan elde edilen bu sonuçlar, yapılarda nanomalzeme kullanımı ile ilgili genel durumu da yansıtmaktadır:

- Günümüzde nanoteknolojinin geniş bir uygulama alanı bulunmaktadır. Bu alanların başında malzeme bilimi gelmektedir. Nanoteknolojinin mimariye en somut yansması malzeme biliminde gerçekleşmektedir. Bu nedenle nanoteknolojinin mimariye etkisinin malzeme bilimindeki gelişmelere bağlı olarak artması beklenmektedir.
- Nanomalzemeler farklı işlevli yapılarda kullanılabilir ve genellikle konut işlevli yapılarda tercih edilmektedir.

- Amerika Birleşik Devletleri, Almanya ve Japonya nanoteknoloji alanında yapmış oldukları araştırmalar ile nanomalzeme kullanımının yoğun olduğu ülkelerin başında gelmektedir.

- Yapılarda nanomalzeme kullanımı 21. yüzyılın başından itibaren artarak devam etmektedir.

- Nanomalzemeler yaygın olarak yeni inşa edilen yapılarda kullanılmaktadır. Bunun yanında yenileme/restorasyon çalışması geçiren yapılarda da uygulanmaktadır.

- Nanomalzemeler en çok kaplama uygulamalarında kullanılmaktadır. Strüktür, ısı yalıtımı ve fotovoltaik panel uygulamalarında da nanomalzemeler tercih edilmektedir.

- Yapılarda yaygın olarak iki boyutlu (2-D) ve üç boyutlu (3-D) nanomalzemelerin yanı sıra sıfır boyutlu (0-D) nanomalzemeler de kullanılmaktadır. Bir boyutlu nanomalzemelere yönelik çalışmalar devam etmektedir ancak henüz bu tür nanomalzemeler seri üretim ürüne dönüştürülemediği için.

- Nanomalzemeler yapılarda farklı yerlerde kullanılmakta, en çok yapı cephelerinde tercih edilmektedir.

- Yapılarda genellikle kendi kendini temizleme özelliğine sahip yüzey oluşturmak amacıyla nanomalzeme kullanılmaktadır.

- Nanomalzemeler genellikle ince film kaplama biçiminde kullanılmaktadır.

- Nanoteknoloji ile geliştirilen nanomalzemeler sahip oldukları gelişmiş özelliklerini farklı nanoyapılarından kazanmaktadır.

- Nanomalzemeler kullanım alanlarına göre farklı uygulama özelliklerine sahiptir. Genellikle yenilikçi ve sürdürülebilir tasarım ilkeleri ile oluşturulan yapılarda kullanılmaktadırlar.

- Sahip oldukları gelişmiş özellikleri ile nanomalzemeler, geleneksel malzemeler ile çözülemeyen/gerçekleştirilemeyen uygulamaları mümkün kılmaktadırlar.

4.2. Genel Sonuçlar

Yapılan çalışmaların literatür araştırması bölümünden elde edilen genel sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Nanoteknoloji diğer bilim ve teknolojilerden ayıran en belirgin özellik atom/molekül seviyesindeki hassasiyettir.

- Nanoteknoloji disiplinler arası bir bilim dalıdır.
- Nanoteknolojinin yeni bir sanayi ve bilgi devrimi olarak 21. yüzyıla damgasını vuracağı ve yakın gelecekte bir ülkenin nanoteknolojideki seviyesinin o ülkenin gücünün bir göstergesi olabileceği düşünülmekte ve geleceğin dünyasının tümüyle “nanoteknoloji” etrafında şekilleneceği tartışılmaktadır.
 - Nanoteknolojinin öncelikle biyoteknoloji ve malzeme alanlarında gelişeceği beklenmektedir.
 - Malzeme alanındaki gelişmeler mimariyi de yakından etkileyecektir.
 - Günümüzde uygulanan ve önümüzdeki yıllarda uygulanacak olan nanoteknolojik malzemelerin mimaride kullanılmasıyla strüktürel anlamda daha hafif, daha dayanımlı, daha geniş açıklıklar geçebilen sistemler kurgulanabilecektir.
 - Nano ölçekte yapılan kaplamalar ile malzeme yüzeyine farklı işlevler kazandırılabilir. Isı yalıtım malzemelerinin gelişmesi, enerjiyi etkin kullanan sistemlerin nano ebatlarda oluşturulması, kaynakların verimli kullanılmasını sağlayacaktır.
 - Nanoteknoloji ve nanomalzeme kullanımı, fotovoltaik pillerin verimi artırarak pillere esnek bir yapı kazandıracak ve kullanım alanlarını genişletecektir.
 - Nanomalzeme kullanımı ile geleneksel malzemeler ile çözülemeyen birçok sorun çözülebilmektedir/çözülebilir.
 - Nanoteknoloji alanındaki araştırmaların halen sürüyor olması, maliyetlerin yüksek oluşu, nanometrik ebatlarda üretim yapmanın ve bu ölçeği gözlemlemenin kolay olmaması, özel üretim, denetim ve onarım yöntemlerini gerektirmesi, onarım ve denetim işlemleri için yeterli teknik elemanın yetiştirilmesinin uzun yıllar alması ve bazı ürünlerde sağlığa zararlı etkenlerin tespit edilmesi, nanomalzemeler ile ilgili standartların henüz tam olarak oluşturulamaması gibi potansiyel riskler, nanoteknolojinin sorgulanmasına neden olmaktadır. Bu olumsuz etkilerin giderilmesi ile gelecek yıllar nanoteknoloji tarafından şekillendirilecektir. Tıp, eczacılık, kimya, biyoloji, fizik gibi disiplinlerin yanı sıra mimaride de nanoteknoloji önemli değişimlere yol açacaktır ve geleceğin mimarisinin şekillenmesinde etkin rol oynayacaktır.

5. KAYNAKLAR

1. Bozkaya, Y., A. Ü. İleri Teknolojiler Araştırma Birimi Nanoteknoloji Bilim Dalı.
<http://www.itab.anadolu.edu.tr/itab/pdf/nylp.pdf> 17 Aralık 2013
2. Çıracı, S., Metrenin Bir Milyarda Birinde Bilim ve Teknoloji, Bilim ve Teknik-Yeni Ufuklara, 453(2005) 6-10
3. Elvin, G., Nanotechnology for Green Building.
http://esonn.fr/esonn2010/xlectures/maangematin/Nano_Green_Building55ex.pdf 14 Aralık 2013
4. Mann, S., Nanotechnology and Construction.
http://nanotech.law.asu.edu/Documents/2009/10/Nanotech%20and%20Nanoforum%20report_259_9089.pdf 24 Şubat 2014
5. Tepe, A., Nanoteknolojide Nano ölçekteki Yapıların Yerel Olmayan Elastisite Çerçevesinde İncelenmesi, Doktora Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.
6. National Science and Technology Council Committee on Technology, Nanotechnology-Shaping The World Atom By Atom, 1999.
7. Cireli, A., Kutlu, B., Onar, N. ve Erkan G., Tekstilde İleri Teknolojiler, Tekstil ve Mühendis Dergisi, 61(2006) 7-20.
8. Kayır, Y., Z. ve Baççıl, E., G., Nanoteknoloji Nedir, 15. Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi, 2010, İstanbul.
9. Baykara, T., Günay V. Ve Musluoğlu E., Nanoteknoloji ve Nano-malzeme Süreçleri, Alp yayıncılık, 2010.
10. Erkoç, S., Nanobilim ve Nanoteknoloji, 2.Baskı, O.D.T.Ü. Yayıncılık, Ankara, 2007.
11. Bilgiç, E., İnşaat Sektöründe Yalıtım Amacıyla Çatı ve Dış Cephelerde Uygulanması Planlanan Nanolif Membranlar Üzerine Bir Çalışma, Yüksek Lisans Tezi, M.S.G.S.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010.
12. Harman, S., Nanoteknolojinin Mimariye Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011.
13. <http://www.nanowerk.com/>, Nanotechnology Spotlights. 24 Şubat 2014.
14. KUT, D. ve GÜNEŞOĞLU C., Nanoteknoloji ve Tekstil Sektöründeki Uygulamaları, Tekstil & Teknik Dergisi, sayı(2005) 224-230
15. Celep, Ş., Nanoteknoloji ve Tekstilde Uygulama Alanları, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2007.

16. Leydecker, S., Nano Materials in Architecture: Interior Architecture and Design, 189 syf., Birkhauser Verlag AG, Almanya, 2008.
17. Ulutepe, Ç., Üretim İşletmelerinde Nanoteknoloji Kullanımı ve Üretim Maliyetleri Üzerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Ü., Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 2010.
18. Ashby, M.F., Ferreira, P.J. ve Schodek, D.L., Nanomaterials, Nanotechnologies and Design: An Introduction for Engineers and Architects, 540 syf., Elsevier Ltd., Çin, 2009.
19. <http://newundersol.blogspot.com/2013/09/nanotechnology-in-roman-empire.html>, Nanotechnology in the Roman Empire. 03 Mart 2014.
20. Naschie, M., S., E., Nanotechnology for the Developing World, Chaos Solitons & Fractals, 30, 4(2006) 769-773.
21. Seventekin, N., Özdoğan, E. ve Demir, A., Nanoteknoloji ve Tekstil Uygulamaları, Tekstil ve Konfeksiyon, 3, 2006, 159-163.
22. Kutucu, B., Nanoteknoloji ve Çift Duvarlı Karbon Nanotüplerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010.
23. http://mebk12.meb.gov.tr/meb_iys_dosyalar/35/30/717616/dosyalar/2013_01/09095402_nanoteknolojinedir.pdf, Nanoteknoloji Nedir. 06 Ocak 2014.
24. <http://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%85ngstr%C3%B6m>, Ångström. 23 Şubat 2014.
25. Yalçın, K., A., Nanoteknoloji ve Gıda Sanayiinde Uygulama Alanları, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 2010.
26. Chau C, Wu, S., ve Yen, G., The Development Of Regulations For Food Nanotechnology, Trends in Food Science & Technology dergisi, 18(2007) 269-280.
27. Seventekin, N., Özdoğan, E. ve Demir, A., Nanoteknoloji ve Tekstil Uygulamaları, Tekstil ve Konfeksiyon, 3, 159-163, 2006.
28. Vural, N. ve Engin, N., Mimaride Nanoteknolojik Malzemelerin Kullanımı, 6. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi, İstanbul, 2012.
29. <http://www.mfa.gov.tr/T.C.> Dış İşleri Bakanlığı, Unam-Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Enstitüsü, Nanobilim ve Nanoteknolojide Türkiye'nin Bir mükemmeliyet merkezi. 04 Ocak 2014.
30. Bhuvaneshwari, B., Sasmal, S. ve Iyer, N., R., Nanoscience to Nanotechnology for Civil Engineering-Proof of Concepts, Recent Researches in Geography, Geology, Energy, Environment and Biomedicine, 1(2011) 230-235.

31. Ge, Z. ve Gao, Z., Applications of Nanotechnology and Nanomaterials in Construction, First International Conference on Construction In Developing Countries, Ağustos 2008, Karacı, Bildiriler Kitabı, 235-240.
32. Vural, B., Nanoteknoloji ve Malzeme Bilimi İçerisindeki Yeri, Mimarlıkta Malzeme Dergisi, 2(2010) 81-90.
33. Ayken, A., Titanyum Oksit(TiO₂) Nanokompozitlerin Doğrusal Olmayan Optik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, A.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2013.
34. http://tr.wikipedia.org/wiki/Titanyum_dioksit, Titanyumdioksit. 23 Şubat 2014.
35. Olar, R., Nanomaterials And Nanotechnologies For Civil Engineering, IASI Politeknik Enstitüsü Bülteni, 4(2011) 109-117.
36. http://en.wikipedia.org/wiki/Silicon_dioxide, Silikondioksit. 23 Şubat 2014.
37. <http://www.nanosilver.com.my/nanotech.asp>, Nanogümüş. 23 Şubat 2014.
38. <http://www.nanogumusdezenfektan.com/>, Nanoürün. 23 Şubat 2014.
39. http://en.wikipedia.org/wiki/Silver_nanoparticles, Nanogümüş. 23 Şubat 2014.
40. http://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium_oxide, Alümina oksit. 23 Şubat 2014.
41. <http://www.mta.gov.tr/v2.0/daire-baskanliklari/mat/pdf/pdf43.pdf>, Alüminaoksit-Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi Başkanlığı. 23 Şubat 2014.
42. Gençer, Ö., Bakır ve Bakır Oksit Nanopartiküllerinin Ultrasonik Sprey Piroliz (Usp) Yöntemi İle Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009.
43. Chu, J., Hybrid copper-gold nanoparticles convert CO₂.
<http://newsoffice.mit.edu/2012/hybrid-copper-gold-nanoparticles-convert-CO2> Tarih
44. Ballıpınar, F., Çinko Oksit (Zno) Nanoyapıların Organik Güneş Pillerinde Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012.
45. Çiçek, K., Çinko Oksit İnce Filmin Pyroelektriklik Özelliği Üzerinde Alt Taş Materyalin Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2011.
46. Yalçınkaya, S., E., Nanokil – Polimer Kompozitlerinin Sentez ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2008.
47. Lee, J., Mahendra, S. ve Alvarez, P., J., J., Nanomaterials in the Construction Industry:A Review of Their Applications and Environmental Health and Safety Considerations, ACS Nano, 4, 7(2010) 3580-3590.

48. Menceloğlu, Y. Z., Kırca, M. B., Uluslararası Rekabet Stratejileri: Nanoteknoloji ve Türkiye, TÜSİAD Rekabet Stratejileri Dizisi-11, (Yayın No. TÜSİAD-T/2008-11/474), İstanbul, 2008.
49. Küçükıldırım, B., O., Karbon Nanotüpler, Sentezleme Yöntemleri ve Kullanım Alanları, Mühendis ve Makina, 53, 630(2012) 34-44.
50. Çubukçu, M., Nanokompozitler ve Elektrokimyasal Biyosensör Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla, 2008.
51. <http://www.surf.nuqe.nagoya-u.ac.jp>, Karbon nanotüpler. 23 Şubat 2014.
52. Bağcı, İ., Epoksi Reçinesi ile Nanokompozit Sentezi, Yüksek Lisans Tezi, G.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006.
53. Yılmazbayhan, A., Maleik Anhidritle Graftlanmış Oligomerlerin ve i-PP/Silikat Nanokompozitlerin Tepkimeli Ekstrüzyon Yöntemiyle Sentezi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006.
54. Öney, F., Polistiren Kil Nanokompozitin Sentezi Ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, G.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2013.
55. Demirkan, Ö., Mimarlıkta Strüktür Ve Süsleme İlişkisinin İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, G.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006.
56. Gündoğ, G., Çağdaş Strüktür Sistemlerinin Mimarlığa Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, E.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 2007.
57. Kavurmacioğlu, Ö., Strüktür Tasarımında Yenilikçi Matematiksel Modeller Üzerine Bir İnceleme, Yüksek Lisans Tezi, B.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2013.
58. Mehdinezhad, M., Nikbakht, H. ve Nowruzi, S., Application of Nanotechnology In Construction Industry, Journal Of Basic And Applied Scientific Research, 3,8(2013)509-519.
59. Sunar Ş., Türkiye’de Gelecek Yirmibeş Yıl İçinde Beton Malzemenin Durumu, Yüksek Lisans Tezi, MSÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2005.
60. http://en.wikipedia.org/wiki/Self-healing_material, Self Healing Material. 25 Şubat 2014.
61. Hastrich, C., Self Healing Materials.
<http://bouncingideas.wordpress.com/2012/02/01/self-healing-materials> 25Şubat 2014
62. Ögüt, M., R., Az Katlı Yapılarda Taşıyıcı Sistem Olarak Çelik Malzemenin Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2006.

63. Hatipoğlu, E., T, Zayıflatılmış ve Güçlendirilmiş Tipteki Çelik Kolon-Kiriş Birleşimlerinin Deprem Etkisi Altındaki Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2011.
64. http://www.mmf.com/wp-content/uploads/2013/12/chromx4100_overview.pdf, MMFX Chrom-x 4100. 25 Şubat 2014.
65. <http://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%87elik>, Çelik. 25 Şubat 2014.
66. Eriç, M., Yapı Fiziği ve Malzemesi, Literatür Yayınları, İstanbul, 2010-2011
67. Erkoç, E., Günümüz Teknolojisiyle Üretilen Ahşap Konutların Tasarım-Uygulama-Kullanım Üçgeninde Değerlendirilmesi (İstanbul Örnekleri), Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2004.
68. Altunkaya, P., Tutkallı Tabakalanmış Ahşap Strüktür Sistemlerinin Mimaride Kullanım Olanakları, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2007.
69. Arslankelle, T., Tutkallı Tabakalı Ahşap Kirişlerin, Geniş Açıklıklı Strüktürel Sistemlerde Etkin Kullanımının İrdelenmesi ve Türkiye'den Bir Örnek Çalışma, Yüksek Lisans, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2002.
70. Ünal, O., Yapı Malzemesi Ders Notları
http://www.teknolojikarastirmalar.com/eegitim/yapi_malzemesi/icerik/ahsap.html 26 Şubat 2014
71. Avcı, G., G., İşlevsel Nanokaplamalar, Bilim ve Teknik Dergisi, 497(2009) 48-49.
72. Farahmandjou, M., Khalili, P., Study of Nano SiO₂/TiO₂ Superhydrophobic Self-Cleaning Surface Produced by Sol-Gel, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 7, 6(2013) 462-465.
73. Parkin, I., P., ve Palgrave, R., G., Self-cleaning coatings, Journal of Materials Chemistry, 15(2005) 1689-1695.
74. Ganesh, V., A., Raut, H., K., Nair, A., S. ve Ramakrishna, S., A review on self-cleaning coatings, Journal of Materials Chemistry, 21(2011) 16304-16322.
75. Gür, M., Nanomimarlık Bağlamında Nanomalzemeler, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 2(2010) 81-90.
76. Bazu, T., Sol-Gel Yöntemi ile Kaplanarak Kendini Temizleyen Yüzeylerin Elde Edilmesi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2013.
77. Özgür, H., Gemici, Z. ve Bayındır, M., Çöl Böceği ve Nilüfer Çiçeğinden Öğrendiklerimiz Akıllı Nanoyüzeyler, Bilim ve Teknik Dergisi, 473(2007) 52-56.

78. MEB, Öğretmen Kılavuzu Lotus Etkisi, 511787-LLP-1-2010-1-TR-KA3-KA3MP, 2010.
79. <http://en.wikipedia.org/wiki/Nelumbo>, Nelumbo. 05 Mart 2014.
80. http://www.ngimat.com/pdfs/Nanoengineered_Surfaces_Self_Cleaning.pdf, Ngimat. 07 Mart 2014.
81. Seventekin, N., Özdoğan, E. ve Demir, A., Lotus etkili yüzeyler, Tekstil ve Konfeksiyon, 1(2006) 287-290.
82. Poole, B., Biomimetics: Borrowing from Biology.
http://www.thenakedscientists.com/HTML/articles/article/biomimetics_borrowingfrombiology 07 Mart 2014
83. Maynes D., R., BYU-Mechanical Engineering.
<http://me.byu.edu/content/research-group/Fluid%20Mechanics?destination=content%2Fresearch-group%2FFluid+Mechanics> 07 Mart 2014
84. Lee, J., S., Ryu, J. ve Park, C., B., Bio-inspired fabrication of superhydrophobic surfaces through peptide self-assembly, Soft Matter, 5(2009) 2717-2720.
85. <http://kimyasimya.blogspot.com/2012/10/fotokataliz.html>, Fotokataliz Nedir. 08 Mart 2014
86. Sayılkan, F., Nano-TiO₂ Fotokatalizör Sentezi Ve Fotokatalitik Aktivitesinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, İnönü Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya, 2007.
87. Mylonas, A., Papaconstantinou, E., Photocatalytic degradation of chlorophenols to CO₂ and HCl with polyoxotungstates in aqueous solution, Journal of Molecular Catalysis, 92(1994) 261-267.
88. Tamirci M., Fotokatalizör ve Uygulama Alanları, Standart Ekonomik ve Teknik Dergi, 5, 2003.
89. <http://www.titanpe.com/library/kb2501.htm>, What is photocatalyst (photocatalysis). 08 Mart 2014.
90. <http://www.pilkingtonselfcleaningglass.co.uk/how-it-works/default.htm>, How self cleaning glass work. 08 Mart 2014.
91. <http://projects.pilkington.com/usa/show/3668/Helen-DeVos-Children-s-Hospital.aspx>, Helen DeVos Children's Hospital. 08 Mart 2014.
92. <http://projects.pilkington.com/usa/show/3718/GE-Plaza.aspx>, Ge Plaza. 08 Mart 2014.
93. <http://riochromatic.com/2012/03/chasing-green/>, Chasing Green. 08 Mart 2014.

94. Weeks, K., Casalgrande Padana, Bios Self Cleaning Ceramics.
<http://www.architectmagazine.com/products/casalgrande-padana-bios-self-cleaning-ceramics.aspx> 09 Mart 2014
95. <http://www.noblelightnews.com/201307.html>, IR Drying for Production of Functional Nanocoatings. 10 Mart 2014.
96. <http://paintshoppaints.wordpress.com/2011/02/>, Paintshop. 10 Mart 2014.
97. <http://es.i-nova.net/content?articleId=96795>, İtalcementi Group. 10 Mart 2014.
98. <http://www.protecsolutions.com.tr/en/products-tio2.php>, Nano TiO₂ and your health. 10 Mart 2014.
99. <http://www.italcementigroup.com/ENG/Media+and+Communication/News/Building+and+Architecture/20070908.htm>, İtalcementi Group. 10 Mart 2014.
100. http://www.sanitec-kolo.com/reflex_kolo/index.html, Reflex Kolo. 13 Mart 2014.
101. <http://www.european-coatings.com/Raw-Materials-Technologies/Technologies/Functional-coatings/> / New-blog-entry-on-easy-to-clean-coatings, European Coatings. 13 Mart 2014.
102. <http://inno-x.ch/en/133/Easy-to-Clean.htm>, Easy To Clean Coatings. 13 Mart 2014.
103. <http://www.nanoshop.com/>, Nanoshop. 13 Mart 2014.
104. <http://www.enduroshield.com/project/>, Coatngs. 13 Mart 2014.
105. http://multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?mwsId=SSSSSufSevTsZxtUMYtv m8_SevUqevTSevTSevTSeSSSSSS--&fn=ecc1000.pdf, Easy Clean Coating ECC-1000. 13 Mart 2014.
106. <http://www.aquavistaglass.com.au/downloads/Nano-Coat-Clear-Technical.pdf>, aquavistaglass. 13 Mart 2014.
107. http://www.bbc.co.uk/turkce/haberler/2014/03/140325_who_hava.shtml, BBC. 29 Mart 2014.
108. <http://www.ekoyapidergisi.org/325-ic-mekan-hava-kalitesi-insan-sagligi-etkilesimi.html>, Eko Yapı. 29 Mart 2014.
109. <http://www.nano-antimicrobial.com/environment-purification/>, Nano Anti-microbial Solutions. 17 Mart 2014.
110. <http://www.ecospaints.net/atmosphere-purifying-paint.html>, Atmosphere Purifying Paint. 17 Mart 2014.

111. http://www.keim.com.au/files/Keim_Ecosil_ME_UK.pdf, KEIM Ecosil-Me. 17 Mart 2014.
112. <http://www.amnova.us/>, Photo-Catalytic Products. 17 Mart 2014.
113. <http://allerrair.blogspot.com.tr/2012/07/home-sweet-home-with-curtains-that.html>, Aller Air. 17 Mart 2014.
114. <http://www.zulily.com/p/latte-arm-hammer-odor-neutralizing-grommet-curtain-panel-48886-4382497.html?pos=103&e=1&>, Zulily. 17 Mart 2014.
115. Tecer, L., H., Hava Kirleticilerin Karbonatlı yapı malzemeleri üzerindeki etkileri, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2(2005) 231-237.
116. Gökaltun, E., Atmosferik Gaz ve Asitlerin Doğal Taş Yapı Malzemeleri Üzerindeki Etkilerinin Deneysel Yöntemler ile Analizi, Mimarlar Odası İstanbul Büyükkent Şubesi 2. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi, 2004, İstanbul, 149-160.
117. Winter, C., A Building Designed to Eat Smog.
<http://www.businessweek.com/articles/2013-04-26/a-building-designed-to-eat-smog> 17 Mart 2014
118. <http://www.inform.kz/eng/article/2593501>, Kazinform. 17 Mart 2014.
119. http://inhabitat.com/italian-artist-andreco-creates-worlds-first-pollution-fighting-mural/andreco_tree_in_the_city2_web/, Andreco Tree Mural. 19 Mart 2014.
120. <http://www.italcementigroup.com/NR/rdonlyres/96036B14-4C6D-4E07-9854-1B1CE1AD6593/0/TXactivetechnicalreport2009.pdf>, İtalcementi TX Active. 19 Mart 2014.
121. <http://www.dogancam.com/docs/downloads/isicam-terleme.pdf>, Isıcam' da Terleme. 21 Mart 2014.
122. Chen, A., Berkeley Lab Develops Antifogging Coating With Nanostructured Materials.
<http://eetd.lbl.gov/newsletter/nl35/eetd-nl35-5-antifogging.html> 21 Mart 2014
123. <http://www.teknolojivebilim.com>, Buğulanma. 04 Şubat 2014.
124. <http://www.bathroomledmirror.com/en/bathroom-mirror/anti-fog-mirror.html>, NRG Bathroom Led Mirrors. 25 Mart 2014.
125. http://www.bey-om-sin.com/pdf/NanoSAFE_Cam_Koruma_Katalogu_2013.pdf, Nanosafe-Cam Kaplamalar. 25 Mart 2014.
126. <http://nanoenarge.com.tr/sayfa.asp>, Nanoen-Nanoteknolojik Çözümler. 25 Mart 2014.
127. <http://www.bilgiustam.com/bakteri-nedir/>, Bakteri Nedir. 25 Mart 2014.

128. <http://www.woosounglamir.com/gallery.html>, Laflor. 25 Mart 2014.
129. http://www.casalgrandepadana.com/bios_iframe/en_US/antibacterial/bios_antibacterial05.html, Bios Antibacterial. 25 Mart 2014.
130. http://www.duravit.us/website/homepage/products/material_knowledge/ceramic/wondergliss.us-en.html, Duravit-Wondergliss. 27 Mart 2014.
131. <http://www.mrlock.com/36818.html>, Mr. Lock. 24 Mart 2014.
132. <http://www.jung.de/en/782/solutions/inspiration-for-public-buildings/hospital/>, Jung-Antibacterial. 24 Mart 2014.
133. <http://www.marlux.co.uk/viewproduct.php?pid=7>, Universal Curtains. 29 Mart 2014.
134. <http://tr.wikipedia.org/wiki/Perde>, Perde. 29 Mart 2014.
135. <http://www.architonic.com/pmsht/fabrics-silent-gliss/1212790>, Fabrics by Silent Gliss. 29 Mart 2014.
136. Pınar, M., Parmak İzlerine Nanoteknolojik Çözüm.
<http://www.acikbilim.com/2013/07/dosyalar/parmak-izlerine-nanoteknolojik-cozum.html> 31 Mart 2014
137. http://www.euro-inox.org/pdf/build/Cleaning_TR.pdf, Mimaride Uygulanan Paslanmaz Çeliklerin Temizlenmesi. 31 Mart 2014.
138. http://www.us.schott.com/advanced_optics/english/download/schott-conturan-daromay-2013-us.pdf, First Durable Anti-Fingerprint Coating on Anti-Reflective Cover Glass. 29 Mart 2014.
139. http://www.inm-gmbh.de/wp-content/uploads/2009/03/INM_Nanomer-anti-fingerprint-coatings-for-metal-surfaces_0111.pdf, First Durable Anti-Fingerprint Coating on Anti-Reflective Cover Glass. 29 Mart 2014.
140. Hattat, S., O., Doğal Taş Malzeme Koruyucuların Performans Ölçümünde Deneysel Metot Araştırması, Doktora Tezi, M.S.G.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2002.
141. <http://www.nanophase.com/markets/details.aspx?MarketId=6>, Exterior Coatings. 08 Mart 2014.
142. http://www.nanovations.com.au/Case_Study.htm, Nanovations engineering a sustainable future. 08 Mart 2014.
143. <https://www.nanotechcoatings.com/brochures/>, Nanotech Coating. 08 Mart 2014.
144. <http://www.nanophase.com/markets/details.aspx?marketid=7>, Scratch Resistant Coatings. 08 Mart 2014.

145. <http://www.nanophase.com/products/benefit.aspx?BenefitId=4>, Scratch Resistance. 08 Mart 2014.
146. <http://www.dfisolutions.com/media/15342/Residential-Protection.pdf>, Why Diamond-Fusion. 08 Mart 2014.
147. <http://www.dfisolutions.com/surfaces-we-improve/glass/>, How DFI Protects Glass. 08 Mart 2014.
148. Şen, A., O., Binalarda Uygulanan Yalıtım Sistemleri Dünyada ve Türkiyede Yalıtım, Sakarya Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2006.
149. Kiper Yılmaz, G., H., Binalarda Dış Duvarlarda Kullanılan Isı Yalıtım Kaplamalarının Enerji Korunum Performansları Açısından İncelenmesi, Dokuz Eylül Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2009.
150. Aydın, İ., Binalarda Uygulanan Isı Yalıtım Sistemlerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2010.
151. Yılmaz, Y., Farklı Başlangıç Maddeleri Kullanılarak Sol-Jel Yöntemiyle Monolitik Silika Aerojel ve Silika Aerojel Sentezi ve Karakterizasyonu, Gazi Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2013.
152. <http://www.aerogel.com>, Aspen-Aerogels. 08 Mart 2014.
153. <http://forums.bit-tech.net/showthread.php?t=237276>, Have you seen this Aerogel. 08 Ocak 2014.
154. <http://tr.wikipedia.org/wiki/Aerojel>, Aerojel. 07 Ocak 2014.
155. http://stardust.jpl.nasa.gov/aerogel_factsheet.pdf, Aerogel mystifying blue smoke, 06 Ocak 2014.
156. İMSAD-TÜSİAD, İnşaat Sektöründe Sürdürülebilirlik: Yeşil Binalar ve Nanoteknoloji Stratejileri, Sis matbaacılık, İstanbul, 2012.
157. http://www.aerogel.com/products/pdf/Spaceloft_DS.pdf, High performance insulation for building envelopes. 08 Ocak 2014.
158. <http://www.aerogel.com/products/overview-product.html>, Ultra thin spaceloft insulation. 08 Ocak 2014.
159. http://www.aerogel.com/markets/images/building_wallboard1_full.jpg, Aspen-Aerogels. 08 OCAK 2014.
160. <http://www.kalwall.com/aerogel.htm>. The World's Most Powerful Translucent Daylighting System. 11 Ocak 2014.
161. <http://www.airglass.se/>, airglass homepage. 08 Ocak 2014.

162. <http://labman.phys.utk.edu/phys136/laboratories/lab10.htm>, Refraction. 14.02.2014.
163. Deniz, E., Vakumlu Yalıtım Malzemelerinin Karakteristik Özelliklerinin Deneysel ve Teorik Olarak incelenmesi, Marmara Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009.
164. Mukhopadhyaya P., Use of Vacuum Insulation Panel in Building Envelope Construction: Advantages and Challenges, National Research Council Canada, NRCC-53942, 2011, 1-10.
165. Simmler, H., Brunner, S., Heinemann, U., Schwab, H., Kumaran, K., Mukhopadhyaya, P., Quénard, D., Sallée, H., Noller, K., Küçükpinar- Niarchos, E., Stramm, C., Tenpierik, M., Cauberg, H. ve Erb, M., Vacuum Insulation Panels-Study on VIP-components and Panels for Service Life Prediction of VIP in Building Applications, Annex 39, HiPTI–High Performance Thermal Insulation of Implementing Agreement, Report on Subtask A, 153 syf., IEA/ECBCS, 2005.
166. Kumlutaş, D. Ve Yılmaz, U., Binalarda Vakum İzolasyon Panelleri Kullanılmasının Soğutma Yüküne Olan Etkisi, Mühendis ve Makine, 49, 583(2008) 10-16.
167. Baetens, R., Jelle B., P., Thue, J., V., Tenpierik, M., J., Grynning S., Uvslokk S. ve Gustavsen A., Vacuum Insulation Panels For Building Applications:A Review And Beyond, *Energy and Buildings*, 42, 2010, 147-172.
168. Binz, A., Moosmann, A., Steinke, G., Schonhardt, U., Fregnan, F., Simmler, H., Brunner, S., Ghazi, K., Bundi, R., Heinemann, U., Schwab, H., Cauberg, H., Tenpierik, M., Johannesson, G., Thorsell, T., Erb, M. Ve Nussbaumer, B., Vacuum Insulation in the Building Sector, Systems and Applications, Annex 39, HiPTI–High Performance Thermal Insulation of IEA/ECBCS Implementing Agreement, Report on Subtask B, 111 syf., IEA/ECBCS, 2005.
169. Bayrakçı, H., C., Yeni Nesil Isı Yalıtım Malzemesi: Vakum Yalıtım Paneli, SDÜ Teknik Bilimler Dergisi, 1, 2(2011) 1-12.
170. Mukhopadhyaya P., High Performance Vacuum Insulation Panel– Research Update From Canada, National Research Council Canada, NRCC-48705, 2006, 9-15.
171. Dünya Enerji Komitesi Türk Milli Konseyi, Dünya’ da ve Türkiye’ de Güneş Enerjisi, 2009.
172. Özdoğan, H., P., Ekolojik Binalarda Bina Kabuğunda Kullanılan Fotovoltaik Panellerin Tasarım Bağlamında İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2005.
173. Bedeloğlu, A., Fotovoltaik Etki Oluşturan Lif Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2009.
174. http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Güneş Enerjisi ve Teknolojileri. 04 Nisan 2014.

175. <http://www.cografyamiz.com/sicaklik.html/gunes-enerjisi>, Güneş Enerjisi. 04 Nisan 2014.
176. Çolak, Ş., Ç., Fotovoltaik Paneller Yardımı ile Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretiminin Maliyet Analizi ve Gelecekteki Projeksiyonu, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010.
177. Aygün, O., D., Mevcut Konut Yapılarına Fotovoltaik Panel Sistemlerin Entegre Edilmesi, İzmir Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2012.
178. Mutlu, S. ve Pınar, E., Güneş Panelleri ve Nanoteknolojinin Kullanımı.
<http://www.slideshare.net/HabipTaylan/gne-panelleri-ve-nano-teknoloji-kullanim> 04 Nisan 2014
179. <http://www.asu.com.tr/u.asp?s=122&d=76>, Güneş Pili Nedir. 04 Nisan 2014.
180. <http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/gunes/gunespv.html>, Güneş Pilleri (Fotovoltaik Piller). 04 Nisan 2014.
181. <http://www.istekgunkol.com/urunlerimiz-fotovoltaik.html>, Fotovoltaik Panel. 04 Nisan 2014.
182. <http://www.yesilekonomi.com/siemens-coller-icin-fotovoltaik-teknolojisi-gelistirecek>, Siemens Çöller için Fotovoltaik Teknolojisi Geliştirecek. 04 Nisan 2014.
183. Perlin, J., A History of Photovoltaics.
<http://www.usc.edu/org/edisonchallenge/2008/ws1/A%20History%20of%20Photovoltaics.pdf> 04 Nisan 2014
184. Çelebi., G., Bina Düşey Kabuğunda Fotovoltaik Panellerin Kullanım İlkeleri, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 17(2002) 17-33.
185. <http://www.solarpompa.net/page/2>, Tarımda Solar Pompa Uygulamaları. 04 Nisan 2014.
186. <http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/gunes-enerjisi-elektrik-uretim-,sisteminin-tasarlanmasi-ve-maliyet-hesabi/4315#ad-image-1>, Güneş Enerjisi Elektrik Üretim Sisteminin Tasarlanması ve Maliyet Hesabı. 04 Nisan 2014.
187. <http://archetcetera.blogspot.com/2013/03/building-education.html>, Archetcetera. 04 Nisan 2014.
188. <http://aiatopten.org/sites/default/files/styles/popup/public/02.02.06.jpg?itok=N3zpm1s0>, Archetcetera. 05 Nisan 2014.
189. <http://www.yeditepeenerji.com/main.php?id=2>, Güneş Pilleri. 05 Nisan 2014.

190. Jervey, B., SMIT's Amazingly Versatile and Attractive Solar Panels.
<http://magazine.good.is/articles/making-solar-sexy-smit-s-amazingly-versatile-and-attractive-solar-panels> 06 Nisan 2014
191. Killough, S., Solar PV Is Cheaper Than Gasoline.
<http://www.evworld.com/article.cfm?storyid=856> 06 Nisan 2014
192. Dirjish, M., What's The Difference Between Thin-Film And Crystalline-Silicon Solar Panels.
<http://electronicdesign.com/power-sources/what-s-difference-between-thin-film-and-crystalline-silicon-solar-panels> 06 Nisan 2014
193. http://www2.dupont.com/Photovoltaics/en_US/products_services/silicon_inks/silicon_inks.html, DuPont™ Innovalight™ Silicon Inks for Selective Emitter Solar Cells. 06 Nisan 2014.
194. Ayçam, İ., Kanan, N., Ö., Ekolojik Mimarlık Kapsamında Bina Bütünleşik Nano-Pv Malzemenin incelenmesi, V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 2009, Diyarbakır, 73-77.
195. http://web-japan.org/trends/09_sci-tech/sci090806.html, New Cells Could Herald Era of Solar Clothing and Paint. 06 Nisan 2014.
196. Silverman J., Will nano flakes revolutionize solar energy.
<http://science.howstuffworks.com/environmental/green-tech/energy-production/nano-flakes1.htm> 06 Nisan 2014
197. <http://blog.electricitybid.com/index.php/2012/07/23/solar-panel-home-windows-transparent-and-affordable/>, Solar Panel Home Windows, Transparent and Affordable. 06 Nisan 2014.
198. Çalık, A., Yapıştırıcılar ve Köşeleri Yuvarlatılmış Basamaklı Bindirme Yapıştırıcı Bağlantılarda Gerilme Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karaelmas Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 2008.
199. Gertik, A., Biyomimesis Anlayışı ve Bu Bağlamda Günümüz Kuzey Kıbrıs Mimarisi'ne Eleştirel Bir Bakış, Yüksek Lisans Tezi, Yakın Doğu Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Lefkoşa, 2012.
200. Keskin, O., Bilim ve Teknoloji Haberleri-2.
<http://www.slideshare.net/lovelyosman/bilim-ve-teknoloji-haberleri-2> 16 Mart 2014
201. http://editordave.squidoo.com/gecko_lizards, Geckos – Wall-Climbing Lizards. 09 Nisan 2014.
202. Rincon, P., Stickiness goes to the next level.
<http://www.bbc.com/news/science-environment-19875247> 11 Nisan 2014

203. <http://curiouschemeng.blogspot.com.tr/2011/08/inspired-by-geckos.html>, Inspired by: geckos. 11 Nisan 2014.
204. Rincon, P., Stickiness goes to the next level.
<http://www.bbc.com/news/science-environment-19875247> 11 Nisan 2014
205. Purde, O., Endüstri Ürünleri Tasarımında Kullanılan Çevre Dostu Plastik Malzemeler ve Plastiğin Geri Kazanımı, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Ü., Güzel Sanatlar Enstitüsü, İstanbul, 2009.
206. Dolmaz, Ö., Gündelik Hayatta Plastik Malzemenin Anlamları: Mutfak Objeleri Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009.
207. Anthony, S., Printed flexible carbon nanotubes, for cheaper electronics and wall-sized displays.
<http://www.extremetech.com/extreme/164564-printed-flexible-carbon-nanotubes-for-cheaper-electronics-and-wall-sized-displays> 11 Nisan 2014
208. <http://www.sciencedaily.com/releases/2008/06/080602090541.htm>, Nano - tech Process Produces Plastics That Are 10 Times More Stretchable. 11 Nisan 2014.
209. <http://uwaterloo.ca/institute-nanotechnology/research-waterloo-institute-nanotechnology/research-programs/nano-electronics/projects-nano-electronics>, Projects in Nano-Electronics. 11 Nisan 2014.
210. Usluer, Ö., Dendrimerik Yapılı Fluoren Türevlerinin Sentezi ve Oled Sistemlerinde Elektron Boşluğu iletim Materyali Olarak Kullanılabilirliklerinin Araştırılması
211. Umwelt Bundes Amt, Nanotechnology-Based Lighting Systems: Organic Light-Emitting Diode (OLED), Almanya, 2013.
212. <http://www.eokul-meb.com/akkor-lamba-nedir-ozellikleri-45012/>. 13 Nisan 2014.
213. <http://www.tubitak.gov.tr/tr/haber/atik-floresanlar-yeniden-ekonomiye-kazandiriliyor>. 13 Nisan 2014.
214. <http://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=26700.php>, Nanotechnology in Construction. 14 Nisan 2014.
215. http://enpub.fulton.asu.edu/cement/cbm_CI/CBMI_Separate_Articles/Article%2015.pdf, Concrete Construction Industry. 14 Nisan 2014.
216. http://www.zkg.de/en/artikel/bildpopup_en_1368522.html?image=0, Gärtnerplatz-Brücke. 14 Nisan 2014.
217. <http://www.rpbw.com/project/68/california-academy-of-sciences/>, California Academy of Sciences. 14 Nisan 2014.

218. http://www.mmfex.com/wp-content/uploads/2012/06/MMFX_Product_ApplicationsMay2011.pdf, MMFX Today' s Steel Standard. 14 Nisan 2014.
219. <https://www.aisc.org/newsdetail.aspx?id=19540>, American Institute of Steel Construction. 14 Nisan 2014.
220. <http://www.escalabuilding.com/building.htm>, Architecture of Escala. 14 Nisan 2014.
221. <http://insidemercuryeng.com/2012/07/03/queen-elizabeth-ii-inaugurates-enniskillen-hospital-built-by-mercury-engineering-in-northern-ireland/>, Mercury Engineering. 14 Nisan 2014.
222. <http://www.e-architect.co.uk/ireland/enniskillen-hospital>, South West Acute Hospital Enniskillen, 14 Nisan 2014.
223. http://www.projecta01.com/html/A01/index_html.htm, Residence Freundorf. 14 Nisan 2014.
224. <http://www.archello.com/en/project/villa-freundorf>, Villa Freundorf. 14 Nisan 2014.
225. http://www.sto.co.uk/99103_EN-2010-1409_Underhill_House.htm, Underhill House 14 Nisan 2014.
226. <http://britishhomesawards.co.uk/2011/underhill-house/>, Underhill House. 14 Nisan 2014.
227. http://www.fosroc.com/Constructive_Solutions/Underhill_House.aspx, Case Study Underhill House. 14 Nisan 2014.
228. <http://www.italcementigroup.com/NR/rdonlyres/B74F734F-B276-4F5F-8BDE-C9BC964A67A9/0/Preservingaesthetics.pdf>, The Active Photocatalytic Principle. 16 Nisan 2014.
229. Nicholson, C., Smog-eating Cement.
http://www.core77.com/blog/materials/pollution-killing_material_smog-eating_cement__25281.asp 16 Nisan 2014.
230. Millar, M., Edible Edifice: Building the Offices of Tomorrow.
<http://www.bbc.com/news/business-20965207> 16 Nisan 2014.
231. <http://www.italcementigroup.com/ENG/Research+and+Innovation/Innovative+Products/TX+Active/>, TX Active. 16 Nisan 2014.
232. <http://www.richardmeier.com/www/#/projects/architecture/visual/1/177/0/>. 16 Nisan 2014.
233. <http://www.pilkington.com/products/bp/bybenefit/selfcleaning/activ/how-it-works/default.htm>, How Self-Cleaning Glass Work. 16 Nisan 2014.

234. <http://www.brandigg.de/unternehmen/Emscher-Lippe-Energie-GmbH>, Lippe Energie 16 Nisan 2014.
235. <http://www.architekten-online.com/projekte/akt-am-kaisers-turm-heilbronn.html?start=3&target=gewerbe>, Müller Architekten. 16 Nisan 2014.
236. <http://cms.pilkington.com/projects/Germany/DisplayProject.aspx?id=4481>, Am Kaiser' s Turm. 16 Nisan 2014.
237. <http://www.dezeen.com/2010/12/24/shift-by-apollo-architects-associates/>, Shift by Apollo Architects & Associates. 16 Nisan 2014.
238. <http://www.pbp-eger.de/leitbildorientierte-gebaeudeplanung-projekte-und-objekte.php>, Eger PBP. 16 Nisan 2014.
239. http://www.alcoa.com/bcs/aap_eastman/ecoclean/en/about_ecoclean.asp, About Ecoclean 16 Nisan 2014.
240. <http://www.newlondonarchitecture.org/project.php?id=399>, Sir John Lyon House. 16 Nisan 2014.
241. <http://www.architravel.com/architravel/building/sir-john-lyon-house/>, Sir John Lyon House. 16 Nisan 2014.
242. <http://www.mcmullensystems.co.uk/portfoliosirjohn.html>, Sir John Lyon House. 16 Nisan 2014.
243. http://www.asce.org/uploadedFiles/News/CE_Magazine/0110Feature.pdf, Superspan-Dallas Cowboy's Stadium. 16 Nisan 2014.
244. <http://architecture.about.com/od/greatbuildings/ig/Stadium-and-Arena-Pictures/Cowboys-Stadium.htm>, Dallas Cowboy's Stadium in Arlington. 17 Nisan 2014.
245. <http://www.enduroshield.com/project/enduroshield-applied-to-armidale-courthouse.aspx>, Enduroshield Application. 17 Nisan 2014.
246. <http://www.enduroshield.com/project/forest-lodge-eco-house-sydney.aspx>, Eco House Sydney. 17 Nisan 2014.
247. <http://www.designerconstructions.com/?portfolios=forest-lodge-eco-house>, Eco House Sydney. 17 Nisan 2014.
248. <http://www.enduroshield.com/project/one-world-trade-center,-new-york.aspx>, One World Trade Center New York. 17 Nisan 2014.
249. <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?p=104372343>, One World Trade Center. 17 Nisan 2014.

250. <http://www.archdaily.com/20105/church-of-2000-richard-meier/>, Jubilee Church. 17 Nisan 2014.
251. <http://www.richardmeier.com/www/#/projects/architecture/visual/3/132/0/>, Jubilee Church. 17 Nisan 2014.
252. http://www.irisfmg.com/progetti_dettaglio.php?l=&p=&n=progetti_cura&t=8&id=338, Centro Medico Y De Bienestar Milenium. 17 Nisan 2014.
253. <http://www.active-ceramic.com/case-history/7/medical-center-milenium-madrid/>, Active Clean Air & Antibacterial Ceramic. 17 Nisan 2014.
254. <http://www.active-ceramic.com/case-history/8/vecchia-scuola-bolognese-cooking-school/>, Active Clean Air & Antibacterial Ceramic. 17 Nisan 2014.
255. <http://pavemaintenance.wikispaces.com/TiO2+Photocatalys++Shannon>, TiO₂ Photocatalys. 17 Nisan 2014.
256. <http://www.compassdevelopmentservices.com/projects/westin-gaslamp-guestroom-renovation-san-diego-ca/>, Westin Gaslamp. 17 Nisan 2014.
257. <http://kalwall.com/rcntproj/52.htm>, Kalwall. 17 Nisan 2014.
258. <http://www.bozemanlibrary.org/>, Bozeman Kütüphanesi. 17 Nisan 2014.
259. <http://kalwall.com/rcntproj/88.htm>, Kalwall. 17 Nisan 2014.
260. <http://www.msarchitectsllc.com/portfolio/portfolio-rahway.php>, Hamilton Stage Gösteri Merkezi. 17 Nisan 2014.
261. <http://www.kalwall.com/rcntproj/73.htm>, Metea Valley High School. 17 Nisan 2014.
262. <http://www.archdaily.com/61986/metea-valley-high-school-dlr-group/>, Metea Valley High School-DLR Group. 17 Nisan 2014.
263. <http://www.kalwall.com/rcntproj/83.htm>, Old Omaha High School. 17 Nisan 2014.
264. http://www.lmcc.com/concrete_news/1304/FGS-Omaha-North-High-School-Profile.asp, Old Omaha High School. 17 Nisan 2014.
265. http://www.va-q-tec.com/en/Edinburgh_Roof-insulation-355,20211.html, Rosslyn Chapel. 17 Nisan 2014.
266. <http://www.scotland.org.uk/tours/1-day-rosslyn-chapel-and-scottish-borders-coach-tour-dep-edinburgh-with-gray-line-tours>, Rosslyn Chapel. 17 Nisan 2014.
267. <http://www.va-q-tec.com/en/Passive-house-Munich-exterior-insulation-low-energy-building-857,,20072.html>, Apartment and Office Building in Munich. 17 Nisan 2014.

268. http://www.vip-bau.de/pdf/demoobjekte/ultraniedrigenergiehaus_e.pdf, Report From Construction Site. 17 Nisan 2014.
269. <http://www.compassdevelopmentsservices.com/projects/westin-gaslamp-guestroom-renovation-san-diego-ca/>, Westin Gaslamp. 17 Nisan 2014.
270. <http://www.hotelplanner.com/Hotels/122456/Reservations-The-Westin-Gaslamp-Quarter-San-Diego-San-Diego-910-Broadway-Circle-92101#navPanel>, Westin Gaslamp. 17 Nisan 2014.
271. http://www.aspenaerogels.com.tr/markets/c_house.html, Aspen Aerogels. 17 Nisan 2014.
272. http://www.aspenaerogels.com.tr/markets/Case_Study_Barrel_Vault_Ceiling_web.pdf, Aspen Aerogels. 17 Nisan 2014.
273. <http://www.iwm.org.uk/visits/iwm-london/about>, War Museum. 17 Nisan 2014.
274. <http://archzai.com/projekte/hoehenweg/haus-nach-dem-umbau/>. 17 Nisan 2014.
275. <http://www.optim-r.co.uk/about-optim-r.aspx>, Optim-R. 17 Nisan 2014.
276. <http://www.kingspan.com/media/news-and-features/nf2013/23-09-2013.aspx>, Next Generation Insulation for Exclusive Development. 17 Nisan 2014.
277. http://www.mlive.com/business/west-michigan/index.ssf/2010/05/amway_sponsors_us_pavilion_at.html, U.S. Pavilion at 2010 Expo in Shanghai. 17 Nisan 2014.
278. http://www2.dupont.com/Apollo/en_HK/products/silicon-based-thin-film-pv-module-offerings.html. 17 Nisan 2014.
279. <http://www.gehrlicher.com/in/home/press/details/article/gehrlicher-and-masdar-pv-have-launched-a-pilot-project-for-a-pv-facade-installation-1/>, Silicon-based Thin Film PV Module Offerings. 17 Nisan 2014.
280. <http://www.renewableenergyfocus.com/view/12126/masdar-pv-thin-film-panels-in-solar-building-facade/>, Masdar PV Thin-film Panels in Solar Building Facade. 17 Nisan 2014.
281. <http://www.architravel.com/architravel/building/berlin-central-station/>, Berlin Central Station. 17 Nisan 2014.
282. <http://www.glassonweb.com/articles/article/645/>, Higher Efficiency in Solar Technology. 17 Nisan 2014.
283. http://www.mlive.com/business/west-michigan/index.ssf/2010/05/amway_sponsors_us_pavilion_at.html, U.S. Pavilion at 2010 Expo in Shanghai 17 Nisan 2014.

284. http://www2.dupont.com/Apollo/en_HK/products/silicon-based-thin-film-pv-module-offerings.html, Silicon-based Thin Film. 17 Nisan 2014.

6. EKLER


Ek Tablo 1. Yapı analiz tablolarının örneği

YAPIYA AİT BİLGİLER	Yapının Adı :	
	Yapının Mimarı :	
	Yapının İşlevi :	
	Yapım Yeri :	
	Yapım Yılı :	
	Kullanım Alanı :	
KULLANILAN NANOMALZEME ve UYGULAMA BİLGİLERİ	Kullanılan Malzeme :	
	Kullanım Yeri :	
	Kullanım Amacı :	
	Kullanım Biçimi :	
	Özellikleri :	




Ek Tablo 1. 1. Gärtnerplatzbrücke Köprüsü analiz tablosu[214, 215, 216].

YAPIYA AİT BİLGİLER	Yapının Adı : Gärtnerplatzbrücke Köprüsü	
	Yapının Mimarı : -	
	Yapının İşlevi : Ulaşım/Köprü	
	Yapım Yeri : Kessel/Almanya	
	Yapım Yılı : 2007	
	Kullanım Alanı : Strüktür uygulaması	
KULLANILAN NANOMALZEME ve UYGULAMA BİLGİLERİ	Kullanılan malzeme : SiO ₂ Nanoparçacık/0-D	
	Kullanım Yeri : Strüktür Sistemi	
	Kullanım Amacı : Dayanım ve işlenebilirlik artışı	
	Kullanım Biçimi : Beton nanokompozit	
	Özellikleri : Nanoboyutlu yapısı ile beton malzeme içerisinde boşlukları doldurabilmesi	
	<p>Gärtnerplatzbrücke Köprüsü, nanoteknoloji ile güçlendirilmiş beton malzemenin kullanıldığı ilk büyük ölçekli örneklerden bir tanesi olarak kabul edilmektedir. 140 m uzunluğunda ve 5 m genişliğinde olan ve yalnızca yayalar tarafından kullanılan köprü en geniş açıklığı 36 m olacak şekilde inşa edilmiştir. Köprünün strüktür sisteminde çelik ve beton malzeme bir arada kullanılmıştır. Strüktür sisteminde kullanılan beton malzemeye nanoboyutlu çimento ve SiO₂ nanoparçacıklar katılarak üstün dayanım, işlenebilirlik ve sağlamlık kazandırılmıştır.</p>	
		
<p>Çimento malzemesinin tanecek boyutları nanoboyutlara getirilerek ve/veya beton malzeme karışımına SiO₂ nanoparçacıklar katılarak beton malzemenin dayanım, sağlamlık ve işlenebilirlik gibi özellikleri istenilen şekilde artırılabilir.</p>		




Ek Tablo 1. 2. Kaliforniya Bilim Akademisi analiz tablosu[217, 218, 219].

YAPIYA AİT BİLGİLER	Yapının Adı : Kaliforniya Bilim Akademisi	
	Yapının Mimarı : Renzo Piano BW	
	Yapının İşlevi : Bilim merkezi	
	Yapım Yeri : San Francisco/ABD	
	Yapım Yılı : 2008	
KULLANILAN NANOMALZEME ve UYGULAMA BİLGİLERİ	Kullanım Alanı : Strüktür uygulaması	
	Kullanılan malzeme : Çelik/2-D	
	Kullanım Yeri : Strüktür sistemi	
	Kullanım Amacı : Taşıyıcı eleman	
	Kullanım Biçimi : Çelik donatı	
	Özellikleri : Nanoboyutta üretim ve müdahale ile yüksek dayanım ve kırılma direnci	
	ABD, San Francisco' da yer alan ve 1989 yılında gerçekleşen deprem sonrası kullanılamaz hale gelen Bilim Akademisi yapısı tamamen yıkılarak yerine sürdürülebilir özelliklere sahip yeni bir yapı inşa edilmiştir. Oldukça büyük bir park içerisinde yer alan yapının çatısı zeminden 10 m yükseltmiştir ve parkın bir parçası olarak algılanması amaçlanmıştır. Şiddetli depremlerin meydana geldiği bir alan üzerinde inşa edilecek olması nedeniyle yapımında beton malzeme içerisinde üstün özelliklere sahip çelik donatılar kullanılmıştır.	
		
Nanoteknolojinin getirdiği imkân ve yenilikler ile üretilen yeni nesil strüktür malzemeleri üstün fiziksel ve mekanik özelliklere sahiptir. Bu nedenle geleneksel malzemeler ile gerçekleştirilemeyen uygulamalar nanomalzeme kullanımı ile mümkün olmaktadır. Nanoteknolojinin çelik malzeme kullanımına yönelik en yaygın uygulaması, nanoboyutlu levhalar kullanılarak oluşturulan çelik donatıları üretilmesidir. Üretilen çelik donatılar, nanoyapıları ile yüksek dayanım değeri göstermekte ve strüktür sistemlerinde geniş kullanım potansiyeli sunmaktadırlar.		

Ek Tablo 1. 3. Escala Condominiums analiz tablosu[218, 220].

YAPIYA AİT BİLGİLER	Yapının Adı : Escala Condominiums	
	Yapının Mimarı : Mulvanny G2	
	Yapının İşlevi : Konut	
	Yapım Yeri : Seattle/ABD	
	Yapım Yılı : 2009	
KULLANILAN NANOMALZEME ve UYGULAMA BİLGİLERİ	Kullanım Alanı : Strüktür uygulaması	
	Kullanılan malzeme : Çelik/2-D	
	Kullanım Yeri : Strüktür sistemi	
	Kullanım Amacı : Taşıyıcı eleman	
	Kullanım Biçimi : Çelik donatı	
	Özellikleri : Nanoboyutta üretim ve müdahale ile yüksek dayanım ve kırılma direnci	
	<p>ABD, Seattle’ de yer alan ve 2009 yılında inşası tamamlanan 30 katlı yapı, 85 ile 420 m² arasında değişen alana sahip dairelerden ve çatısında yer alan egzersiz odası, spa, tiyatro benzeri ortak alanlardan oluşmaktadır. Modern ve geleneksel mimariyi barındıran bir tasarım yaklaşımı ile oluşturulmuştur ve en önemli özelliği her dairenin plan ve iç tasarımının kendine özgü olmasıdır. Yapının taşıyıcı sisteminde beton malzeme içerisinde çekme dayanımına karşı nanoçelik donatı çubukları kullanılmıştır.</p>	
		
<p>Nanoteknolojinin getirdiği imkân ve yenilikler ile üretilen yeni nesil strüktür malzemeleri üstün fiziksel ve mekanik özelliklere sahiptir. Bu nedenle geleneksel malzemeler ile gerçekleştirilemeyen uygulamalar nanomalzeme kullanımı ile mümkün olmaktadır. Nanoteknolojinin çelik malzeme kullanımına yönelik en yaygın uygulaması, nanoboyutlu levhalar kullanılarak oluşturulan çelik donatıları üretilmesidir. Üretilen çelik donatılar, nanoyapıları ile yüksek dayanım değeri göstermekte ve strüktür sistemlerinde geniş kullanım potansiyeli sunmaktadırlar.</p>		

Ek Tablo 1. 4. Vizcayne Condo Miami analiz tablosu[218].

YAPIYA AİT BİLGİLER	Yapının Adı : Vizcayne Condo Miami	
	Yapının Mimarı : Fullerton Diaz Architects	
	Yapının İşlevi : Konut	
	Yapım Yeri : Miami/ABD	
	Yapım Yılı : 2009	
KULLANILAN NANOMALZEME ve UYGULAMA BİLGİLERİ	Kullanım Alanı : Strüktür uygulaması	<p>ABD, Miami' de yer alan ve 2009 yılında inşası tamamlanan 49 katlı ikiz kulelere sahip yapı, 68 ile 190 m² arasında değişen alana sahip dairelerden ve egzersiz odası, restoran, tiyatro benzeri ortak alanlardan oluşmaktadır. Modern ve geleneksel mimariyi barındıran bir tasarım yaklaşımı ile oluşturulmuştur. Oldukça yüksek katlı olan yapının taşıyıcı sisteminde beton malzeme içerisinde çekme dayanımına karşı nanoçelik donatı çubukları kullanılmıştır.</p>
	Kullanılan malzeme : Çelik/2-D	
	Kullanım Yeri : Strüktür sistemi	
	Kullanım Amacı : Taşıyıcı eleman	
	Kullanım Biçimi : Çelik donatı	
	Özellikleri : Nanoboyutta üretim ve müdahale ile yüksek dayanım ve kırılma direnci	
KULLANILAN NANOMALZEME ve UYGULAMA BİLGİLERİ		
	<p>Nanoteknolojinin getirdiği imkân ve yenilikler ile üretilen yeni nesil strüktür malzemeleri üstün fiziksel ve mekanik özelliklere sahiptir. Bu nedenle geleneksel malzemeler ile gerçekleştirilemeyen uygulamalar nanomalzeme kullanımı ile mümkün olmaktadır. Nanoteknolojinin çelik malzeme kullanımına yönelik en yaygın uygulaması, nanoboyutlu levhalar kullanılarak oluşturulan çelik donatıları üretilmesidir. Üretilen çelik donatılar, nanoyapıları ile yüksek dayanım değeri göstermekte ve strüktür sistemlerinde geniş kullanım potansiyeli sunmaktadırlar.</p>	

Ek Tablo 1. 5. Acute Hastanesi analiz tablosu[221, 222].

YAPIYA AİT BİLGİLER	Yapının Adı : Acute Hastanesi	
	Yapının Mimarı : Stantec Anshen & Allen	
	Yapının İşlevi : Sağlık Yapısı	
	Yapım Yeri : Enniskillen/K. İrlanda	
	Yapım Yılı : 2013	
	Kullanım Alanı : Kaplama uygulaması	
	Kullanılan malzeme : Kendi kendini temizleyen nanokaplama/2-D	
	Kullanım Yeri : Cephe	
	Kullanım Amacı : Kendi kendini temizleme	
	Kullanım Biçimi : Lotus etkili boya	
Özellikleri : Sahip oldukları nano yüzey yapısı ile kendi kendini temizleme özelliği		
<p>65.000 m² alana sahip Acute hastanesi 3 aks üzerine yerleştirilen yapı blokları biçiminde inşa edilmiştir. 315 yataklı hastane sürdürülebilir tasarım uygulamalarını barındırmaktadır. Hastane cephelerinde lotus etkisiyle kendi kendini temizleme özelliğine sahip beyaz renkli boya kullanılarak yapı dış kabuğunun uzun süre temiz kalması sağlanmış, estetik ve ekonomik açıdan etkili bir çözüm sunulmuştur.</p>		
		
<p>Uygulanan lotus etkili nanokaplama ile yapı cephelerine, nanoboyutlarda pürüzlülük ve su sevmeyen yapı kazandırılmıştır. Bu sayede su damlacıkları yüzeyi ıslatmadan, kirleri bünyesine katarak yüzeyden uzaklaşmaktadır ve sistem uzun süre temiz kalabilmektedir.</p>		




Ek Tablo 1. 6. Freundorf Villası analiz tablosu[223, 224].

YAPIYA AİT BİLGİLER	Yapının Adı : Freundorf Villası	
	Yapının Mimarı : Project A01	
	Yapının İşlevi : Konut	
	Yapım Yeri : Viyana/Avusturya	
	Yapım Yılı : 2006	
KULLANILAN NANOMALZEME ve UYGULAMA BİLGİLERİ	Kullanım Alanı : Kaplama uygulaması	
	Kullanılan malzeme : Kendi kendini temizleyen nanokaplama/2-D	
	Kullanım Yeri : Cephe	
	Kullanım Amacı : Kendi kendini temizleme	
	Kullanım Biçimi : Boya	
	Özellikleri : Sahip oldukları nano yüzey yapısı ile kendi kendini temizleme özelliği	
Yapı, geniş bir vadiye bakan yamaçta yer almaktadır. Zemin kat, yamaç eğimine uygun konumlandırılmıştır ve yapının üst katında çelik strüktür kullanılmıştır. Farklı kotlarda yer alan teras ve balkonlar ile bahçeye farklı seviyelerden geçişi mümkün kılan yapının konumlandığı zirvede oldukça beyaz bir görüntüye sahip olması amaçlanmış ve buna yönelik tasarım kararları verilmiştir. Bu uygulamalardan en önemlisi ise lotus etkisiyle kendi kendini temizleme özelliğine sahip boya kullanılmasıdır.		
		
Uygulanan lotus etkili nanokaplama ile yapı cephelerine, nanoboyutlarda pürüzlülük ve su sevmeyen yapı kazandırılmıştır. Bu sayede su damlacıkları yüzeyi ıslatmadan, kirleri bünyesine katarak yüzeyden uzaklaşmaktadır ve sistem uzun süre temiz kalabilmektedir.		


Ek Tablo 1. 7. Underhill Evi analiz tablosu[225, 226, 227].

YAPIYA AİT BİLGİLER	Yapının Adı : Underhill Evi	
	Yapının Mimarı : Seymour-Smith Architect	
	Yapının İşlevi : Konut	
	Yapım Yeri : Cotswolds/İngiltere	
	Yapım Yılı : 2009	
KULLANILAN NANOMALZEME ve UYGULAMA BİLGİLERİ	Kullanım Alanı : Kaplama uygulaması	
	Kullanılan malzeme : Kendi kendini temizleyen nanokaplama/2-D	
	Kullanım Yeri : Cephe	
	Kullanım Amacı : Kendi kendini temizleme	
	Kullanım Biçimi : Boya	
	Özellikleri : Sahip oldukları nano yüzey yapısı ile kendi kendini temizleme özelliği	
<p>Underhill evi, yüksek ısı yalıtım değeri ve ısı kazanımı sağlaması, yenilenebilir enerji kullanımı ve doğal havalandırma gibi sürdürülebilir uygulamalar ile bulunduğu ülkede pasif ev sertifikası almaya hak kazanmış en erken örneklerden bir tanesidir. 453 m² alana sahip, L şeklinde inşa edilen yapı duvarları prefabrike beton paneller kullanılarak inşa edilmiştir. Beton yüzeylere lotus etkisiyle kendi kendini temizleme özelliğine sahip boya uygulanmıştır.</p>		
		
<p>Uygulanan lotus etkili nanokaplama ile yapı cephelerine, nanoboyutlarda pürüzlülük ve su sevmeyen yapı kazandırılmıştır. Bu yolla su damlacıkları yüzeyi ıslatmadan, kirleri bünyesine katarak yüzeyden uzaklaşmaktadır ve sistem uzun süre temiz kalabilmektedir.</p>		

Ek Tablo 1. 8. Air France Yönetim Binası analiz tablosu[228, 229, 230].

YAPIYA AİT BİLGİLER	Yapının Adı : Air France Yönetim Binası	
	Yapının Mimarı : Denis Vallode & Jean Pistre	
	Yapının İşlevi : Yönetim/Ofis	
	Yapım Yeri : Paris/Fransa	
	Yapım Yılı : 2006	
KULLANILAN NANOMALZEME ve UYGULAMA BİLGİLERİ	Kullanım Alanı : Kaplama uygulaması	<p>Charles de Gaulle Uluslararası Havalimanı içinde yer alan Air France Yönetim binası, bünyesine doğrudan fotokatalitik etkili TiO_2 nanoparçacıklar katılarak üretilen beton malzeme kullanılarak inşa edilmiştir. Bu yolla yapı sahip olduğu beyaz rengi uzun süre koruyabilmekte ve temiz kalmaktadır. Fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleme özelliğine sahip yüzeyler ile temizlik ve bakım masrafları önemli oranda azaltılabilmektedir.</p>
	Kullanılan malzeme : TiO_2 nanoparçacık/0-D	
	Kullanım Yeri : Cephe/Beton malzeme	
	Kullanım Amacı : Kendi kendini temizleme	
	Kullanım Biçimi : Beton nanokompozit	
	Özellikleri : Sahip oldukları fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleme özelliği	
		
Fotokatalitik etkili nanoparçacıklar kullanılarak kendi kendini temizleme özelliği kazandırılan yüzeyler üzerlerine yapışan kirleri parçalayarak, yağmur suyu yardımıyla yüzeyden uzaklaştırabilmektedir. Bu özelliğe sahip nanokaplamalar ve/veya nanokompozitler işlevlerini yerine getirebilmek için doğal veya yapay UV kaynağı, oksijen(O_2) ve neme ihtiyaç duyarlar.		

Ek Tablo 1. 9. Italcementi Ar-Ge Merkezi analiz tablosu[231, 232].

YAPIYA AİT BİLGİLER	Yapının Adı : Italcementi AR-GE Merkezi	
	Yapının Mimarı : Richard Meier & Partners	
	Yapının İşlevi : Yönetim/Ofis	
	Yapım Yeri : Bergamo/ İtalya	
	Yapım Yılı : 2012	
KULLANILAN NANOMALZEME ve UYGULAMA BİLGİLERİ	Kullanım Alanı : Kaplama uygulaması	<p>İtalya, Bergamo’ da yer alan ve 2005-2012 yılları arasında inşa edilen İtalcementi Yönetim/ofis ve araştırma merkezi V formunda bir üst örtünün altında merkez bir avlu ve avlunun iki yanında yer alan bölümlerden oluşmaktadır. Yapının inşasında bünyesine fotokatalitik etki TiO₂ nanoparçacıklar katılarak kendi kendini temizleme ve havayı temizleme özelliği kazandırılmış beton malzeme kullanılmıştır. Bu yolla yapı uzun süre temiz kalmakta, bakım masrafları azaltmakta ve bulunduğu çevrenin havasını belli bir oranda temizlemektedir.</p>
	Kullanılan malzeme : TiO ₂ nanoparçacık/0-D	
	Kullanım Yeri : Cephe/Beton malzeme	
	Kullanım Amacı : Kendi kendini temizleme	
	Kullanım Biçimi : Beton nanokompozit	
	Özellikleri : Sahip oldukları fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleme özelliği	
		
Fotokatalitik etkili nanoparçacıklar kullanılarak kendi kendini temizleme özelliği kazandırılan yüzeyler üzerlerine yapışan kirleri parçalayarak, yağmur suyu yardımıyla yüzeyden uzaklaştırabilmektedir. Bu özelliğe sahip nanokaplamalar ve/veya nanokompozitler işlevlerini yerine getirebilmek için doğal veya yapay UV kaynağı, oksijen(O ₂) ve neme ihtiyaç duyarlar.		




Ek Tablo 1. 10. ELE Genel Merkez Binası yapı analiz tablosu[233, 234].

YAPIYA AİT BİLGİLER	Yapının Adı : ELE Genel Merkez Binası	
	Yapının Mimarı : Mark Spangenberg	
	Yapının İşlevi : Yönetim/Ofis	
	Yapım Yeri : Gelsenkirchen/Almanya	
	Yapım Yılı : 2007	
KULLANILAN NANOMALZEME ve UYGULAMA BİLGİLERİ	Kullanım Alanı : Kaplama uygulaması	
	Kullanılan malzeme : Kendi kendini temizleyen nanokaplama/2-D	
	Kullanım Yeri : Cephe/Cam Yüzey	
	Kullanım Amacı : Kendi Kendini Temizleme	
	Kullanım Biçimi : İnce film	
	Özellikleri : Sahip oldukları fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleme özelliği	
<p>Bölgesel bir elektrik üreticisi olan <i>Emscher Lippe Energie</i> şirketinin yönetim ve ofis binası olarak inşa edilen yapı, oldukça uzun bir cam yüzeye sahiptir. Yapı cephelerinde, fotokatalitik etkili nanokaplama uygulanarak kendi kendini temizleme özelliği kazandırılan cam malzeme kullanılmıştır. Bu yolla temizlik ve bakım masrafları önemli oranda azaltılabilmektedir. Kullanılan cam malzemeler bu özelliklerinin yanında etkili bir ısı ve ses yalıtımı da sağlayacak niteliktedir.</p>		
<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>		
<p>Fotokatalitik etkili nanokaplama kullanılarak kendi kendini temizleme özelliği kazandırılan yüzeyler üzerlerine yapışan kirleri parçalayarak, yağmur suyu yardımıyla yüzeyden uzaklaştırabilmektedir. Bu özelliğe sahip nanokaplamalar ve/veya nanokompozitler işlevlerini yerine getirebilmek için doğal veya yapay UV kaynağı, oksijen(O₂) ve neme ihtiyaç duyarlar.</p>		

Ek Tablo 1. 11. Am Kaiser' s Turm analiz tablosu[235, 236].

YAPIYA AİT BİLGİLER	Yapının Adı : Am Kaiser' s Turm	
	Yapının Mimarı : Müller Architect	
	Yapının İşlevi : Ticaret	
	Yapım Yeri : Heilbronn/Almanya	
	Yapım Yılı : -(2006)	
KULLANILAN NANOMALZEME ve UYGULAMA BİLGİLERİ	Kullanım Alanı : Kaplama uygulaması	
	Kullanılan malzeme : Kendi kendini temizleyen nanokaplama/2-D	
	Kullanım Yeri : Cephe/Cam Yüzey	
	Kullanım Amacı : Kendi kendini temizleme	
	Kullanım Biçimi : İnce film	
	Özellikleri : Sahip oldukları fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleme özelliği	
<p>Almanya, Heilbronn' da bulunan eski bir fabrika binası kent genelinde gerçekleştirilen dönüşüm çalışmaları kapsamında yenilenmiş ve ticaret merkezi olarak yeniden tasarlanmıştır. Yapının restoran olarak kullanılan cam kulesinde fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleme özelliğine sahip ve güneş korunumu sağlayan cam paneller kullanılmıştır. Bu yolla cam yüzeylerin uzun süre temiz kalması ve güneşin iç mekân kullanımını olumsuz etkilemesi önemli oranda engellenmiştir.</p>		
		
<p>Fotokatalitik etkili nanokaplama kullanılarak kendi kendini temizleme özelliği kazandırılan yüzeyler üzerlerine yapışan kirleri parçalayarak, yağmur suyu yardımıyla yüzeyden uzaklaştırabilmektedir. Bu özelliğe sahip nanokaplamalar ve/veya nanokompozitler işlevlerini yerine getirebilmek için doğal veya yapay UV kaynağı, oksijen(O₂) ve neme ihtiyaç duyarlar.</p>		




Ek Tablo 1. 12. Kayar Ev(Shift House) analiz tablosu[237].

YAPIYA AİT BİLGİLER	Yapının Adı : Kayar Ev(Shift House)	
	Yapının Mimarı : Apollo Architects	
	Yapının İşlevi : Konut	
	Yapım Yeri : Tokyo/Japonya	
	Yapım Yılı : 2010	
KULLANILAN NANOMALZEME ve UYGULAMA BİLGİLERİ	Kullanım Alanı : Kaplama uygulaması	<p>Japonya, Tokyo’ da yer alan 2 katlı yapı, 257 m² alan üzerine inşa edilmiştir. 100 m² zemin kat ve 80 m² 1. kata sahip yapının dış ortama bakan penceresi bulunmamaktadır, yapı tamamıyla iç mekânda oluşturulan iç bahçeye açılmaktadır. Söz konusu yapının dış cephelerinde ve iç mekânda fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleme özelliğine sahip nanoteknolojik boya kullanılmıştır.</p>
	Kullanılan malzeme : Kendi kendini temizleyen nanokaplama/2-D	
	Kullanım Yeri : Cephe/Beton yüzey	
	Kullanım Amacı : Kendi kendini temizleme	
	Kullanım Biçimi : Boya	
	Özellikleri : Sahip oldukları fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleme özelliği	
		
		<p>Fotokatalitik etkili nanokaplama kullanılarak kendi kendini temizleme özelliği kazandırılan yüzeyler üzerlerine yapışan kirleri parçalayarak, yağmur suyu yardımıyla yüzeyden uzaklaştırabilmektedir. Bu özelliğe sahip nanokaplamalar ve/veya nanokompozitler işlevlerini yerine getirebilmek için doğal veya yapay UV kaynağı, oksijen(O₂) ve neme ihtiyaç duyarlar.</p>

Ek Tablo 1. 13. NBV Ofis Binası analiz tablosu[238, 239].

YAPIYA AİT BİLGİLER	Yapının Adı : NBV Ofis Binası	
	Yapının Mimarı : PBP - Eger	
	Yapının İşlevi : Ticaret ve Ofis	
	Yapım Yeri : Heilbronn/Almanya	
	Yapım Yılı : 2013	
KULLANILAN NANOMALZEME ve UYGULAMA BİLGİLERİ	Kullanım Alanı : Kaplama uygulaması	
	Kullanılan malzeme : Kendi kendini temizleyen nanokaplama/2-D	
	Kullanım Yeri : Cephe/Alüminyum yüzey	
	Kullanım Amacı : Kendi kendini temizleme	
	Kullanım Biçimi : ince film	
	Özellikleri : Sahip oldukları fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleme özelliği	
Yeşil çatıya ve kademeli bir strüktür kurgusuna sahip 4 katlı yapının cephelerinde fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleme özelliğine sahip ince film nanokaplama uygulanmış alüminyum kompozit paneller kullanılmıştır. Bu yolla yapı cephelerinde kullanılan beyaz renkli alüminyum paneller temiz görünümle uzun süre devam ettirebilmektedir.		
		
Fotokatalitik etkili nanokaplama kullanılarak kendi kendini temizleme özelliği kazandırılan yüzeyler üzerlerine yapışan kirleri parçalayarak, yağmur suyu yardımıyla yüzeyden uzaklaştırabilmektedir. Bu özelliğe sahip nanokaplamalar ve/veya nanokompozitler işlevlerini yerine getirebilmek için doğal veya yapay UV kaynağı, oksijen(O ₂) ve neme ihtiyaç duyarlar.		

Ek Tablo 1. 14. Sir John Lyon Evi analiz tablosu[240, 241, 242].

YAPIYA AİT BİLGİLER	Yapının Adı : Sir John Lyon Evi	
	Yapının Mimarı : Sidell Gibson Architect	
	Yapının İşlevi : Konut	
	Yapım Yeri : Londra/İngiltere	
	Yapım Yılı : 2008	
KULLANILAN NANOMALZEME ve UYGULAMA BİLGİLERİ	Kullanım Alanı : Kaplama uygulaması	
	Kullanılan malzeme : Kendi kendini temizleyen nanokaplama/2-D	
	Kullanım Yeri : Cephe/Seramik yüzey	
	Kullanım Amacı : Kendi kendini temizleme	
	Kullanım Biçimi : İnce film	
	Özellikleri : Sahip oldukları fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleme özelliği	
<p>İngiltere, Londra’ da bulunan Sir John Lyon Evi 2008 yılında tamamlanmıştır. Nehir kıyısında yer alan yapının cephelerinde kullanılan seramik malzeme yüzeylerine ince film biçiminde fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleme özelliğine sahip nanokaplama uygulanmıştır. Bu yolla yapı cephelerinde kullanılan seramik malzeme yüzeyleri temiz görünümlerini uzun süre devam ettirebilmektedir, temizlik ve bakım masrafları önemli oranda azaltılmaktadır.</p>		
 		
<p>Fotokatalitik etkili nanokaplama kullanılarak kendi kendini temizleme özelliği kazandırılan yüzeyler üzerlerine yapışan kirleri parçalayarak, yağmur suyu yardımıyla yüzeyden uzaklaştırabilmektedir. Bu özelliğe sahip nanokaplamalar ve/veya nanokompozitler işlevlerini yerine getirebilmek için doğal veya yapay UV kaynağı, oksijen(O₂) ve neme ihtiyaç duyarlar.</p>		

Ek Tablo 1. 15. Dallas Kovboyları Stadyumu analiz tablosu[243, 244].

YAPIYA AİT BİLGİLER	Yapının Adı : Dallas Cowboy's Stadyumu	
	Yapının Mimarı : HKS Architect	
	Yapının İşlevi : Stadyum	
	Yapım Yeri : Teksas/ABD	
	Yapım Yılı : 2009	
KULLANILAN NANOMALZEME ve UYGULAMA BİLGİLERİ	Kullanım Alanı : Kaplama uygulaması	
	Kullanılan malzeme : Kendi kendini temizleyen nanokaplama/2-D	
	Kullanım Yeri : Çatı/Membran Yüzey	
	Kullanım Amacı : Kendi kendini temizleme	
	Kullanım Biçimi : İnce film	
	Özellikleri : Sahip oldukları fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleme özelliği	
<p>Dallas' da yer alan spor yapısı 60.000 m² alana sahip kubbeli çatısı ile dünyanın en büyük çatısına sahip spor yapılarından bir tanesidir. 12 dakika içerisinde açılıp-kapanabilen ve en yüksek noktada zeminden yaklaşık 90 metre yüksekliğe ulaşan çatının strüktürü 2 ana çelik taşıyıcı kullanılarak oluşturulmuştur. Söz konusu çatının üst örtüsünde kullanılan membran malzeme yüzeyine fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleme özelliğine sahip nanokaplama uygulanmıştır.</p>		
<p>Fotokatalitik etkili nanokaplama kullanılarak kendi kendini temizleme özelliği kazandırılan yüzeyler üzerlerine yapışan kirleri parçalayarak, yağmur suyu yardımıyla yüzeyden uzaklaştırabilmektedir. Bu özelliğe sahip nanokaplamalar ve/veya nanokompozitler işlevlerini yerine getirebilmek için doğal veya yapay UV kaynağı, oksijen(O₂) ve neme ihtiyaç duyarlar.</p>		




Ek Tablo 1. 16. Armidale Adliye Binası analiz tablosu[245].

YAPIYA AİT BİLGİLER	Yapının Adı : Armidale Adliye Binası	
	Yapının Mimarı : Suters Architects	
	Yapının İşlevi : Kamu binası/Adliye	
	Yapım Yeri : Armidale/Avustralya	
	Yapım Yılı : - (2011)	
KULLANILAN NANOMALZEME ve UYGULAMA BİLGİLERİ	Kullanım Alanı : Kaplama uygulaması	<p>Avustralya’ da yer alan ve 3000 m² alana sahip yapı 2 katlıdır. Yapının çatısında, ince film biçiminde kolay temizlenen nanokaplama uygulanmış cam paneller kullanılmıştır. Kullanılan cam panellere kolay temizlenen nanokaplamalar inşaat sahasına getirilmeden önce fabrika da uygulanmıştır. Tamamıyla şeffaf olan nanokaplama sayesinde temizlik ve bakım masrafları önemli oranda azaltılabilmektedir.</p>
	Kullanılan malzeme : Kolay temizlenen nanokaplama/2-D	
	Kullanım Yeri : Çatı/Cam Yüzey	
	Kullanım Amacı : Kolay temizlenme	
	Kullanım Biçimi : İnce film	
	Özellikleri : Su-yağ sevmeyen nano yapılı yüzey ile kir yapışmasını azaltma, kolay temizlenme	
		
<p>Kolay temizlenen nanokaplamalar, uygulandıkları malzeme yüzeylerine pürüzsüzlük, su ve yağ sevmeyen yapı benzeri özellikler kazandırmaktadır. Bu tür nanokaplamalar, malzeme yüzeylerini uzun süre temiz tutarak, temizlik ve bakım masraflarını, zararlı temizlik malzemelerinin kullanımını azaltırken temizlik sürelerini önemli oranda kısaltmaktadırlar. Bu özelliklerine ek olarak, uygulama sonrasında geleneksel malzeme görüntüsünde herhangi bir değişikliğe neden olmazlar, eski veya yeni malzeme yüzeylerine kolaylıkla uygulanabilirler.</p>		




Ek Tablo 1. 17. Forest Lodge Ekolojik Evi analiz tablosu[246, 247].

YAPIYA AİT BİLGİLER	Yapının Adı : Forest Lodge Ekolojik Evi	
	Yapının Mimarı : Designer Constructions	
	Yapının İşlevi : Konut	
	Yapım Yeri : Sidney/Avustralya	
	Yapım Yılı : 2013	
KULLANILAN NANOMALZEME ve UYGULAMA BİLGİLERİ	Kullanım Alanı : Kaplama uygulaması	
	Kullanılan malzeme : Kolay temizlenen nanokaplama/2-D	
	Kullanım Yeri : Cephe/Cam yüzey	
	Kullanım Amacı : Kolay temizlenme	
	Kullanım Biçimi : İnce Film	
	Özellikleri : Su-yağ sevmeyen nano yapılı yüzey ile kir yapışmasını azaltma, kolay temizlenme	
<p>Avustralya, Sidney’ de bulunan yapı sürdürülebilir malzemeler kullanılarak inşa edilmiştir. Yapının giriş kısmında oluşturulan dikey bahçe ve yeşil çatı uygulaması, ısı kazancı ve estetik görünüm açılarından öne çıkan öğelerdir. Yapının cephelerinde inşaat sahasına getirilmeden önce fabrika ortamında yüzeylerine kolay temizlenen nanokaplama uygulanmış cam malzemeler kullanılmıştır. Bu yolla cam yüzeylere kirlerin yapışması ve birikmesi engellenerek temizlik ve bakım masrafları önemli oranda azaltılabilmektedir.</p>		
		
<p>Kolay temizlenen nanokaplamalar, uygulandıkları malzeme yüzeylerine pürüzsüzlük, su ve yağ sevmeyen yapı benzeri özellikler kazandırmaktadır. Bu tür nanokaplamalar, malzeme yüzeylerini uzun süre temiz tutarak, temizlik ve bakım masraflarını, zararlı temizlik malzemelerinin kullanımını azaltırken temizlik sürelerini önemli oranda kısaltmaktadırlar. Bu özelliklerine ek olarak, uygulama sonrasında geleneksel malzeme görüntüsünde herhangi bir değişikliğe neden olmazlar, eski veya yeni malzeme yüzeylerine kolaylıkla uygulanabilirler.</p>		

Ek Tablo 1. 18. One World Ticaret Merkezi analiz tablosu[248, 249].

YAPIYA AİT BİLGİLER	Yapının Adı : One World Ticaret Merkezi	
	Yapının Mimarı : Daniel Libeskind	
	Yapının İşlevi : Ticaret merkezi	
	Yapım Yeri : Newyork/ABD	
	Yapım Yılı : 2013	
KULLANILAN NANOMALZEME ve UYGULAMA BİLGİLERİ	Kullanım Alanı : Kaplama uygulaması	
	Kullanılan malzeme : Kolay temizlenen nanokaplama/2-D	
	Kullanım Yeri : Cephe/Cam yüzey	
	Kullanım Amacı : Kolay temizlenme	
	Kullanım Biçimi : İnce film	
	Özellikleri : Su-yağ sevmeyen nanoyapılı yüzey ile kir yapışmasını azaltma, kolay temizlenme	
	<p>ABD'nin New York eyaletinde, yıkılan Dünya Ticaret Merkezi' nin bulunduğu alanda yükselecek olan “<i>One World Trade Center</i>” kulesi, 541 metreye ulaşan yüksekliğiyle dünyanın en yüksek 3. binası olma özelliğini taşımaktadır. 105 katlı ticaret merkezinin üstünde bina için gerekli enerjinin %20'sini sağlayacak olan rüzgâr türbinleri bulunmaktadır. Yapının cephelerinde, yüzeylerine ince film biçiminde kolay temizlenen nanokaplama uygulanmış cam paneller kullanılmıştır. Bu sayede temizlik ve bakım masrafları önemli oranda azaltılabilmektedir.</p>	
		
<p>Kolay temizlenen nanokaplamalar, uygulandıkları malzeme yüzeylerine nanoboyutlarda pürüzsüzlük, su ve yağ sevmeyen yapı gibi temel özellikler kazandırmaktadır. Bu tür nanokaplamalar, malzeme yüzeylerini uzun süre temiz tutarak, temizlik ve bakım masraflarını, zararlı temizlik malzemelerinin kullanımını azaltırken temizlik sürelerini önemli oranda kısaltmaktadırlar. Bu özelliklerine ek olarak, uygulama sonrasında geleneksel malzeme görüntüsünde herhangi bir değişikliğe neden olmazlar, eski veya yeni malzeme yüzeylerine kolaylıkla uygulanabilirler.</p>		

Ek Tablo 1. 19. Jubilee Kilisesi analiz tablosu[250, 251].

YAPIYA AİT BİLGİLER	Yapının Adı : Jubilee Kilisesi	
	Yapının Mimarı : Richard Meier & Partners	
	Yapının İşlevi : Dini yapı/Kilise	
	Yapım Yeri : Roma/İtalya	
	Yapım Yılı : 2003	
KULLANILAN NANOMALZEME VE UYGULAMA BİLGİLERİ	Kullanım Alanı : Kaplama uygulaması	
	Kullanılan malzeme : TiO ₂ Nanoparçacık/0-D	
	Kullanım Yeri : Cephe/Beton malzeme	
	Kullanım Amacı : Havayı temizleme	
	Kullanım Biçimi : Beton nanokompozit	
	Özellikleri : Sahip oldukları fotokatalitik etkiyle havayı temizleme özelliği	
<p>İtalya, Roma’ da bulunan ve Richard Meier tarafından tasarlanmış olan Jubilee Kilisesi 2003 yılında, Roma’nın dışında yer alan bir bölgeye inşa edilmiştir. Kilisede Kutsal Üçleme, üçgen bir alanda omurga görevi yapan bir duvar ile üç beton kabuk kullanılarak temsil edilmiştir. Etkileyici bir mimariye sahip yapıda kullanılan beton malzemeye, karışımına doğrudan eklenen fotokatalitik etkili TiO₂ nanoparçacıklar ile havada bulunan zararlı bileşenleri insan sağlığına zararsız hale getirebilme özelliği kazandırılmıştır.</p>		
<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>		
<p>Fotokatalitik etkili nanoparçacıklar kullanılarak havayı temizleme özelliği kazandırılan yüzeyler üzerlerine gelen zararlı kirleticileri parçalayarak insan sağlığına zarar hale getirebilmektedir. Bu özelliğe sahip nanokaplamalar ve/veya nanokompozitler işlevlerini yerine getirebilmek için doğal veya yapay UV kaynağı, oksijen(O₂) ve neme ihtiyaç duymaktadırlar.</p>		

Ek Tablo 1. 20. Milenyum Sağlık Merkezi analiz tablosu[252, 253].

YAPIYA AİT BİLGİLER	Yapının Adı : Milenyum Sağlık Merkezi	
	Yapının Mimarı : Eduardo Merello Godino	
	Yapının İşlevi : Sağlık yapısı	
	Yapım Yeri : Madrid/İspanya	
	Yapım Yılı : 2012	
KULLANILAN NANOMALZEME ve UYGULAMA BİLGİLERİ	Kullanım Alanı : Kaplama uygulaması	<p>İspanya, Madrid’ de bulunan sağlık yapısı 1970 yılında inşa edilmiştir ve zaman içerisinde, farklı amaçlara yönelik yenileme çalışmaları geçirmiştir. Son olarak gerçekleştirilen yenileme projesi ile yapının estetik ve işlevsel açıdan geliştirilmesi ve sürdürülebilirliğinin artırılması amaçlanmıştır. Yapının cephelerinde ve iç mekânlarında kullanılan seramik yüzeylere uygulanan nanokaplama ile havayı temizleme özelliği kazandırılmıştır.</p>
	Kullanılan malzeme : Havayı temizleyen nanokaplama/2-D	
	Kullanım Yeri : Cephe-İç mekân/Seramik yüzey	
	Kullanım Amacı : Havayı temizleme	
	Kullanım Biçimi : İnce Film	
	Özellikleri : Sahip oldukları fotokatalitik etkiyle havayı temizleme özelliği	
		
		<p>Fotokatalitik etkili nanoparçacıklar kullanılarak havayı temizleme özelliği kazandırılan yüzeyler üzerlerine gelen zararlı kirleticileri parçalayarak insan sağlığına zarar hale getirebilmektedir. Bu özelliğe sahip nanokaplamalar ve/veya nanokompozitler işlevlerini yerine getirebilmek için doğal veya yapay UV kaynağı, oksijen(O₂) ve neme ihtiyaç duymaktadırlar.</p>




Ek Tablo 1. 21. La Vecchia Okulu analiz tablosu[254].

YAPIYA AİT BİLGİLER	Yapının Adı : La Vecchia Okulu	
	Yapının Mimarı : Studio ARD, Rimondini e Donà	
	Yapının İşlevi : Restoran	
	Yapım Yeri : Bologna/İtalya	
	Yapım Yılı : 2010	
KULLANILAN NANOMALZEME ve UYGULAMA BİLGİLERİ	Kullanım Alanı : Kaplama uygulaması	<p>İtalya, Bologna’ da bulunan ve aşçılık okulu olarak kullanılan yapının iç mekânında, duvar ve zeminde kullanılan seramik malzeme yüzeylerine TiO₂ nanoparçacık içeren nanokaplama uygulanarak fotokatalitik etkiyle havayı temizleme özelliği kazandırılmıştır. Bu uygulama ile seramik malzeme yüzeylerine havayı temizleme özelliğinin yanında bakteri karşıtı etkide kazandırılmıştır.</p>
	Kullanılan malzeme : Havayı temizleyen nanokaplama/2-D	
	Kullanım Yeri : İç mekân/Seramik yüzey	
	Kullanım Amacı : Havayı temizleme	
	Kullanım Biçimi : İnce Film	
	Özellikleri : Sahip oldukları fotokatalitik etkiyle havayı temizleme özelliği	
 		
<p>Fotokatalitik etkili nanoparçacıklar kullanılarak havayı temizleme özelliği kazandırılan yüzeyler üzerlerine gelen zararlı kirleticileri parçalayarak insan sağlığına zarar hale getirebilmektedir. Bu özelliğe sahip nanokaplamalar ve/veya nanokompozitler işlevlerini yerine getirebilmek için doğal veya yapay UV kaynağı, oksijen(O₂) ve neme ihtiyaç duymaktadırlar.</p>		

Ek Tablo 1. 22. Araç park alanı analiz tablosu[255].

YAPIYA AİT BİLGİLER	Yapının Adı : Araç Park Alanı	
	Yapının Mimarı : -	
	Yapının İşlevi : Ulaşım/Park Alanı	
	Yapım Yeri : Anvers/ Belçika	
	Yapım Yılı : 2005	
KULLANILAN NANOMALZEME ve UYGULAMA BİLGİLERİ	Kullanım Alanı : Kaplama uygulaması	
	Kullanılan malzeme : Havayı temizleyen nanokaplama/2-D	
	Kullanım Yeri : Dış mekân/Parke taşı	
	Kullanım Amacı : Havayı temizleme	
	Kullanım Biçimi : Beton nanokompozit	
	Özellikleri : Sahip oldukları fotokatalitik etkiyle havayı temizleme özelliği	
	Belçika, Anvers kent merkezinde, ana cadde üzerinde bulunan araç park alanı, fotokatalitik etkiyle havayı temizleme özelliğine sahip nanokaplama uygulanmış parke taşlarının test edildiği pilot bölge olarak seçilmiştir. 2005 yılında gerçekleştirilen çalışma kapsamında 10.000 m ² alan fotokatalitik etkiyle havayı temizleme özelliğine sahip nanokaplama uygulanmış parke taşı ile kaplanmıştır. Uygulamanın gerçekleştirildiği tarihin 1 yıl ardından yapılan testler sonucunda kirliliğin %20 oranında azaldığı tespit edilmiştir.	
		
Fotokatalitik etkili nanoparçacıklar kullanılarak havayı temizleme özelliği kazandırılan yüzeyler, üzerlerine gelen zararlı kirleticileri parçalayarak insan sağlığına zararsız hale getirebilmektedir. Bu özelliğe sahip nanokaplamalar ve/veya nanokompozitler işlevlerini yerine getirebilmek için doğal veya yapay UV kaynağı, oksijen(O ₂) ve neme ihtiyaç duymaktadırlar.		

Ek Tablo 1. 23. The Westin Gaslamp Oteli analiz tablosu[256, 257].

YAPIYA AİT BİLGİLER	Yapının Adı : The Westin Gaslamp Oteli	
	Yapının Mimarı : MDR Architects	
	Yapının İşlevi : Konaklama	
	Yapım Yeri : Kaliforniya-San Diego/ABD	
	Yapım Yılı : - (2012)	
KULLANILAN NANOMALZEME ve UYGULAMA BİLGİLERİ	Kullanım Alanı : Kaplama uygulaması	<p>ABD, Kaliforniya’ da bulunan, 16 katlı ve 450 yataklı <i>The Westin Gaslamp Oteli</i> yapısının cepheleri, 2012 yılında gerçekleştirilen yenileme çalışmaları kapsamında yeniden boyanmıştır. Uygulamada nanoboyutlu, üstün yüzey özelliklerine sahip nanoteknolojik boya kullanılmıştır. Kullanılan boya, uygulandığı yüzeylerde bakteri, küf ve mantar benzeri zararlı bileşiklerin oluşumunu önemli oranda engellemektedir. Bakteri karşıtı etkisinin yanında UV ışınlarına karşı koruma, yüksek kırılma, çatlama ve aşınma direnci göstermektedir. Aynı zamanda ısı yalıtımı özelliği de taşımaktadır. Bu özellikteki boyaların kullanılması ile yapılarda % 38 ‘ e varan oranlarda enerji tasarrufu sağlamaktadır.</p>
	Kullanılan malzeme : Bakteri karşıtı nanokaplama/2-D	
	Kullanım Yeri : Cephe	
	Kullanım Amacı : Bakteri Karşıtı etki	
	Kullanım Biçimi : Boya	
	Özellikleri : Sahip oldukları nano yüzey özellikleri ile bakteri karşıtı etki	
		
<p>Nanoteknolojinin gelişmesi ile nanoboyutlarda yüzey özellikleri kontrol etme ve üretme mümkün olmaktadır. Nanoboyutlarda bakteri benzeri zararlı organik bileşenlerin yüzeye yapışmasını engelleyen yüzeyler oluşturularak ve/veya bakteri karşıtı etkiye sahip nanoparçacıklar kullanılarak oluşturulan kaplamalar, yapılarda geniş bir kullanım alanına sahiptir.</p>		




Ek Tablo 1. 24. Ritz Carlton Otelini analiz tablosu[258, 259].

YAPIYA AİT BİLGİLER	Yapının Adı : Ritz Carlton Otelini	
	Yapının Mimarı : Coleman & Partners	
	Yapının İşlevi : Konaklama	
	Yapım Yeri : Aruba	
	Yapım Yılı : 2013	
KULLANILAN NANOMALZEME ve UYGULAMA BİLGİLERİ	Kullanım Alanı : Kaplama uygulaması	Aruba' da bulunan ve bulunduğu bölgenin ilk 5 yıldızlı oteli unvanına sahip, 320 odalı Ritz Carlton Otelini 2013 yılında tamamlanmıştır. Söz konusu yapının iç mekân duvar yüzeylerinde üstün özelliklere sahip nanoteknolojik boya kullanılmıştır. Nanoteknolojik boyalar, bünyelerine katılan gümüş nanoparçacıklar ve nano boyutlu yüzey özellikleri ile uygulandıkları yüzeylere güçlü bir bakteri karşıtı etki kazandırmaktadır. Bu etkinin yanında kolay temizlenme, yüksek kırılma ve çatılama dayanımı kazandırarak bakım ve temizlik giderlerinde önemli oranda azalma sağlamaktadırlar.
	Kullanılan malzeme : Bakteri karşıtı nanokaplama/2-D	
	Kullanım Yeri : İç Mekân	
	Kullanım Amacı : Bakteri Karşıtı etki	
	Kullanım Biçimi : Boya	
	Özellikleri : Sahip oldukları nano yüzey özellikleri ile bakteri karşıtı etki	
		
<p>Nanoteknolojinin gelişmesi ile nanoboyutlarda yüzey özellikleri kontrol etme ve üretme mümkün olmaktadır. Nanoboyutlarda, bakteri benzeri zararlı organik bileşenlerin yüzeye yapışmasını engelleyen yüzeyler oluşturularak ve/veya bakteri karşıtı etkiye sahip nanoparçacıklar kullanılarak oluşturulan kaplamalar yapılarda geniş bir kullanım alanına sahiptirler.</p>		

Ek Tablo 1. 25. Eski Değirmen Evi analiz tablosu[260].

YAPIYA AİT BİLGİLER	Yapının Adı : Eski Değirmen Evi	
	Yapının Mimarı : -	
	Yapının İşlevi : Konut	
	Yapım Yeri : İsviçre	
	Yapım Yılı : 1600(2011)	
KULLANILAN NANOMALZEME ve UYGULAMA BİLGİLERİ	Kullanım Alanı : Isı yalıtım uygulaması	<p>Tarihi değer taşıyan yapıda 9 mm kalınlığında arojel ısı yalıtım örtüsü uygulanarak yapı dış duvarlarının U değeri(ısı geçirgenlik katsayısı) 1 W/m²k seviyesinden 0,2 W/m²k indirilmiştir. Geleneksel iskele sistemi kurularak uygulanan ısı yalıtım örtüsü herhangi bir alt iskelete ihtiyaç duymaksızın duvar yüzeyine vidalanarak uygulanmıştır ve bu işlemin ardından ısı yalıtım malzemesinin üzeri buhar geçişine izin veren, nefes alabilme özelliğinde sıva uygulanarak kapatılmıştır.</p>
	Kullanılan malzeme : Aerojel ısı yalıtım örtüsü/3-D	
	Kullanım Yeri : Yapı kabuğu	
	Kullanım Amacı : Isı yalıtımı/Ses yalıtımı	
	Kullanım Biçimi : Örtü	
	Özellikleri : Nanogözenekli yapı, ince malzeme kalınlığında üstün ısı yalıtımı	
		
		<p>Eski değirmen evi, tarihi bir nitelik taşımaktadır ve ısı yalıtım uygulaması sonucu yapının orijinal görünüşünde mümkün olan en az değişikliğin olması beklenmektedir. Geleneksel ısı yalıtım malzemeleri ile karşılanamayan bu beklenti arojel ısı yalıtım örtüsü kullanılarak sağlanmıştır. Geleneksel malzemelere göre çok daha ince malzeme kalınlığında yüksek ısı yalıtım değeri sağlıyor olması ve esnek yapısı nedeniyle arojel ısı yalıtım malzemesi tercih edilmiştir. Yapının orijinalliğine en az müdahale ile ısı yalıtım uygulaması tamamlanmıştır.</p>

Ek Tablo 1. 26. İmparatorluk Savaş Müzesi analiz tablosu[261, 262].

YAPILMA AIT BİLGİLER	Yapının Adı : İmparatorluk Savaş Müzesi	
	Yapının Mimarı : James Lewis	
	Yapının İşlevi : Müze	
	Yapım Yeri : Londra/ İngiltere	
	Yapım Yılı : 1815(2011)	
KULLANILAN NANOMALZEME ve UYGULAMA BİLGİLERİ	Kullanım Alanı : Isı yalıtım uygulaması	
	Kullanılan malzeme : Aerojel ısı yalıtım örtüsü/3-D	
	Kullanım Yeri : Çatı	
	Kullanım Amacı : Isı yalıtımı	
	Kullanım Şekli : Örtü	
	Özellikleri : Nanogözenekli yapı, ince malzeme kalınlığında üstün ısı yalıtımı	
<p>İngiltere, Londra'da bulunan İmparatorluk Savaş Müzesi 1917 yılında kurulmuştur. Müze günümüzde, hastane olarak tasarlanmış tarihi niteliğe sahip bir yapı içerisinde yer almaktadır. Yapının çatı yalıtımı uygulamasında iç mekân yüksekliğinin mümkün olan en az ölçüde azaltılması ve oldukça etkili bir ısı yalıtımı sağlanması amaçlanmıştır. Bu nedenle ısı yalıtım malzemesi olarak elyaf katkılı aerojel ısı yalıtım örtüsü kullanılmıştır.</p>		
 		
<p>İmparatorluk Savaş Müzesi tarihi bir nitelik taşımaktadır ve ısı yalıtım uygulaması sonucu yapının orijinal görünüşünde mümkün olan en az değişikliğin olması beklenmektedir. Geleneksel ısı yalıtım malzemeleri ile karşılanamayan bu beklenti aerojel ısı yalıtım örtüsü kullanılarak sağlanmıştır ve iç mekân tavan yüksekliği korunmuştur. Geleneksel malzemelere göre çok daha ince malzeme kalınlığında yüksek ısı yalıtım değeri sağlıyor olması ve esnek yapısı nedeniyle aerojel ısı yalıtım malzemesi tercih edilmiştir.</p>		

Ek Tablo 1. 27. Bozeman Kütüphanesi analiz tablosu[263, 264].

YAPIYA AİT BİLGİLER	Yapının Adı : Bozeman Kütüphanesi	
	Yapının Mimarı : Studio Forma & Overland	
	Yapının İşlevi : Eğitim/Kütüphane	
	Yapım Yeri : Montana/ABD	
	Yapım Yılı : 2006	
KULLANILAN NANOMALZEME ve UYGULAMA BİLGİLERİ	Kullanım Alanı : Isı yalıtım uygulaması	
	Kullanılan malzeme : Aerojel dolgulu panel/3-D	
	Kullanım Yeri : Cephe, Çatı	
	Kullanım Amacı : Isı yalıtımı/Işık geçirimi	
	Kullanım Biçimi : Panel/Dolgu malzemesi	
	Özellikleri : Nanogözenekli yapı, ince malzeme kalınlığında üstün ısı yalıtımı	
<p>Yapımında, geri dönüştürülebilir, zehirsiz ve zararsız malzemeler kullanılan, su tüketimini azaltmaya yönelik önlemlerin alındığı, çatısında güneş enerjisi panelleri yer alan yapıda etkili bir enerji korunumu hedeflenmiştir. Yapı cephelerinde ve çatısında, arojel dolgulu paneller kullanılarak, enerji ihtiyacı önemli oranda azaltılmıştır. Cephelerde U değeri(ısı geçirgenlik katsayısı) 0,3 W/m²k, çatıda ise U değeri 1,3 W/m²k olan paneller kullanılmıştır. Enerji korunumuna ek olarak arojel dolgulu paneller, iç mekâna uygun gün ışığı geçişini sağlayarak, yapay ışık ihtiyacını ortadan kaldırmıştır. Ayrıca paneller, zararlı UV ışınlarının iç mekâna geçişini sınırlandırarak kütüphanede bulunan mobilya ve eski kitapların zarar görmesini engellemiştir.</p>		
		
<p>Aerojel dolgulu paneller, geleneksel ısı yalıtım malzemelerine ve katı duvar yüzeylerine oranla yaklaşık 4 kat daha etkili ısı yalıtımı sağlamaktadır. Bu üstün ısı yalıtım özelliği panellerde iç dolgu malzemesi olarak kullanılan arojel nanogözenekli yapısından kaynaklanmaktadır. Koruyucu levhalar arasına yerleştirilen arojel tanecikleri nano boyutlardaki gözenekleri ile hava moleküllerinin malzeme yüzeyinden geçişini engelleyerek etkili bir şekilde ısı yalıtımı sağlamaktadırlar. Aerojel dolgulu paneller aynı zamanda etkili bir ışık geçirim ve dağıtımı sunarak yapay ışığa ihtiyaç duyulan süreyi azaltmaktadırlar.</p>		



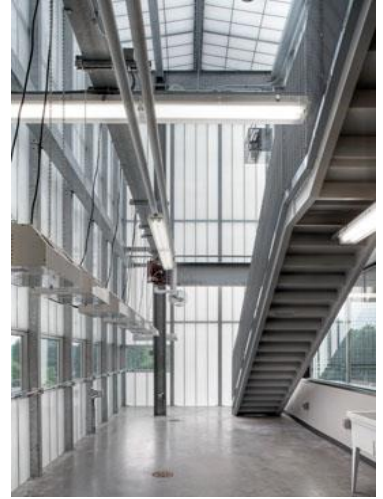
Ek Tablo 1. 28. Hamilton Stage Gösteri Merkezi analiz tablosu[265, 266].

YAPIYA AİT BİLGİLER	Yapının Adı : Hamilton Stage Gösteri M.	
	Yapının Mimarı : Mills & Schnoering	
	Yapının İşlevi : Gösteri Merkezi	
	Yapım Yeri : New Jersey/ABD	
	Yapım Yılı : 2012	
KULLANILAN NANOMALZEME ve UYGULAMA BİLGİLERİ	Kullanım Alanı : Isı yalıtım uygulaması	
	Kullanılan malzeme : Aerojel dolgulu panel/3-D	
	Kullanım Yeri : Cephe	
	Kullanım Amacı : Isı yalıtımı/Işık geçirimi	
	Kullanım Şekli : Panel/Dolgu malzemesi	
	Özellikleri : Nanogözenekli yapı, ince malzeme kalınlığında üstün ısı yalıtımı	
<p>ABD, New Jersey’ de bulunan Hamilton Stage Gösteri Merkezi 1920 yılında inşa edilmiş olan, terkedilmiş bir fabrika binasının yenilenmesi ve genişletilmesi çalışmaları sonucunda oluşturulmuştur. Sanat kampüsü olarak adlandırılan bir alanda yer alan ve tiyatro işlevi yüklenmiş olan yapının yaklaşık 260 m² alana sahip cephelerinde, etkili bir ışık geçirimi ve ısı yalıtımı sağlayan aerojel dolgulu paneller kullanılmıştır. Aerojel dolgulu paneller yatay doğrultuda uygulanmıştır.</p>		
<p>Aerojel dolgulu paneller, geleneksel ısı yalıtım malzemelerine ve katı duvar yüzeylerine oranla yaklaşık 4 kat daha etkili ısı yalıtımı sağlamaktadır. Bu üstün ısı yalıtım özelliği panellerde iç dolgu malzemesi olarak kullanılan aerojelin nanogözenekli yapısından kaynaklanmaktadır. Koruyucu levhalar arasına yerleştirilen aerojel tanecikleri nano boyutlardaki gözenekleri ile hava moleküllerinin malzeme yüzeyinden geçişini engelleyerek etkili bir şekilde ısı yalıtımı sağlamaktadırlar. Paneller aynı zamanda etkili bir ışık geçirimi ve dağıtımı sunarak yapay ışığa ihtiyaç duyulan süreyi azaltmaktadırlar.</p>		

Ek Tablo 1. 29. Metea Valley Lisesi analiz tablosu[267, 268].

YAPIYA AİT BİLGİLER	Yapının Adı : Metea Valley Lisesi	
	Yapının Mimarı : DLR Grup	
	Yapının İşlevi : Eğitim/Lise	
	Yapım Yeri : Kolorado-Aurora/ABD	
	Yapım Yılı : 2009/2010	
KULLANILAN NANOMALZEME ve UYGULAMA BİLGİLERİ	Kullanım Alanı : Isı yalıtım uygulaması	
	Kullanılan malzeme : Aerojel dolgulu panel/3-D	
	Kullanım Yeri : Cephe	
	Kullanım Amacı : Isı yalıtımı/Işık geçirimi	
	Kullanım Şekli : Panel/Dolgu malzemesi	
	Özellikleri : Nanogözenekli yapı, ince malzeme kalınlığında üstün ısı yalıtımı	
	40.000 m ² alana yayılan ve yaklaşık 3.000 öğrenci kapasiteli eğitim yapısı kışları oldukça soğuk, yazları ise oldukça sıcak olan bir bölgede yer almaktadır. Yapıda kullanılan aerojel dolgulu paneller ile dış ortam ile iç mekân arasındaki ısı dengesi etkili korunarak önemli oranda enerji tasarrufu sağlanmaktadır. 2 farklı boyutsal standartlarda, dikdörtgen paneller dikey olarak kullanılmıştır. Eğitim yapılarının genel problemi olan bakım ve onarım ihtiyacı, kullanılan panellere dayanım ve kendi kendini temizleme özelliği kazandırılarak önemli oranda azaltılmıştır.	
		
Aerojel dolgulu paneller, geleneksel ısı yalıtım malzemelerine ve katı duvar yüzeylerine oranla yaklaşık 4 kat daha etkili ısı yalıtımı sağlamaktadır. Bu üstün ısı yalıtım özelliği panellerde iç dolgu malzemesi olarak kullanılan aerojelin nanogözenekli yapısından kaynaklanmaktadır. Koruyucu levhalar arasına yerleştirilen aerojel tanecikleri nano boyutlardaki gözenekleri ile hava moleküllerinin malzeme yüzeyinden geçişini engelleyerek etkili bir şekilde ısı yalıtımı sağlamaktadırlar. Paneller aynı zamanda etkili bir ışık geçirimi ve dağıtımı sunarak yapay ışığa ihtiyaç duyulan süreyi azaltmaktadırlar.		

Ek Tablo 1. 30. Omaha North Lisesi analiz tablosu[269, 270].

YAPIYA AİT BİLGİLER	Yapının Adı : Omaha North Lisesi	
	Yapının Mimarı : RDG Planning & Design	
	Yapının İşlevi : Eğitim/Lise	
	Yapım Yeri : Nebraska-Omaha/ABD	
	Yapım Yılı : 2010	
KULLANILAN NANOMALZEME ve UYGULAMA BİLGİLERİ	Kullanım Alanı : Isı yalıtım uygulaması	<p>ABD, Nebraska’ da yer alan, 1922 yılında kurulmuş olan Omaha North High School eğitim yapısı zaman içerisinde birçok dönüşüm ve yenilenme çalışması geçirmiştir. Bu uygulamalardan en sonuncu yeni derslik ihtiyacına yönelik gerçekleştirilen, 4 katlı 3000 m² alana sahip yapı inşasıdır. Sürdürülebilir tasarım ilkeleri doğrultusunda tasarlanan ve büyük oranda dönüştürülebilir yapı malzemeleri kullanılarak inşa edilen yapının cephelerinde kısmı olarak arojel dolgulu ısı yalıtım panelleri kullanılmıştır. Bu yolla etkili bir ısı yalıtımı sağlanmıştır ve aynı zamanda panellerin ışık geçirim ve dağıtım özellikleri ile iç mekân yapay ışık ihtiyacı azaltılmıştır.</p>
	Kullanılan malzeme : Aerojel dolgulu panel/3-D	
	Kullanım Yeri : Cephe	
	Kullanım Amacı : Isı yalıtımı/Işık geçirimi	
	Kullanım Şekli : Panel/Dolgu malzemesi	
	Özellikleri : Nanogözenekli yapı, ince malzeme kalınlığında üstün ısı yalıtımı	
		
<p>Arojel dolgulu paneller, geleneksel ısı yalıtım malzemelerine ve katı duvar yüzeylerine oranla yaklaşık 4 kat daha etkili ısı yalıtımı sağlamaktadır. Bu üstün ısı yalıtım özelliği, panellerde iç dolgu malzemesi olarak kullanılan arojin nanogözenekli yapısından kaynaklanmaktadır. Koruyucu levhalar arasına yerleştirilen arojel tanecikleri nano boyutlardaki gözenekleri ile hava moleküllerinin malzeme yüzeyinden geçişini engelleyerek etkili bir şekilde ısı yalıtımı sağlamaktadırlar. Aerojel dolgulu paneller aynı zamanda etkili bir ışık geçirim ve dağıtımını sunarak yapay ışığa duyulan süreyi azaltmaktadırlar.</p>		




Ek Tablo 1. 31. Rosslyn Şapeli analiz tablosu[271, 272].

YAPIYA AİT BİLGİLER	Yapının Adı : Rosslyn Şapeli	
	Yapının Mimarı : Sir William St. Clair	
	Yapının İşlevi : Dini yapı/Şapel	
	Yapım Yeri : Edinburgh/ İskoçya	
	Yapım Yılı : 1448(2006)	
KULLANILAN NANOMALZEME ve UYGULAMA BİLGİLERİ	Kullanım Alanı : Isı yalıtım uygulaması	
	Kullanılan malzeme : Vakumlu ısı yalıtım paneli /3-D	
	Kullanım Yeri : Çatı	
	Kullanım Amacı : Isı yalıtımı	
	Kullanım Biçimi : Panel	
	Özellikleri : Nanogözenekli yapı, ince malzeme kalınlığında üstün ısı yalıtımı	
<p>İskoçya, Edinburgh' da yer alan Rosslyn Şapeli 1446-48 yıllarında inşa edilmiştir. Şapel, plan ve dekorasyon özelliği bakımından özgündür. İskoçya' da ve hatta Avrupa' da ikinci bir örneği yoktur. Yüzyıllar içinde farklı şekillerde kullanıldığı dönemler de olmuştur. Son kez 1942 yılında dini törenlere kapatılmıştır ve bu tarihten sonra sadece turistik nitelik taşıyan tarihi yapı olarak nitelendirilmiştir. Zaman içerisinde farklı dönemlerde restorasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Söz konusu tarihi yapının çatısında vakumlu ısı yalıtım paneli kullanılmıştır.</p>		
		
<p>Rosslyn Şapelinin çatısında vakumlu ısı yalıtım paneli kullanılarak, 25-30 cm kalınlığında geleneksel malzeme kullanımıyla sağlanabilecek ısı yalıtım değerine ulaşılmıştır. Bu yolla geleneksel ısı yalıtım malzemesi kullanılarak yapılabilecek uygulamaya oranla yapının özgünlüğüne en az müdahale ile uygulama gerçekleştirilmiştir.</p>		

Ek Tablo 1. 32. Yaşam ve Ticaret Binası analiz tablosu[273, 274].

YAPIYA AİT BİLGİLER	Yapının Adı : Yaşam ve Ticaret Binası	
	Yapının Mimarı : Martin Pool	
	Yapının İşlevi : Ofis	
	Yapım Yeri : Münih/ Almanya	
	Yapım Yılı : 2004	
KULLANILAN NANOMALZEME ve UYGULAMA BİLGİLERİ	Kullanım Alanı : Isı yalıtım uygulaması	
	Kullanılan malzeme : Vakumlu ısı yalıtım paneli/3-D	
	Kullanım Yeri : Yapı kabuğu	
	Kullanım Amacı : Isı yalıtımı	
	Kullanım Şekli : Panel	
	Özellikleri : Nanogözenekli yapı, ince malzeme kalınlığında üstün ısı yalıtımı	
	Yapının doğu, güney ve batı cephesinde yaklaşık olarak 850 m ² vakumlu ısı yalıtım paneli(VYP) kullanılmıştır. 2 cm kalınlığında olan VYP' ler, beton yüzeylere önceden monte edilen latalar arasına yerleştirilmiştir ve yapıştırıcı kullanılarak yüzeylere sabitlenmiştir. Bu işlemlerin ardından, VYP' leri mekanik ve atmosfer etkilerden korumak amacıyla 8 cm kalınlığında Poliüretan köpük paneller duvar yüzeyindeki latalara vidalanarak uygulanmıştır. Son olarak duvar yüzeyi alçı ile kaplanmıştır.	
		
Yaşam ve Ticaret Binası kent merkezinde, her metre kare kullanım alanının çok değerli olduğu bir konumda yer almaktadır. VYP kullanılarak, 25-30 cm kalınlığında geleneksel malzeme kullanımıyla sağlanabilecek ısı yalıtım değerine ulaşılmıştır ve geleneksel malzeme kullanımına oranla 125 m ² (yapının toplam kullanım alanının %10' u) alan kazandırılmıştır. Bunun yanında, yapının yıllık ısı ihtiyacı 22 kWh/m ² seviyesine indirilerek önemli oranda enerji tasarrufu sağlanmıştır.		




Ek Tablo 1. 33. Höhenweg Zug analiz tablosu[168, 275].

YAPIYA AİT BİLGİLERİ	Yapının Adı : Höhenweg Zug	
	Yapının Mimarı : Zai & Partner	
	Yapının İşlevi : Konut	
	Yapım Yeri : Zug/ İsviçre	
	Yapım Yılı : 2006	
KULLANILAN NANOMALZEME ve UYGULAMA BİLGİLERİ	Kullanım Alanı : Isı yalıtım uygulaması	
	Kullanılan malzeme : Vakumlu ısı yalıtım Paneli/3-D	
	Kullanım Yeri : İç Mekân/Zemin ve tavan	
	Kullanım Amacı : Isı yalıtımı	
	Kullanım Biçimi : Panel	
	Özellikleri : Nanogözenekli yapı, ince malzeme kalınlığında üstün ısı yalıtımı	
	İsviçre, Zug’ da bulunan müstakil konutta ortaya çıkan kat yüksekliği problemi nedeniyle geleneksel ısı yalıtım malzemeleri kullanımı mümkün olmamıştır ve bu nedenle yapının tavan ve zemin ısı yalıtımı uygulamalarında oldukça ince malzeme kalınlığında etkili ısı yalıtımı sağlayan vakumlu ısı yalıtım panelleri kullanılmıştır. Tavan ve zemin uygulamalarında 2 cm kalınlığında, 100x60 cm ebatlarında 255 adet panel kullanılmış ve uygulama alanının %90’ ı tamamlanmıştır. Kalan %10’ luk alan için ise özel boyutlarda üretilen vakumlu ısı yalıtım panelleri kullanılmıştır.	
		
Vakumlu ısı yalıtım paneli kullanılarak, 25-30 cm kalınlığında geleneksel malzeme kullanımı ile sağlanabilecek ısı yalıtım değerine ulaşılmıştır. Bu yolla geleneksel ısı yalıtım malzemesi kullanılarak yapılabilecek uygulamaya oranla yapıya en az müdahalede bulunulmuştur. Vakumlu ısı yalıtım panelleri, nanoboyutlu yapıları ile oldukça düşük malzeme kalınlığında etkili ısı yalıtımı sağlıyor olmaları nedeniyle uygulandıkları yapılarda çok az ölçüde alan kaybına neden olmaktadır.		




Ek Tablo 1. 34. Buckingham yolunda 3 ev analiz tablosu[276, 277].

YAPIYA AİT BİLGİLERİ	Yapının Adı : Buckingham yolunda 3 ev	
	Yapının Mimarı : West & Machell Architect	
	Yapının İşlevi : Konut	
	Yapım Yeri : Londra/ İngiltere	
	Yapım Yılı : 2013	
KULLANILAN NANOMALZEME ve UYGULAMA BİLGİLERİ	Kullanım Alanı : Isı yalıtım uygulaması	
	Kullanılan malzeme : Vakumlu ısı yalıtım Paneli/3-D	
	Kullanım Yeri : Dış Mekân/Teras	
	Kullanım Amacı : Isı yalıtımı	
	Kullanım Şekli : Panel	
	Özellikleri : Nanogözenekli yapı, ince malzeme kalınlığında üstün ısı yalıtımı	
İngiltere, Londra' da yer alan yapı, her biri 2 yatak odası, 1 banyo ve 1 teras içeren 3 ayrı yaşama biriminden oluşmaktadır. Söz konusu yapının teras zeminine yönelik ısı yalıtımı uygulamasında, iç mekân ile teras zemini arasında kot farkının oluşmaması ve alt katta bulunan yatak odasının tavan yüksekliğinin azalmaması amacıyla geleneksel ısı yalıtım malzemelerine oranla çok daha ince malzeme kalınlığında oldukça etkili ısı yalıtımı sağlayan vakumlu ısı yalıtım panelleri tercih edilmiştir. Uygulama 40 mm kalınlığında vakumlu ısı yalıtım panelleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.		
		
<p>Vakumlu ısı yalıtım paneli kullanılarak, 25-30 cm kalınlığında geleneksel malzeme kullanımı ile sağlanabilecek ısı yalıtım değerine ulaşılmıştır. Bu yolla geleneksel ısı yalıtım malzemesi kullanılarak yapılabilecek uygulamaya oranla yapıya en az müdahalede bulunulmuştur. Vakumlu ısı yalıtım panelleri, nanoboyutlu yapıları ile oldukça düşük malzeme kalınlığında etkili ısı yalıtımı sağlıyor olmaları nedeniyle uygulandıkları yapılarda çok az ölçüde alan kaybına neden olmaktadır.</p>		

Ek Tablo 1. 35. Expo 2010 ABD pavyonu analiz tablosu[278, 279].

YAPIYA AİT BİLGİLER	Yapının Adı : EXPO 2010 ABD Pavyonu	
	Yapının Mimarı : Clive Grout	
	Yapının İşlevi : Sergi merkezi/Pavyon	
	Yapım Yeri : Şangay/ Çin	
	Yapım Yılı : 2010	
KULLANILAN NANOMALZEME ve UYGULAMA BİLGİLERİ	Kullanım Alanı :Fotovoltaik panel uygulaması	<p>Çin'in Şangay şehrinde düzenlenen EXPO 2010 Dünya Fuarı'nda yer alan Amerika Birleşik Devletleri Pavyonu yenilenebilirlik, iş birliği, sağlık, mücadele etme ve başarı kazanma konularına dikkat çekmektedir. Yapımında ağırlıklı olarak cam ve çelik kullanılan söz konusu pavyon, misafirleri karşılamak için kollarını açmış bir kartal şeklinde inşa edilmiştir. Yaklaşık 5550 m2 alan sahip yapının çatısında silikon bazlı ince film güneş pilleri kullanılmıştır</p>
	Kullanılan malzeme : Nano-PV/3-D	
	Kullanım Yeri : Çatı	
	Kullanım Amacı : Elektrik Enerjisi Üretimi	
	Kullanım Şekli : İnce Film	
	Özellikleri : Nanomalzeme kullanımı, esneklik ve kolay uygulanabilme	
 		
<p>İnce film güneş pilleri, fiziksel özellikleri ile tasarımcılara esnek yapı formları oluşturma imkânı vermektedir. Boyutsal olarak tasarımı sınırlayıcı bir özellik taşımazlar ve hafif olmaları nedeniyle yapı yükünü fazla arttırmazlar. Nanoboyutlu yarı iletken malzeme kullanılarak güneş pillerinin veriminin artırılması potansiyeline sahip olmaları olumlu özellikleri olarak sıralanabilir.</p>		




Ek Tablo 1. 36. Jako Bau Ofis Binası analiz tablosu[280, 281].

YAPIYA AİT BİLGİLER	Yapının Adı : Jako Bau Ofis Binası	
	Yapının Mimarı : -	
	Yapının İşlevi : Yönetim/Ofis	
	Yapım Yeri : Münih/ Almanya	
	Yapım Yılı : 2010	
	Kullanım Alanı :Fotovoltaik panel uygulaması	
KULLANILAN NANOMALZEME ve UYGULAMA BİLGİLERİ	Kullanılan malzeme : Nano-PV/3-D	
	Kullanım Yeri : Cephe	
	Kullanım Amacı : Elektrik Enerjisi Üretimi	
	Kullanım Şekli : İnce Film	
	Özellikleri : Nanomalzeme kullanımı, esneklik ve kolay uygulanabilme	
	Almanya, Münih' de bulunan "Jako Bau Ofis Binası" cephelerinde, 80 adet 1, 4 m ² yüzey alanına sahip, amorf silikon yarı iletken malzeme kullanılarak üretilen ince film güneş panelleri kullanılmıştır. Söz konusu paneller, binanın enerji üretmesini ve doğal ışık almasını sağlıyor, ısı yalıtımını artırıyor, 25 desibele kadar dışarıdan gelen gürültüyü engelliyor, hava şartlarına dayanıklılığı artırıyor.	
		
İnce film güneş pilleri, fiziksel özellikleri ile tasarımcılara esnek yapı formları oluşturma imkânı vermektedir. Boyutsal olarak tasarımı sınırlayıcı bir özellik taşımazlar ve hafif olmaları nedeniyle yapı yükünü fazla arttırmazlar. Nanoboyutlu yarı iletken malzeme kullanılarak güneş pillerinin veriminin artırılması potansiyeline sahip olmaları olumlu özellikleri olarak sıralanabilir.		

Ek Tablo 1. 37. Berlin Merkez İstasyonu analiz tablosu[282, 283].

YAPIYA AİT BİLGİLER	Yapının Adı : Berlin Merkez İstasyonu	
	Yapının Mimarı : Von Gerkan, Marg & Partner	
	Yapının İşlevi : Ulaşım/Tren Gari	
	Yapım Yeri : Berlin/ Almanya	
	Yapım Yılı : 2006	
KULLANILAN NANOMALZEME ve UYGULAMA BİLGİLERİ	Kullanım Alanı :Fotovoltaik panel uygulaması	<p>Almanya, Berlin’ de yer alan ve Avrupa’nın en büyük tren istasyonlarından biri olma özelliğine sahip yapı 8 yıllık bir inşa sürecinin ardından 2006 yılında tamamlanmıştır. 45 m genişliğinde, 159 m uzunluğunda olan yapı, kavisli bir aks üzerine oturtulan yapının üzerine, batı ile doğunun birleşimini simgeleyen, 14 metre yüksekliğinde ve birbirine köprüler ile bağlanan 2 adet kütleli yerleştirilmesi ile oluşturulmuştur. Toplam 175.000 m² alana sahip 2 kat ve 14 platformdan oluşmaktadır. Söz konusu yapı, yaklaşık 23 adet çelik makasa oturan ve çelik kablolar ile desteklenmiş bir yapıdır. Üzerine hiçbirine benzemeyen, 11800 adet cam panel kullanılarak oluşturulan cam kubbe ile örtülmüştür. Yaklaşık 20.000 m² alana sahip cam kubbe üzerinde 1250 adet ince film güneş modülü kullanılarak 2700 m² alan güneş enerjisi üretimi için kullanılmaktadır. Paneller cam paneller arasına yerleştirilmiştir.</p>
	Kullanılan malzeme : Nano-PV/3-D	
	Kullanım Yeri : Çatı	
	Kullanım Amacı : Elektrik Enerjisi Üretimi	
	Kullanım Şekli : İnce Film	
	Özellikleri : Nanomalzeme kullanımı, esneklik ve kolay uygulanabilme	
		
İnce film güneş pilleri, fiziksel özellikleri ile tasarımcılara esnek yapı formları oluşturma imkânı vermektedir. Boyutsal olarak tasarımı sınırlayıcı bir özellik taşımazlar ve hafif olmaları nedeniyle yapı yükünü fazla arttırmazlar. Nanoboyutlu yarı iletken malzeme kullanılarak güneş pillerinin veriminin artırılması potansiyeline sahip olmaları olumlu özellikleri olarak sıralanabilir.		

Ek Tablo 1. 38. Toyota Parça Merkezi analiz tablosu[284, 285].

YAPIYA AİT BİLGİLER	Yapının Adı : Toyota Parça Merkezi	
	Yapının Mimarı : -	
	Yapının İşlevi : Fabrika	
	Yapım Yeri : Diest/ Belçika	
	Yapım Yılı : 2010	
KULLANILAN NANOMALZEME ve UYGULAMA BİLGİLERİ	Kullanım Alanı :Fotovoltaik panel uygulaması	
	Kullanılan malzeme : Nano-PV/3-D	
	Kullanım Yeri : Çatı	
	Kullanım Amacı : Elektrik Enerjisi Üretimi	
	Kullanım Şekli : İnce Film	
	Özellikleri : Nanomalzeme kullanımı, esneklik ve kolay uygulanabilme	
<p>Japon otomotiv üreticisi Toyota Şirketinin Avrupa'da bulunan parça üretim merkezinin çatısı, 12800 adet ince film güneş paneli kullanılarak kaplanmıştır. Bu uygulama ile yaklaşık 80.000 m² alan güneş enerjisi üretir hale getirilmiştir. Bu yolla fabrikanın ihtiyacı olan enerjinin %15 ile %20 arasında karşılanacağı ve yılda 1.875 ton CO₂ salınımının engelleneceği beklenmektedir.</p>		
		
<p>İnce film güneş pilleri, fiziksel özellikleri ile tasarımcılara esnek yapı formları oluşturma imkânı vermektedir. Boyutsal olarak tasarımı sınırlayıcı bir özellik taşımazlar ve hafif olmaları nedeniyle yapı yükünü fazla arttırmazlar. Nanoboyutlu yarı iletken malzeme kullanılarak güneş pillerinin veriminin artırılması potansiyeline sahip olmaları olumlu özellikleri olarak sıralanabilir.</p>		

ÖZGEÇMİŞ

10.11.1989 yılında Trabzon'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Trabzon'da tamamladı. KTÜ Mimarlık Bölümünde 2007 yılında başladığı lisans öğrenimini 2011 yılında tamamladı. Aynı yıl KTÜ' de yüksek lisans öğrenimine başladı. 2013 yılında KTÜ Mimarlık bölümü Yapı Bilgisi Anabilim Dalına ÖYP ile atandı. Halen aynı bölümde akademik çalışmalarına araştırma görevlisi olarak devam etmektedir. İyi derecede İngilizce bilmektedir.