

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPILARDA KULLANILAN NANOMALZEMELERE
ÇEVRESEL BİR BAKIŞ

İREM USLU TÜZÜN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI

GEBZE
2021

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPILARDA KULLANILAN
NANOMALZEMELERE ÇEVRESEL BİR
BAKIŞ

İREM USLU TÜZÜN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
DR. ÖĞR. Ü. SANİYE KARAMAN ÖZTAŞ

GEBZE
2021

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**AN ENVIRONMENTAL OVERVIEW OF
NANOMATERIALS USED IN BUILDINGS**

İREM USLU TÜZÜN
A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF ARCHITECTURE

THESIS SUPERVISOR
ASSIST. PROF. DR. SANİYE KARAMAN ÖZTAŞ

GEBZE
2021



YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 24/06/2021 tarih ve 2021/28 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 02/07/2021 tarihinde tez savunma sınavı yapılan İrem USLU'nun tez çalışması Mimarlık Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Dr. Öğr. Ü. Saniye KARAMAN ÖZTAŞ

ÜYE

: Doç. Dr. Cahide AYDIN İPEKÇİ

ÜYE

: Doç Dr. Selda AL ŞENSOY

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Günümüzde bilimin ve teknolojinin hızla gelişmesiyle birlikte birçok alanda olduğu gibi, yapı sektöründe de oldukça önemli gelişmeler yaşanmakta ve insanoğlu her geçen gün yeni kavramlarla tanışmaktadır. Bu kavramlardan biri de malzemeleri atomik boyutta tasarlayan ve bu sayede malzemelere üstün özellikler kazandırmayı amaçlayan bilim dalı olan nanoteknolojidir. Nanoteknolojinin mimarideki uygulamaları incelendiğinde, daha dayanıklı, verimli ve performansı yüksek yapı malzemelerinin elde edildiği bilinmektedir. Öte yandan, son yıllarda nano teknolojik yapı malzemelerinin çevresel etkilerini araştıran çalışmaların da artış gösterdiği görülmektedir. Bu tez çalışması kapsamında yapılarda kullanılan nanoteknolojik malzemelerin çevresel açıdan özelliklerinin ve bu alanda öne çıkan çevresel konuların belirlenmesine yönelik bir değerlendirmenin yapılması amaçlanmaktadır. Literatür yöntemiyle belirlenen çevresel kategoriler ve ölçütler kapsamında mimaride kullanılan nanoteknolojik malzemelerin çevresel etkileri 58 bilimsel çalışma ile değerlendirilmiştir. Yapılarda kullanılan nanoteknolojik malzemeler enerji etkinliği, su etkinliği, hammadde etkinliği, insan sağlığına etkiler, iç ve dış mekân hava kalitesinin iyileştirilmesi gibi çevresel konular kapsamında literatür araştırması ve meta analizi yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir.

Çalışmada yapılarda kullanılan nanoteknolojik malzemelerin olumlu ve olumsuz çevresel özellikleri değerlendirilmiş ve gelecekte nanoteknolojik malzemelerin insan sağlığına etkileri, iç ve dış mekân hava kalitesine etkileri konularında daha fazla çalışmanın yapılmasının önem arz ettiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Nanoteknoloji, Yapılarda Kullanılan Nanomalzemeler, Çevresel Etki Değerlendirmesi, Meta Analizi.

SUMMARY

Today, with the rapid development of science and technology, very important developments are experienced in the construction sector, as in many other fields, and humans meet with new concepts every day. One of these concepts is nanotechnology, which is a branch of science that designs materials at an atomic scale and thus aims to give materials superior properties. When the applications of nanotechnology in architecture are examined, it is known that more durable, efficient, and high-performance building materials are obtained. On the other hand, it has been observed that there has been an increase in studies investigating the environmental effects of nanotechnological building materials in recent years. Within this thesis, it is aimed to evaluate the environmental properties of nanotechnological materials used in buildings and the environmental issues that stand out in this field. The environmental impacts of nanotechnological materials used in architecture were evaluated in 58 scientific studies within environmental categories and criteria determined by the literature methodology. The nanotechnological materials used in the buildings were analyzed using literature research and meta-analysis method within environmental issues such as energy efficiency, water efficiency, raw material efficiency, impacts on human health, improvement of indoor and outdoor air quality.

In the study, the positive and negative environmental properties of nanotechnological materials used in buildings were evaluated. It was concluded that it is noteworthy to carry out more studies on the effects of nanotechnology on human health, indoor and outdoor air quality in the future.

Key Words: Nanotechnology, Nanomaterials Used in Buildings, Environmental Impact Assessment, Meta Analysis.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince ve akademik hayatımda fikirleriyle beni yönlendiren ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Saniye KARAMAN ÖZTAŞ'a, tez çalışmamda bilgi ve deneyimleriyle bana yol gösteren Prof. Dr. Tülay TIKANSAK KARADAYI'ya ve Gebze Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü Yapı Bilgisi programındaki hocalarıma eğitime katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Eğitimim sırasında beni her zaman cesaretlendiren, sevgisini ve ilgisini esirgemeyen, bu yolda kendisinden her anlamda güç ve ilham aldığım sevgili babam Servet USLU'ya, sonsuz sevgisiyle yanımda olan çok değerli annem Selma USLU'ya ve beni her zaman güzel düşünceleriyle destekleyen kardeşlerim Alperen USLU ve Gülcan USLU'ya teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	2
1.2 Tezin Kapsamı	3
1.3 Tezin Yöntemi	3
2. NANOTEKNOLOJİ KAVRAMI VE NANO-MALZEMELER	6
2.1. Nanoteknoloji Kavramı ve Nanoteknolojik Malzemeler	6
2.2. Yapılarda Kullanılan Nanoteknolojik Malzemeler	7
2.2.1. Taşıyıcı Sistemde Kullanılan Nanomalzemeler	13
2.2.2. Taşıyıcı Olmayan Yapı Elamanlarında Kullanılan Nanomalzemeler	15
2.2.3. Nanokaplamalar	21
2.2.4. Nanoteknoloji ve Yalıtım Uygulamaları	26
2.3. Nano Malzemelerin Kullanıldığı Yapı Örnekleri	26
3. NANOMALZEMELERİN ÇEVRESEL KRİTERLER	32
BAĞLAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ	
3.1 Nanomalzemelerin Enerji Etkinliği Açısından Değerlendirilmesi	33
3.2 Nanomalzemelerin Su Etkinliği Açısından Değerlendirilmesi	36
3.3 Nanomalzemelerin Hammadde Etkinliği Açısından Değerlendirilmesi	37
3.4 Nanomalzemelerin İnsan Sağlığı Açısından Değerlendirilmesi	38
3.5 Nanomalzemelerin Hava Kalitesi Açısından Değerlendirilmesi	40

4. NANOTEKNOLOJİK YAPI MALZEMELERİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN İNCELENMESİ	42
4.1 Meta Analizi Kavramı	42
4.2 Verilerin Toplanması	45
4.3 Verilerin İşlenmesi	46
4.4 Verilerin Analiz Edilmesi	48
4.4.1 Çalışmaların Genel Özelliklerinin Analizi	50
4.4.2 Çalışmaların İçerik Analizi	53
4.4.2.1 Çalışmalar Kapsamında Belirlenen Çevresel Kategoriler ve Ölçütleri	54
4.4.2.2 Ölçütlerin Bilimsel Çalışmalarda Görülme Sıklıklarının Belirlenmesi	56
4.4.2.3 Nanoteknolojik Yapı Malzemeleri Özelinde Çevresel Kategori ve Ölçütler	60
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	70
KAYNAKLAR	76
ÖZGEÇMİŞ	92
EKLER	93

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Açıklamalar

Kısaltmalar

$\sum ni$	: İncelenen Toplam Kaynak Sayısı
f	: Sıklık
ni	: Ölçütün Görüldüğü Kaynak Sayısı
0B	: Sıfır Boyutlu
1B	: Bir Boyutlu
2B	: İki Boyutlu
3B	: Üç Boyutlu
Ag	: Gümüş
CO ₂	: Karbon Dioksit
KNT	: Karbon Nanotüp
MEB	: Milli Eğitim Bakanlığı
MIT	: Massachussets Institute of Technology
NO ₂	Nitrojen Dioksit
SO ₂	: Silisyum Dioksit
TiO ₂	: Titanyum Dioksit
USEPA	: U.S. Environmental Protection Agency
UV	: Ultraviyole
ZnO	: Çinkooksit

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
1.1: Çalışmanın yöntemi	4
2.1: Risklerin gelişimi konusunda etki diyagramı	7
2.2 Ürün içerisindeki konumlarına göre nanomalzemeler	10
2.3: Tuğlalarda kullanılan hidrofobik kaplama	15
2.4: Fotokromik cam uygulamaları	16
2.5: Elektrokromik camların renk değişim prensibi	16
2.6: Lotus yaprağı yüzeyinde su damlacığı hareketinin şematik gösterimi	20
2.7: Buğulanma önleyici ayna	23
3.1: 1980–2050 yılları arasında konutlarda enerji tüketiminin farklı etkenlerindeki eğilimleri	31
3.2: 1980–2050 yılları arasında ticari binalarda enerji tüketiminin farklı etkenlerindeki eğilimleri	32
4.1: İncelenen çalışmaların kaynak türlerine göre dağılımı	51
4.2: İncelenen çalışmaların yıllara göre dağılımı	51
4.3: İncelenen çalışmaların ulusal ve uluslararası yayın olma özelliklerine göre dağılımı.	52
4.4: İncelenen çalışmaların yayınlandıkları kıtalara göre dağılımı	
4.5: İncelenen çalışmaların yayınlandıkları dergilere göre dağılımı	53
4.6: İncelenen çalışmalarda kullanılan araştırma yöntemlerine göre dağılımı.	54
4.7: Bilimsel yayınlarda belirlenen çevresel kategorilerin bulunma sıklıkları.	56
4.8: Enerji kategorisindeki ölçütler ve görülme sıklıkları	57
4.9: Su kategorisindeki ölçütlerin görülme sıklık değerleri	57
4.10: Hammadde kategorisindeki ölçütlerin görülme sıklık değerleri	58
4.11: İnsan sağlığı kategorisindeki ölçütlerin görülme sıklık değerleri	59
4.12: Dış mekan hava kalitesi kategorisindeki ölçütlerin görülme sıklık değerleri.	59

4.13:	İç mekan hava kalitesinin iyileştirilmesi ölçütünün görülme sıklık değeri.	60
4.14:	Strüktürel nanomalzemelerin (çelik, ahşap, beton) bilimsel çalışmalarda belirtilme oranları	60
4.15:	Taşıyıcı olmayan yapı elemanlarında kullanılan nanomalzemenin bilimsel çalışmalarda belirtilme oranları.	61
4.16:	Nanokaplamaların bilimsel çalışmalarda belirtilme oranları.	62
4.17:	Nano yalıtım, nano fotovoltaiik panel ve nano aydınlatma malzemelerinin bilimsel çalışmalarda dağılım oranları.	62
4.18:	Strüktürel yapı malzemelerinin sürdürülebilirlik kapsamında etkileri ve bu etkilerin kaynaklarda belirtilme oranları.	63
4.19:	Taşıyıcı olmayan yapı elamanlarında kullanılan nanomalzemelerin sürdürülebilirlik kapsamında etkileri ve bu etkilerin kaynaklarda belirtilme oranları.	64
4.20:	Nanoteknolojik kaplamaların sürdürülebilirlik kapsamında etkileri ve bu etkilerin kaynaklarda belirtilme oranları.	66
4.21:	Nanoteknolojik yalıtım uygulamalarının sürdürülebilirlik kapsamında etkileri ve bu etkilerin kaynaklarda belirtilme oranları.	67
4.22:	Nanoteknolojik fotovoltaiik panel uygulamalarının sürdürülebilirlik ölçütleri kapsamında dağılımı.	68
4.23:	Nanoled uygulamalarının sürdürülebilirlik kapsamında etkileri ve bu etkilerin kaynaklarda belirtilme oranları.	68
4.24:	İncelenen yayınlardaki gelecek çalışma önerileri ve belirtilme sıklığı.	64

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Yapılarına göre nanomalzemeler	7
2.2: Boyutlarına göre nanomalzemeler	8
2.3: Ürün içerisindeki konumlarına göre nanomalzemeler	9
2.4: İçeriklerine göre nanomalzemeler	11
2.5: Yapılarda kullanımlarına göre nanomalzemeler	12
2.6: Strüktür uygulamalarında nanoteknoloji kullanımı	14
2.7: Nano-parçacıklar ve boyaya sağladığı özellikler	19
2.8: Boyalar kullanılan nano-parçacıklar ve olası yararları	19
2.9: Nanoçimento örneği, jubilee kilisesi	25
2.10: Vakumlu ısı yalıtım paneli örneği, seitzstrasse binası	27
2.11: Nanoboya örneği, ara pacis museum	28
2.12: Aerojel ısı yalıtım örtüsü örneği, imparatorluk savaş müzesi	28
2.13: Bakteri karşıtı nanoboya örneği, the westin gaslamp oteli	29
2.14: Nanobeton örneği, Italcementi Ar-Ge merkezi	29
2.15: Kolay temizlenen nanokaplama örneği, One World Ticaret Merkezi	29
4.1: Çalışma kapsamında ele alınan bilimsel çalışmalar	46
4.2: Meta analizinin sınıflandırma çerçevesi	49
4.3: Nanomalzemelere yönelik yayınlar kapsamında belirlenen çevresel kategoriler ve ölçütler	54

1. GİRİŞ

Hızlı nüfus artışı ve endüstriyel gelişmeler nedeniyle doğal kaynak tüketiminin ve çevre kirliliğinin artması ekosisteme büyük zararlar vermektedir. 1970’li yıllarda yaşanan ekolojik krizle birlikte mevcut toplumsal parametrelere alternatif ekolojik söylemler dile getirilmeye, kaynakların kullanımını azaltıcı önlemler alınmaya ve bu doğrultuda yeni teknolojiler geliştirilmeye başlanmıştır. Yapılan araştırmalar doğal kaynakların büyük bir bölümünün inşaat sektöründe kullanıldığını ortaya çıkarmıştır. Bu nedenle sürdürülebilir teknolojiler ve malzemeler önem kazanmaya ve yapı sektöründe kullanılmaya başlanmıştır.

Günümüzde teknolojinin hızla gelişmesiyle birlikte birçok alanda önemli gelişmeler yaşanmakta ve insanoğlu her geçen gün yeni kavramlarla tanışmaktadır. Bu kavramların arasında “nanoteknoloji” oldukça önemli bir yere sahiptir. Güncel üretim teknolojileri konularından biri olan nanoteknoloji kavramının temeli, Richard Feynman tarafından 1959 yılında “Aşağıda Daha Çok Yer Var” isimli konuşmasında malzemelerin parçacık boyutunda üretimi ile elde edilebilecek yararları açıklamasına dayanmaktadır [Feynman, 1960].

Nanoteknoloji, maddeleri nanoölçekte kontrol edip, atom ve molekül seviyesinde çalışarak gelişmiş kimyasal, mekanik ve fiziksel özelliklere sahip yapılar elde edilmesini sağlamaktadır [Bozkaya, 2013]. Yapı malzemeleri yaşam döngüsü boyunca çevresel değerlere zarar vererek ve insan sağlığını olumsuz etkileyerek sorunlara neden olmaktadır [Say ve Wood, 2008]. Bu nedenle yapı malzemelerinin sürdürülebilir özelliklere sahip olması önemli olmaktadır.

Nanoteknolojinin mimariye olan en somut etkisi malzeme bilimi üzerinde olmuştur. Yapılarda nanomalzemelerin kullanılması ile geleneksel malzemelerin yerini atom/molekül seviyesinde üretilen nanomalzemelere bırakması beklenmektedir. Bu değişimi yalnızca malzemeyle sınırlı kalmayıp yapı tasarımı, üretim, montaj ve son ürün gibi özellikleri de büyük değişime uğratacaktır [Yılmaz, 2014].

Nanomalzemelerin kazandırdıkları özelliklerin yanı sıra bu yeni malzemelerin yaşam döngüsü boyunca çevresel etkilerinin de değerlendirilmesi önemlidir. Nanoteknolojik malzemelerin bariz fayda ve potansiyelleri, ne ekolojik ve insan sağlığı risklerinin bir değerlendirmesiyle ne de nano-tabanlı ürün ve hizmetlerin yaşam döngüsü boyunca tüm yönlerinin bütünsel bir değerlendirmesiyle doğrulanmaktadır

[Bauer ve diğ, 2008]. Nanomalzemelerin çevre ve insan sağlığı üzerindeki uzun vadeli etkilerine ilişkin makul endişeleri araştıran sınırlı araştırma mevcuttur. Nanopartiküllere uzun süre maruz kalmanın yanı sıra nanopartikül içeren ürünlerin kullanımı nedeniyle uzun vadeli olumsuz etkiler gelişebilmektedir [De La Calle, 2016]. Nanomalzemeler, hala riskler taşımaktadır. Birçok nanomalzemenin yaşam döngüsü analizi çevre dostu olmamakla birlikte çevresel etkileri konusunda hala belirsizlikler mevcuttur. Bu nedenle var olan bu boşluğun doldurulabilmesi ve nanoteknolojinin gelişebilmesi için bu alanda daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir [Pacheco-Torgal, 2016].

Bu bağlamda, tez çalışmasında yapılarda kullanılan nanoteknolojik malzemelerin olumlu ve olumsuz çevresel özelliklerinin araştırılması ve değerlendirmesi üzerine odaklanılmıştır.

1.1. Tezin Amacı

Bu çalışmada, yapılarda kullanılan nanoteknolojik malzemelerin çevresel etkilerinin, avantaj ve dezavantajlarının belirlenmesine yönelik bir değerlendirmenin yapılması amaçlanmaktadır. Bu hususta;

- literatürde ön plana çıkan nanoteknolojik malzemeye yönelik sürdürülebilirlik kategorilerinin ve ölçütlerinin belirlenmesi
- belirlenen kriter ve ölçütlerin literatürde ele alınma sıklığı ve dağılımının belirlenmesi
- nanoteknolojik yapı malzemeleri özelinde öne çıkan çevresel etkilerin belirlenmesi ve analiz edilmesi amaçlanmaktadır.

Nanoteknolojik yapı malzemelerinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesini konu alan bu çalışmada kullanılan meta analizi yönteminin sağladığı literatürde belirtilen;

- ele alınan literatürdeki çalışma sonuçlarının birleştirici, objektif ve sistematik olarak özetlenebilmesi [Kavale, 2001],
- ileride yapılması planlanan araştırmalara ve alınacak kararlara katkı sağlaması [Franke, 2001],

- analiz sonucunda elde edilen verilerin, yeni araştırma konularının ortaya çıkmasına vesile olması [Franke, 2001]

amaçlarından yararlanılması hedeflenmiştir.

Çalışma ile nanoteknolojik yapı malzemelerinin çevresel etkilerinin farklı çalışmalarla birlikte ortaya konulmasının sağlanması, yapım sektöründeki paydaşların malzeme seçimleri kararlarına katkı sağlanması ve nanoteknolojik malzemeler konusunda çevresel farkındalığın sağlanması hedeflenmektedir.

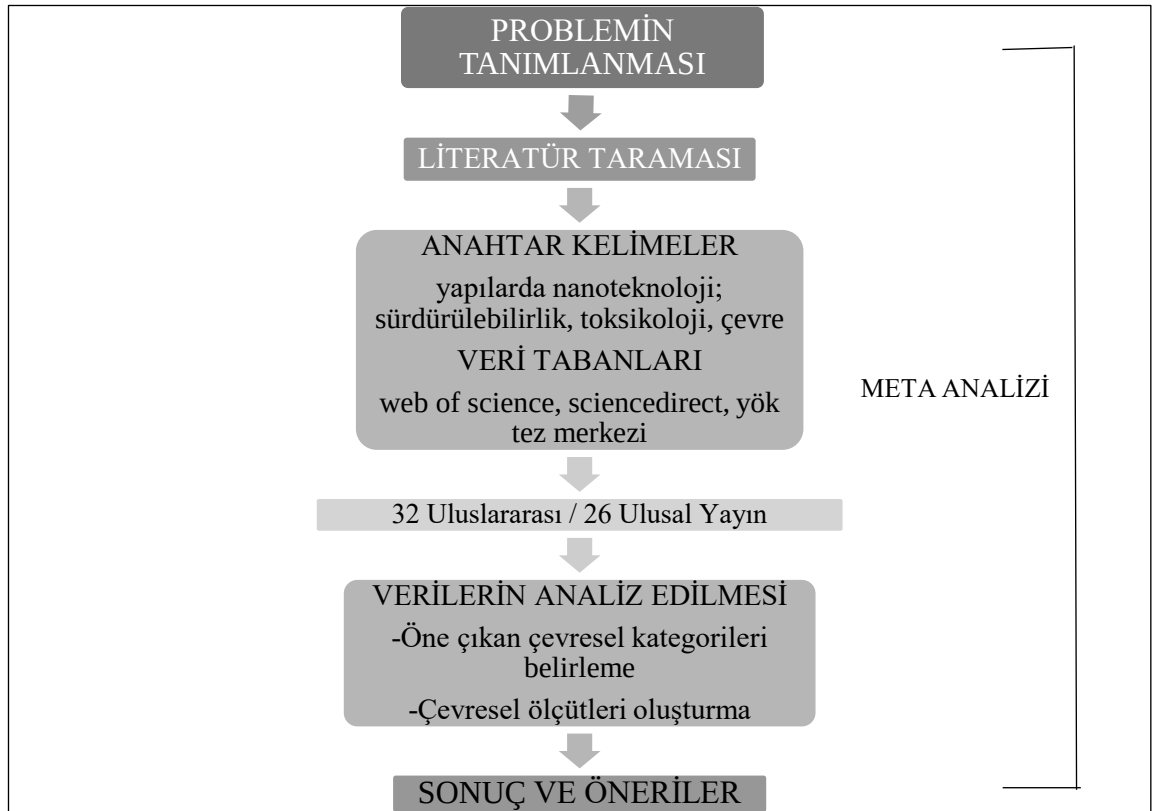
1.2. Tezin Kapsamı

Çalışmada, yapılarda kullanılan nanomalzemelerin çevresel etkileri ile ilgili çalışmaların 2008 yılından itibaren yaygınlaştığı görülmüştür. Bu nedenle 2008 yılından 2020 yılına dek yayınlanmış erişilebilen 26'sı ulusal, 32'si uluslararası çalışmadan oluşan 58 bilimsel çalışma (makaleler, konferans bildirileri ve tezler) incelenmiştir. Çalışmada nanoteknolojik yapı malzemeleri; literatürde öne çıkan enerji etkinliği, su etkinliği, hammadde etkinliği, insan sağlığı, dış ve iç mekan hava kalitesi açısından ele alınmıştır. Belirlenen bu 6 çevresel kategori başlığı ve 31 alt ölçüt esas alınarak değerlendirme yapılmıştır. Nanoteknolojik malzemeler bütünsel olarak değerlendirilmenin yanı sıra yapı malzemeleri özelinde de (nanoteknolojik strüktürel malzemeler, taşıyıcı olmayan yapı elemanlarında kullanılan nanomalzemeler, nano kaplamalar, nanoteknolojik yalıtım uygulamaları, nanoteknoloji ve fotovoltaiik paneller, nano yapıştırıcılar, nano plastikler ve nano aydınlatma elemanları) değerlendirilmiştir.

Bu bağlamda, çalışmanın ilk giriş bölümünün ardından ikinci bölümde nanoteknoloji ve nanomalzeme kavramları açıklanmış, yapılarda kullanılan nanoteknolojik malzemeler sınıflandırılmış ve bu malzemelerin yapılarda kullanılan örnekleri incelenmiştir. Üçüncü bölümde yapılarda kullanılan nanomalzemeler, belirlenen çevresel kategoriler kapsamında değerlendirilmiştir. Çalışmanın dördüncü bölümünde ise yapılarda kullanılan nanomalzemelerin çevresel etkileri, literatür araştırması sonucunda belirlenen yayınların meta analizi yöntemiyle değerlendirilmesiyle analiz edilmiştir. Tartışma ve sonuç bölümünde analiz sonuçları yorumlanarak gelecekte yapılacak çalışmalar için öneriler verilmiştir.

1.3. Tezin Yöntemi

Çalışmada literatür araştırması ve meta analizi yöntemi kullanılmıştır. Kaynak araştırması; nanomalzemelerin tanımlanmasına, sınıflandırılmasına, yapılarda kullanılan uygulamaların incelenmesine ve çevresel etkilerinin araştırılmasına yönelik yapılmıştır. Daha sonra konu ile ilgili belirlenen bilimsel çalışmaların değerlendirilmesinde kullanılmak üzere meta analizi yöntemi kullanılmıştır. Meta analizi yöntemi, aynı konu alanında yeterli sayıda çalışmanın ortak parametrelerinin elde edilen veriler doğrultusunda yorumlanmasıdır. Başka bir deyişle bu süreç, problemlerin belirlenmesi, hedeflenen doğrultuda verilerin toplanması, sonrasında analiz ve değerlendirme basamaklarından oluşmaktadır. Analiz sonucunda, bu alandaki çalışmaların çevresel etkiler açısından avantaj ve dezavantajlarının tespit edilmesiyle, önemli çevresel konuların ortaya çıkarılmasıyla ve üzerinde çalışılması gereken konuların vurgulanmasıyla birlikte öneriler sunulmaktadır. Bu çalışmada kullanılan yöntem Şekil 1.1’de belirtilmektedir.



Şekil 1.1: Çalışmanın yöntemi.

Meta analizi yöntemine veri sağlayacak bilimsel çalışmaların taranmasında Scopus, Springer, Web of Science, ScienceDirect, Yök Ulusal Tez Merkezi veritabanları kullanılmıştır. Clarivate Analytics tarafından sağlanan Web of Science Core Collection; Web of Science, Science Citation Index Expanded (Sci-Expanded), Social Science Citation Index (SSCI), Arts&Humanities Citation Index (A&HCI) ve Emerging Sources Citation Index (ESCI) içeren çoklu veritabanı platformudur. 12000'den fazla uluslararası dergi içermekte ve araştırmacılar tarafından düzenli olarak kullanılmaktadır [Zeng R., Chini A., 2017]. Aramalarda anahtar kelime olarak İngilizce kaynaklar için “nanotechnology in building”, “nanomaterials in buildings”, Türkçe kaynaklar için ise “yapılarda nanoteknoloji”, “yapılarda nanomalzemeler” anahtar kelimeleri kullanılmıştır. Bu anahtar kelimeler kullanılarak ulaşılan 435 bilimsel çalışmaya ulaşılmıştır. Ulaşılan yayınlar ‘sustainability’, ‘toxicology’, ‘green sustainable science technology’, ‘engineering environmental’, ‘environmental sciences’ veya “sürdürülebilirlik”, “toksikoloji”, “çevre” gibi konu başlıkları ile sınırlandırılmıştır. Toplamda makale, tez ve bildirilerden oluşan ulusal ve uluslararası 58 bilimsel araştırma meta analizi yöntemiyle incelenmiştir.

Elde edilen yayınların analizi için öncelikle yapılarda kullanılan nanomalzemeler sınıflandırılmıştır. Daha sonra yaşam döngüsü sürecinde öne çıkan çevresel kategoriler belirlenmiş ve değerlendirilmiştir.

2. NANOTEKNOLOJİ KAVRAMI VE NANOMALZEMELER

Çalışmanın bu bölümünde nanoteknoloji kavramının tanımı ve nanomalzemelerin özellikleri hakkında bilgiler verilmiştir. Nanomalzemeler yapılarına göre, boyutlarına göre, ürün içerisindeki konumlarına göre, içeriklerine göre ve yapılarda kullanımlarına göre detaylı olarak sınıflandırılmıştır. Son olarak yapılarda kullanılan nanomalzeme uygulamaları ve bu nanomalzemelerin yapıya kazandırdıkları özellikler incelenmiştir.

2.1. Nanoteknoloji Kavramı ve Nanoteknolojik Malzemeler

Nanoteknoloji, maddenin moleküler boyutta mühendisliğinin yapılarak nanometre ölçeğinde fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin ortaya çıkarılması, kontrolü ve üretimi amacıyla işlevsel malzemelerin ve sistemlerin geliştirilmesini sağlayan teknolojiler bütünü olarak adlandırılmaktadır.

Nanoteknolojinin malzemeler üzerindeki en erken örneği 14. Yüzyılda Romalı bir cam ustasının yaptığı “Lycurgus’-un kupası”dır. Bu eser, içeriğindeki gümüş ve altın nano parçacıklar nedeniyle güneş ışığı etkisiyle rengini yeşilden koyu kırmızıya dönüştürebilme özelliğine sahiptir. Bu yıllarda ismi konulmayan bu teknoloji, 1959 yılında Richard Feynman’ın “Aşağıda daha çok yer var (There is a plenty of room at the bottom)” başlıklı ünlü konferansında “atomik ve moleküler düzeyde malzemelerin oluşturulması, yeni buluşların temeli olacaktır” sözüyle ortaya çıkmıştır [Feynman, 1959]. Nanoteknoloji terimi, Japon bilim insanı Norio Taniguchi tarafından ilk kez 1974 yılında kullanılmıştır [Taniguchi, 1974].

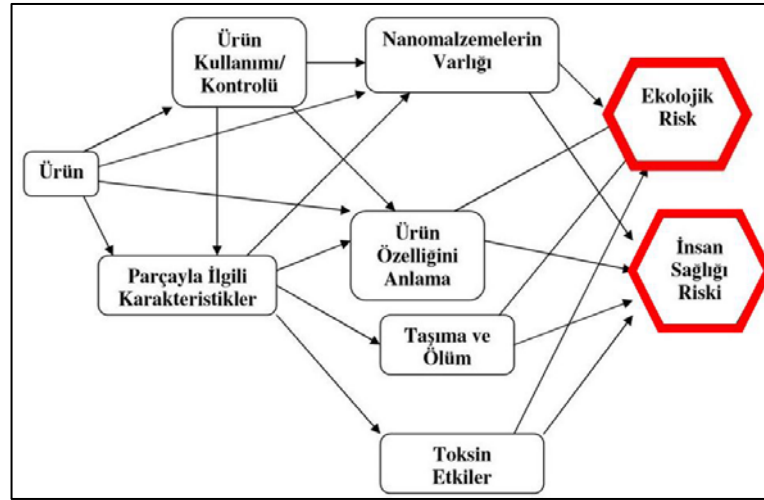
Nanoteknoloji “daha azına daha fazlasını” vaat eden heyecan verici bir bilimsel gelişim alanıdır. Daha akıllıca işler yapabilen, daha az hammadde kullanan ve daha az enerji tüketen daha küçük, daha ucuz, daha hafif ve daha hızlı cihazlar yaratmanın yollarını sunan bir bilimdir. [Elborombaly, 2016].

1980 yılından itibaren nanoteknoloji araştırmaları dünya genelinde büyük bir hız kazanmıştır [Yılmaz, 2014]. Ancak bu teknolojinin gelişim evrelerinde karşılaşılan en önemli paradoks; nanoteknolojik ürünlerin üretim, kullanım ve kullanım sonrası aşamalarında doğaya verdikleri zararlarıdır.

Herhangi bir teknolojiden korkma, insan ve çevre üzerindeki yan etkilerine karşı önlem alınmasına neden olmuştur. Çok çeşitli uygulamalara sahip birçok yeni malzeme ve cihaz oluşturma potansiyeline sahip olan bu teknoloji, üretilen nanomalzemelerin toksisitesi ve çevresel etkisi hakkında endişeleri de beraberinde getirmektedir [Elborombaly, 2016].

Geliştirilen bu malzemelerin insanlar ve çevre üzerindeki etkileri karmaşıktır ve partikül özelliklerine ve kimyasal toksisitesine bağlı olarak değişmektedir [Science for Environment Policy, 2017].

Nanomalzemelerin oluşturduğu risklerin gelişimi konusundaki etki diyagramı Şekil 2.1’de gösterilmektedir [URL 3]. Buna göre, bu çalışma kapsamında risk gelişimi etki diyagramında son iki basamak olan ekolojik risk ve insan sağlığı riskleri analiz edilmektedir.



Şekil 2.1: Risklerin gelişimi konusunda etki diyagramı.

2.2. Yapılarda Kullanılan Nanoteknolojik Malzemeler

Bu çalışmada yapılarda kullanılan nanoteknolojik malzemeler yapılarına göre, boyutlarına göre, ürün içerisindeki konumlarına göre, içeriklerine göre ve yapılarda kullanımlarına göre sınıflandırılmıştır.

Yapılarına göre nanomalzemeler;

Organik ve inorganik nano malzemeler olarak sınıflandırılabilir (Tablo 2.1). Organik nanomalzemeler biyolojik, jeolojik, atmosferik ve termolojik parçacıklardan oluşmaktadır. Karbon atomu içermeyen nanomalzemeler ise inorganik nanomalzemeler olarak adlandırılmaktadır [Hansen, 2009].

Tablo 2.1: Yapılarına göre nanomalzemeler.

Yapılarına Göre Nanomalzemeler	Organik Nanomalzemeler	• Fulleren, • Karbon nanotüp, • Arojel vb.
	İnorganik Nanomalzemeler	• Nano- Titanyum Dioksit (nano-TiO₂), • Nano-Silika (nano-SiO₂), • Nano- Alüminyum Oksit (nano-Al₂O₃) vb.

Boyutlarına göre nanomalzemeler;

Sıfır boyutlu, tek boyutlu, iki boyutlu ve üç boyutlu nanomalzemeler olarak sınıflandırılabilir (Tablo 2.2).

Tablo 2.2: Boyutlarına göre nanomalzemeler.

Boyutlarına Göre Nanomalzemeler	Sıfır Boyutlu Nanomalzemeler	• Nanotopaklar • Nanoparçacıklar
	Bir Boyutlu Nanomalzemeler	• Nanoteller
	İki Boyutlu Nanomalzemeler	• Nanofilmler • Nanokaplamalar
	Üç Boyutlu Nanomalzemeler	• Fullerenler, • Karbon Nanotüpler • Aerojeller

Yapılarında serbest elektronların bulunduğu ancak hareket kabiliyeti olmayan malzemeler '0 boyutlu (0B) nanomalzemeler' olarak adlandırılmaktadır. Kuantum noktaları ve nanotoplar bu sınıfta yer almaktadır [Erkoç, 2012]. Tek boyutlu malzemeler genellikle elektronik ve kimyada yüzeyler ve ince filmler olarak kullanılanlardır. İnşaat endüstrisi durumunda, ışık ve ısıyı düzenleyen akıllı cam

üretmek için ince filmler ve yüksek verimli fotovoltaik hücreler uygulama örnekleri olarak verilebilmektedir [Yanfeng et al., 2012].

Serbest elektronlar iki yönde hareket edebiliyorsa bu nanomalzemeler ‘iki boyutlu (2B) nanomalzemeler’ olarak adlandırılmaktadır. Katmanlı yapıdaki nanomalzemelerin büyük çoğunluğu bu sınıfta yer alır [Erkoç, 2012]. İki boyutlu nanomalzemeler kalınlığı nano boyutta olan ve yüzey halinde üretilen nanomalzemelerdir [Kayır ve Baççıl, 2010]. Nanokaplamalar, nanofilmler ve nanokatmanlar iki boyutlu nanomalzemelerdir [Tallinn University of Technology, 2014]. Nanomalzemelerin boyutları içerdikleri serbest elektronların hareket yönlerine göre belirlenmektedir. Bir nanomalzemenin içerdği serbest elektron üç yönde de hareket edebiliyorsa bu nanomalzemeler ‘üç boyutlu (3B) nanomalzemeler’ olarak adlandırılmaktadır. Kristal yapılı tüm nanomalzemeler bu sınıfta yer alır [Erkoç, 2012].

Üç boyutlu nanomalzemeler fullerenler, karbon nanotüpler ve aerojellerdir. Ürün içerisindeki konumlarına göre nanomalzemeler;

Kütle içerisinde yer alan nanomalzemeler, yüzeye uygulanan nanomalzemeler ve nanoparçacıklar içeren nanomalzemeler olarak sınıflandırılmaktadır [Hansen, 2009], (Tablo 2.3).

Tablo 2.3: Ürün içerisindeki konumlarına göre nanomalzemeler.

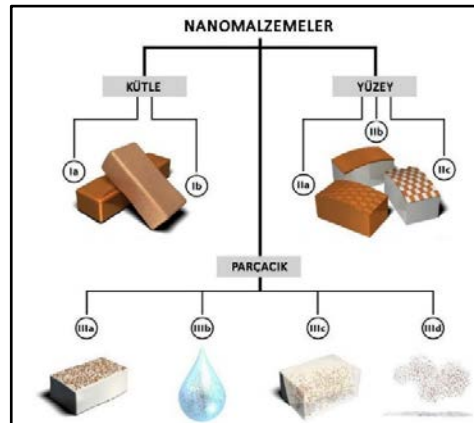
Ürün İçerisindeki Konumlarına Göre Nanomalzemeler	Kütle İçerisinde Yer Alan Nanomalzemeler	• Kütle içerisinde tek tür nanomalzeme bulunduran • Kütle içerisinde iki ya da daha fazla farklı nanomalzeme bulunduran
	Yüzeye Uygulanan Nanomalzemeler	• Kütle ve yüzeyin aynı malzemedan olduğu nanomalzemeler • Farklı bir malzemenin alt yüzeyinde nano incelikte desensiz bir film tabakası ile kaplı nanomalzemeler • Alt yüzeyinde nano incelikte desenli bir film tabakası ile kaplı nanomalzemeler

Tablo 2.3 (Devam): Ürün içerisindeki konumlarına göre nanomalzemeler.

Ürün İçerisindeki Konumlarına Göre Nanomalzemeler	Nanoparçacıklar İçeren Nanomalzemeler	- Farklı katı biçimdeki bir malzemenin yüzeyine tutunan nanoparçacıklar - Bir sıvı içerisinde asılı nanoparçacıklar - Katı malzemelerde asılı nanoparçacıklar - Havada asılı halde bulunan nanoparçacıklar [Hansen, 2009].
--	--	---

Bu üç kategori malzemelerin risk değerlendirmeleri ve zararlılıklarının tespiti için yapılması amacıyla alt başlıklara ayrılmaktadır.

- Kütle içerisinde yer alan nanomalzemeler; kütle içerisinde tek tür nanomalzeme bulunduranlar ve kütle içerisinde iki ya da daha fazla farklı nanomalzeme bulunduranlar olarak,
- Yüzeye uygulanan nanomalzemeler; kütle ve yüzeyin aynı malzemedен oluştuğu nanomalzemeler, farklı bir malzemenin alt yüzeyinde nano incelikte desensiz bir film tabakası ile kaplı nanomalzemeler, alt yüzeyinde nano incelikte desenli bir film tabakası ile kaplı nanomalzemeler olarak,
- Nanoparçacıklar içeren nanomalzemeler; farklı katı biçimdeki bir malzemenin yüzeyine tutunan nanoparçacıklar, bir sıvı içerisinde asılı nanoparçacıklar, katı malzemelerde asılı nanoparçacıklar, havada asılı halde bulunan nanoparçacıklar olarak sınıflandırılmıştır [Hansen, 2009].



Şekil 2.2: Ürün içerisindeki konumlarına göre nanomalzemeler.

İçeriklerine göre nanomalzemeler;

Karbon bazlı nanomalzemeler, metal bazlı nanomalzemeler, dendrimerler ve nanokompozitler olarak sınıflandırılmaktadır [Hansen, 2009] (Tablo 2.4).

Tablo 2.4: İçeriklerine göre nanomalzemeler.

İçeriklerine Göre Nanomalzemeler	Karbon Bazlı Nanomalzemeler	• Tüpler (nanotüp/nanoçubuk), • Elipsoidler (nanohalka) • Boş küreler (nanotop)
	Metal Bazlı Nanomalzemeler	• Nano gümüş • Nano alüminyumoksit • Nano titanyumdioksit vb.
	Nanokompozitler	• Polimer • Seramik • Metal

Karbon bazlı nanomalzemeler; karbon içeren nanomalzemelerdir. Bu malzemeler tüp (nanotüp/nanoçubuk), elipsoid (nanohalka) ve boş küre (nanotop) biçimlerinden oluşmaktadırlar. Elipsoid ve küre biçimindeki nanomalzemeler fulleren olarak adlandırılırken, silindirik biçimdeki nanomalzemeler karbon nanotüp olarak adlandırılmaktadır [USEPA (U.S. Environmental Protection Agency), 2007].

Metal bazlı nanomalzemeler; içeriğinde çinko, gümüş, titanyum gibi metal barındıran nanomalzemeler metal bazlı nanomalzemeler sınıfında yer almaktadır. Çinko oksit, titanyum dioksit, nanogümüş gibi metal oksitleri içeren bu malzemeler, kullanımı en yaygın olan nanomalzemelerdir [USEPA, 2007].

Nanoçinko oksitler boyaların içine katıldıklarında ultraviyole ışınları soğurma özellikleri sebebiyle güneş koruyucu işleve sahip olmaktadır. Bakteri ve mantar oluşumunu engelleyici özellikleri de bulunmaktadır [Akıncı, 2014].

Nano gümüş; genellikle kaplamalarda kullanılan nanogümüşler, koku, küf, mantar ve bakteri oluşumunu engelleyen antibakteriyel özellik göstermektedirler. Genellikle ahşap, boya, seramik, tekstil gibi yapı malzemelerinde kullanılmaktadırlar.

Nano alüminyumoksit; malzeme yüzeylerine uygulanan nano alüminyum oksit, kaplamalarda bozulmayı önleyici özelliktedir ve bağlayıcı malzeme ile etkileşimi sağlamaktadır.

Nano titanyumdioksit; geniş kullanım alanına sahip olan titanyumdioksit, su seven (hidrofilik) özellikleri ile kendi kendini temizleyen yüzeyler oluşturmaktadır. Organik kirletici maddeleri, uçucu organik bileşenleri ve zararlı maddeleri

fotokatalitik reaksiyonlarla parçalamaktadır. Ultraviyole ışığı soğurabilme özelliği sayesinde ise uygulandıkları yüzeyde oluşabilecek bozulmaları da engellemektedir. Genellikle camlarda, boyalarda ve çimentoda kullanılmaktadır. Enerji depolama özelliği nedeniyle fotovoltaiik panellerde de kullanılmaktadır [Mann, 2014], [Web 1]

Nanokompozitler; iki ya da ikiden fazla malzemenin birlikte kullanılmasıyla elde edilen yeni malzemeler kompozit malzemeler olarak adlandırılmaktadırlar [Öney, 2013]. Kompozit malzemelerin nano boyutta uygulanmasıyla ise nanokompozitler elde edilmektedir. Malzemelerin yapılarına nano boyutta tanecikler takviye edildiğinde ortaya çıkan kompozit malzeme önemli ölçüde fiziksel ve ısı özelliklere sahip olmaktadır [Baykara, 2010]. Nanokompozitler üç boyutlu nanokompozitler sınıfına girmektedir. Nanokompozitler polimer, seramik veya metal olabilmektedir ve nano ölçekten daha büyük boyutlara sahiptir [Ashby, 2009].

Yapılarda kullanımlarına göre nanomalzemeler;

Strüktürel olarak kullanılan nanomalzemeler, taşıyıcı olmayan yapı elemanlarında kullanılan nanomalzemeler, nanokaplamalar, nanoteknolojik yalıtım uygulamaları, nanoteknolojik fotovoltaiik paneller, nano yapıştırıcılar, nano plastikler, nano aydınlatma elemanları olarak Tablo 5’te sınıflandırılmıştır [Elvin, 2013], [Kayır, 2010], [Mann, 2014], [Avcı,2009], [Yılmaz,2013].

Tablo 2.5: Yapılarda kullanımlarına göre nanomalzemeler.

Yapılarda Kullanımlarına Göre Nanomalzemeler	Taşıyıcı Sistemlerde Kullanılan Nanomalzemeler	• Nano beton • Nano ahşap • Nano çelik
	Taşıyıcı Olmayan Yapı Elemanlarında Kullanılan Nanomalzemeler	• Nano çimento • Nano tuğla • Nano cam • Nano boya

Tablo 2.5 (Devam): Yapılarda kullanımlarına göre nanomalzemeler.

Yapılarda Kullanımlarına Göre Nanomalzemeler	Nanokaplamalar	• Kendi kendini temizleyen nanokaplamalar • Havayı temizleyen nanokaplamalar • Buğu tutmayan nanokaplamalar • Bakteri karşıtı nanokaplamalar • Parmak izi tutmayan nanokaplamalar • Uv ışınlarından koruyan nanokaplamalar • Çizilmeyen ve aşınmaya dirençli nanokaplamalar
	Nanoteknoloji ve Yalıtım Uygulamaları	
	Nanoteknoloji ve Fotovoltaik Paneller	
	Nano Yapıştırıcılar	
	Nano Plastikler	
	Nano Aydınlatma Elemanları	

2.2.1. Taşıyıcı Sistemde Kullanılan Nanomalzemeler

- Nano Beton

Nanoteknoloji ile nano boyutlardaki değişimler geleneksel malzemelere oranla daha düşük enerjili, uzun ömürlü ve daha yüksek fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip beton malzemeler üretilmektedir. Beton karışımına eklenen taneciklerin nano boyutlarda olmasıyla birlikte beton dayanımında yaklaşık dört kat artış olmaktadır [Mann, 2014].

- Nano Çelik

Çelik malzemeler üretilirken yapılarına nanopartiküller eklendiğinde çeliğin sertliğinin artırılması, korozyon direncinin veya mukavemetinin artırılması, manyetik özelliklerinin geliştirilmesi, aşınma direncinin artırılması gibi özellikler kazanmaktadır. Yapılan araştırmalar, nanotekniklerle üretilen çeliklerin geleneksel çelik malzemelere oranla üç kat daha dayanıklı olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda korozyona karşı dayanımları da geleneksel çeliklere oranla 5 kat daha fazla olmaktadır [Web 2].

- Nano Ahşap

Ahşap strüktür uygulamalarında en büyük problemlerden biri çürümedir. Nano tekniklerle üretilen ahşabın molekül yapısının değiştirilmesiyle mikroorganizmaları kontrol edici veya öldürücü etkisi olan, çevreci ahşap malzemeler elde edilmektedir [Elvin, 2010]. Tablo 2.6 strüktür uygulamalarında kullanılan nanomalzemelerin kullanım biçimine, kullanımdaki avantaj ve dezavantajlarına işaret etmektedir [Yılmaz, 2014].

Tablo 2.6: Strüktür uygulamalarında nanoteknoloji kullanımı.

	Nanomalzeme	Kullanım Biçimi	Avantajlar	Dezavantajlar
Beton	Nanotanecikli çimento	Geleneksel çimentonun yerine kullanılması	Dayanım artışı, enerji tasarrufu	Nano ölçekte üretim ve kontrol zorluğu
	Silisyumdioksit	Beton karışımına SiO ₂ nanoparçacıklar katılması	Dayanım artışı, enerji tasarrufu, yoğunluk artışı ve su sızmasının engellenmesi	Yüzeyde delik açılması ve çivi çakılmasının zorluğu
	Karbon nanotüp	Beton karışımına nanoboyutlarda KNT katılması	Basınç ve çekme dayanımında artış	KNT'lerin kümelenme eğilimi ve aralarındaki çekim kuvveti azlığı

Tablo 2.6 (Devam): Strüktür uygulamalarında nanoteknoloji kullanımı.

	Nanomalzeme	Kullanım Biçimi	Avantajlar	Dezavantajlar
Beton	Mikroorganizmalar	Beton karışımına mikroorganizmaların katılması	İşlenebilirlik artışı, mekanik özelliklerin gelişmesi ve enerji tasarrufu	Nano ölçekte üretim ve kontrol zorluğu
	Polikarboksilat	Beton karışımına nanoboyutlu polycarboxylates katılması		Sistemin oldukça yeni olması
Çelik	Bakır	Çelik üretim sürecine nanoboyutlu parçacıklar şeklinde katılma	Korozyon direnci, 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	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	Beton karışımına KNT katılması	Sertlik ve mekanik dayanım artışı	
	Zeolit kristali	Ahşap malzeme içerisine yerleştirilmesi	Güneş enerjisi depolama	

2.2.2. Taşıyıcı Olmayan Yapı Elamanlarında Kullanılan Nanomalzemeler

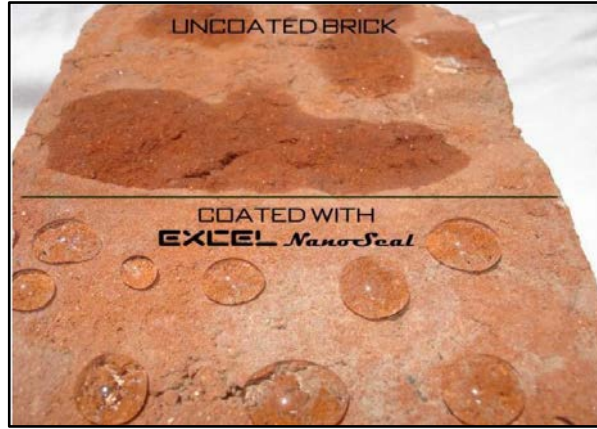
- Nano Çimento

Geleneksel çimento karışımlarında en fazla kullanılan bileşenlerden biri silika (SiO_2)dır. Nanosilika partikülleri kullanıldığında malzemenin viskozitesinin azalmasına ve bu sayede mekanik özelliklerinin gelişmesiyle birlikte basınç dayanımı

3-6 kat daha artmaktadır. Nanosilika, çimento ağırlığının %1,5'i kadar eklendiğinde yüksek mukavemetli çimento harcı elde edilmektedir. Nano strüktürlü çimento harçları, yüzey iyileştirmesi sağlama özelliğiyle birlikte yapı sektöründe kullanılan su miktarını azaltmakta, malzemenin ömrünü uzatmakta ve bu sayede birim zamanda oluşan atık madde miktarını da azaltmaktadır [Leone, 2012].

- Nano Tuğla

Yapı malzemesi olarak tuğla kullanılan binalarda su, kullanılan tuğlayı aşındırmakta ve zamanla yapılarda hasarlara neden olmaktadır. Bu durumun önlenmesi amacıyla tuğlalara su itici (hidrofobik) özellik kazandıran kaplamalar uygulanabilmektedir. Tuğlalarda kullanılan hidrofobik kaplamalar, istenmeyen suların uzaklaştırılmasıyla tuğlaların mukavemet, dayanıklılık, sertlik ve diğer fiziksel özelliklerinin korunmasında önemli rol oynamaktadır. Cephe malzemesi olarak kullanılan tuğlalar, büyük ölçüde koruma sağlayarak malzemenin ömrünü uzatmaktadır. Şekil 2.3'te hidrofobik kaplama uygulanmış tuğla örneği görülmektedir [Kothari and Dewalkar, 2016].



Şekil 2.3: Tuğlalarda kullanılan hidrofobik kaplama.

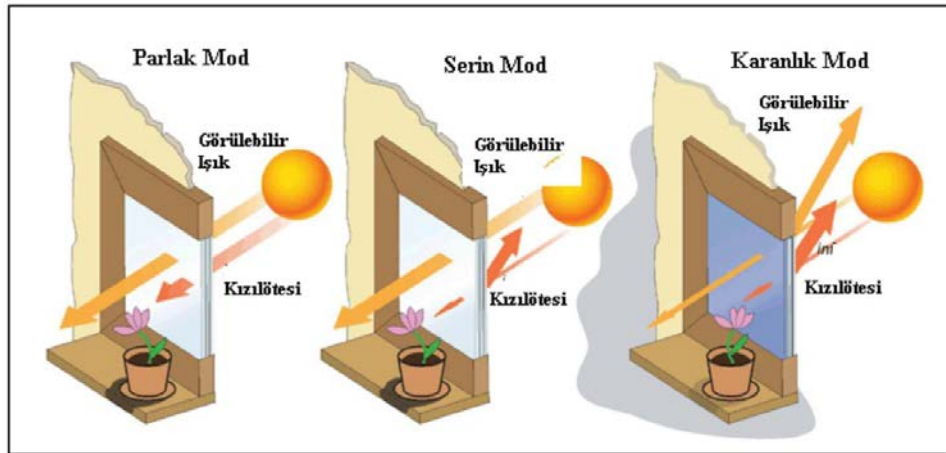
- Nano Cam

Nanoteknoloji uygulamaları camlarda iklim kontrolü, ısı ve yangına dayanıklılık ve kolay temizlenebilme özellikleri gibi alanlarda yapılmaktadır. Yapılarda ısı ve ışığın kontrollü bir şekilde ele alınması gerekmektedir. Pasif olarak yapılan ısı ve ışık kontrolü, ince film kaplamalarla sağlanırken aktif ısı ve ışık kontrolü termokromik,

fotokromik, elektrokromik gibi teknolojilerle sağlanmaktadır [Kazanasmaz ve Diler, 2011].

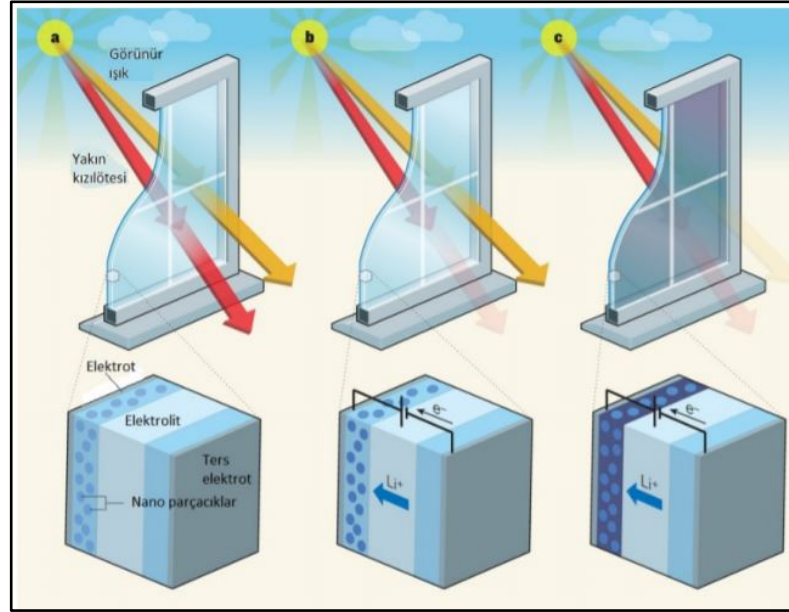
Termokromik camlar; saydamlıkları sıcaklığa bağlı olarak değişen camlardır. Bu camların çalışma prensibi iki cam arasına sıkıştırılmış jeller ile sağlanmaktadır. Jel soğuk durumda iken saydam halde bulunmakta, gün ışığının etkisiyle ısınarak yansıtıcı özellik kazanmakta ve ışık geçirgenliği azalarak güneş ışığını sönmölemektedir [Kazanasmaz ve Diler, 2011].

Fotokromik camlar; camların belli bir dalga boyunun etkisiyle koyulaşması ve yansması prensibine dayanmaktadır. Fotokromik camlar, güneş veya mor ötesi ışınlardan etkilendiklerinde kararmakta ve malzemenin ışın maruziyeti bittiğinde ise beyaz renge dönüşmektedir. Bu camlar tersinir olarak çalışmaktadırlar. Şekil 2.4'te fotokromik camların çalışma prensibi gösterilmektedir [Kazanasmaz ve Diler, 2011].



Şekil 2.4: Fotokromik cam uygulamaları.

Elektrokromik camlar ise elektriksel olarak kontrol edilebilir sistemlerdir. İçeriğindeki maddelerin elektriksel uyarılmalarıyla solar ışıınımı geçirme, yansıtma ve soğurma özelliklerinin değişmesinden faydalanarak kullanıcıların bu sistemi ayarlayabilmelerine olanak vermektedir. Şekilde elektrokromik camların iç yapıları ve renk değişimi prensibi gösterilmektedir [Erdemli, 2018] (Şekil 2.5).



Şekil 2.5: Elektrokromik camların renk değişim prensibi.

- Nano Boya

Nanoteknolojinin boya sektöründe kullanılmaya başlanmasıyla birlikte (nano-boyalar), kir tutmayan boya ve boya malzemeleri üretilmekte ve bu boyalar sayesinde yapıların iç ve dış cephelerinde kirlilik en aza indirgenerek enerjiden, zamandan, bakım ve temizlik masraflarından tasarruf sağlanmaktadır [Açık ve Güven, 2012].

Nano-boya araştırma ve geliştirme çalışmaları devam etmektedir ve halen sürekli bir evrim geçirmektedir. Konvansiyonel boyalarda olduğu gibi nano-boyalar da genellikle daha sonradan sertleşen sıvılar olarak uygulanmaktadır. Sıvı boya genellikle, dış koşullar değiştikçe veya belirli bir komut verildiğinde nanotüpler olarak bilinen, davranışlarını değiştiren mikroskobik parçacıklardan oluşan bir süspansiyon içermektedir. Bir molekül üzerinde, bu moleküle uygulanan kimyasal yapılardan oluşan ultra ince bir tabaka nano kaplama olarak bilinmektedir [Sadiku vd., 2018].

Nano-boya ve kaplamaların kullanıcı sektörleri arasında inşaat mühendisliği, elektronik, optik, gıda ve ambalaj, havacılık, deniz kaplamaları, otomobil, petrol-gaz ve biyomedikal alanlar bulunmaktadır [Sadiku vd., 2018].

İnşaat sektöründe nano malzemeler en fazla bina cephelerinde boya ve kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır [Atik, 2018]. Ayrıca nanoteknolojinin yapılarda kullanılmasında en fazla başarı kaplama ve boyalardan sağlanmıştır [Candemir vd., 2012]. Bunun başlıca nedenleri aşağıdaki gibidir;

- Anti-bakteriyel ve kendi kendini temizleyebilme özelliği, çizilmeye karşı dayanım, infrared emilim veya yansıma özelliği,
- Alt taraftaki yüzeyin kaplamadan önce görünür olması istenilen durumlarda şeffaf yapıları sayesinde oldukça geniş bir uygulama alanına imkân sağlamaları,
- Yüzeylere derin bir şekilde nüfuz ederek pürüzlü yüzeylerde daha başarılı bir kaplama sağlamaları,
- Yüzölçümüne oranla düzensiz yüzeylerde daha fazla yüzey kaplama etkileşimiyle daha mukavim bir kaplama sağlayabilen nanoboyutlu dağılıma sahip olmalarıdır [Candemir vd., 2012].

Boyalarda kullanılabilen nano-parçacıklar ile sağlanan fonksiyonel özellikler ise aşağıdaki gibidir;

- Alüminyum oksit: Çizilme direnci ve aşınma direnci
- İndium tinoxide: Şeffaflık, iletkenlik, çizilmez yüzey, anti-statiklik
- Titanyum dioksit: Kendi kendini temizleme, ultraviyole koruyucu, anti-mikrobiyel özellik
- Miniemulsiyonlar: Çeşitli fonksiyonlar
- Çinko oksit: Ultraviyole koruyucu, antibakteriyel, anti-perspirant özellik
- Karbon: Çizilme direnci, elektrik iletkenliği
- Silika: Çizilme direnci, şeffaflık
- Kil: Oksijen, nem ve gaz bariyeri, Alev geciktirici özellik
- Gümüş: Antimikrobiyellik [Candemir vd., 2012]

Tablo 2.7’de Nano-parçacıkların boyalar üzerindeki etkileri gösterilmektedir [Web 1].

Tablo 2.7: Nanoparçacıklar ve boyaya sağladığı özellikler.

Titanyum Dioksit	Kendi kendini temizleme, antimikrobiyallik, UV koruma
Aluminyum Oksit	Aşınma ve çizilmeye karşı direnç
Kil	Oksijen, nem, gaz bariyeri, yanmazlık
Karbon	Çizilme direnci, elektrik iletkenliği
İndiyum Kalay Oksit	Antistatik, iletkenlik, çizilme karşıtlık, transparanlık

Tablo 2.7 (Devam): Nanoparçacıklar ve boyaya sağladığı özellikler.

Çinko Oksit	Kokma önleyicilik, antibakteriyellik
Silika	Çizilme direnci, transparanlık
Gümüş	Antimikrobiyellik

Bir malzeme üzerine nano-boya uygulama işleminin iki temel amacı bulunmaktadır. Bunlar malzemelerin ve yüzeylerin dekorasyonu ve süslenmesi ile malzemelerin oksidasyonuna, korozyonuna ve bozulmasına karşı korumadır [Sadiku vd., 2018]. Tablo 2.8’de boyalarda kullanılan nano-parçacıklar ve bu parçacıkların sağladığı olası yararlar gösterilmektedir [Sadiku vd., 2018].

Tablo 2.8: Boyalarda kullanılan nano-parçacıklar ve olası yararları.

Kazanılan Özellikler	Nano parçacıklar		
	<i>Titanyum Dioksit</i>	<i>Silisyum Dioksit</i>	<i>Gümüş</i>
Bakteri Karşıtlığı	✓		✓
Kolay Temizlenebilme	✓	✓	
Antigraffiti		✓	
Kendi kendini temizleme	✓		
Suya Karşı Dayanım		✓	
UV koruması	✓		
Isı yalıtımı	✓	✓	
Çizilme direnci		✓	
Yangın Geciktirme	✓	✓	
Elektrik Yalıtımı		✓	
Anti-korozyon		✓	
Anti-ürin		✓	
Yağ İtici Özellik		✓	

Boyalar, bir substratı korumak, mühürlemek veya renklendirmek için katı bir yüzeyi kaplamak için kullanılan sıvılardır. Son zamanlarda, nanomalzemeler boyalarda sadece verimliliği arttırmak ve boyalara yeni işlevler sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Tablo, boyalarda yaygın olarak kullanılan nanomalzemelerin türlerini ve olası yararlarını göstermektedir. Reçine ve bağlayıcılar, pigmentler, katkı maddeleri ve çözücüler gibi çeşitli maddelerin karışımı boya ile sonuçlanmaktadır. Genellikle araçlara, mobilyalara, duvarlara (iç mekan), cephelere (dış mekan), çatı kiremitlerine ve borulara uygulanmaktadır [Sadiku vd., 2018].

2.2.3. Nanokaplamalar

- Kendi Kendini Temizleyen Nanokaplamalar

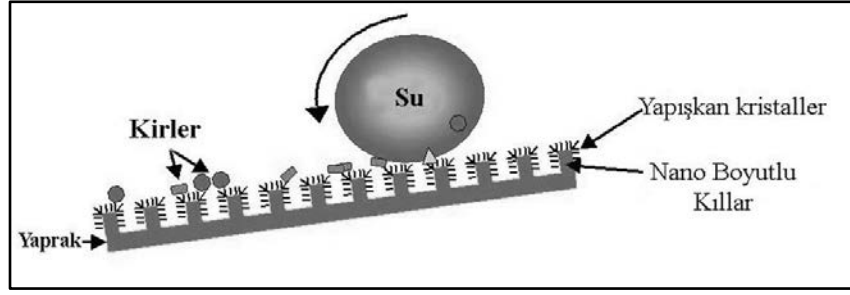
Kendi kendini temizleme özelliği son yıllarda oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu özelliğe sahip nanokaplamaların camlar, güneş enerji panelleri, çimento esaslı malzemeler gibi oldukça yaygın kullanım alanları bulunmaktadır. Bu malzemeler dünya genelinde birçok araştırmaya konu olmaktadır [Farahmandjou, 2013], [Parkin, 2005].

Ara Pacis Müzesi 2006 yılında Richard Meier ve ekibi tarafından İtalya'nın Roma kentinde inşa edilmiştir. Üç parçalı forma sahip olan bina; galeri, sergi, restoran, ofis ve ön tarafında bulunan kentsel meydana oluşmaktadır. Kir oranı oldukça yüksek olan kentte, yapı dış cephesinde kendi kendini temizleyen duvar boyası kullanılarak yapının renginin uzun süre korunması amaçlanmaktadır [Leydecker, 2008], [El- Samny, 2008], [Fouad, 2012].

- Lotus Etkisiyle Kendi Kendini Temizleyen Nanokaplamalar

Lotus etkisiyle kendi kendini temizleme özelliği Wilhem Barthlott tarafından keşfedilmiştir. Lotus etkisi ismini lotus bitkisinin çalışma prensibinden almaktadır. Lotus bitkisinin yaprakları nano ölçekli çift katmanlı yapıya sahiptir. İlk katmanda papilla adı verilen mikro/nano ölçekte çıkıntılar bulunmaktadır. Her çıkıntı yaklaşık 100 nm yüksekliğinde ve hidrofobik (su sevmeyen) yapıdadır. Üst katman ise 1nm boyutunda, neredeyse tüm yüzeyi kaplayan mum tabakasıdır. Bu mum tabakası, çevresel etkilere karşı korumak ve su damlalarının çıkıntılar arasındaki boşluklara girmesini engellemektedir. Yaprığın sahip olduğu bu özellik sayesinde su damlaların yüzeylerinin %2 veya %3'ü yaprağın yüzeyiyle temas etmektedir [Özgür, 2007], [MEB, 2010].

Lotus etkisi ile temizleme, insan gücüyle temizleme gereksinimini en aza indirmektedir [Fürstner ve diğ.,2005], [Forbes, 2008] [Poole, 2014].



Şekil 2.6: Lotus yaprağı yüzeyinde su damlacığı hareketinin şematik gösterimi.

Lotus bitkisine benzer bir biçimde (lotus etkisiyle) kendi kendini temizleme özelliğine sahip nanokaplamaların yeterli düzeyde suya maruz kalan yüzeylerde tercih edilmesi gerekmektedir. Bu tür kaplamaların az miktarda su alan yüzeylerde kullanılması suyun akış yönünde izler bırakmasına ve kirli görünmesine neden olabilmektedir [Leydecker, 2008].

- Fotokatalizle Kendi Kendini Temizleyen Nanokaplamalar

Fotokataliz, fotosentezdeki klorofil benzeri bir yapıdadır. Bu nedenle ışığa maruz kaldığında aktif olarak reaksiyon göstermektedir. Fotokatalizin ışıkla beraber oluşturduğu reaksiyonda birtakım tepkimeler sonucunda kendi kendini temizleyen süperhidrofilik yüzeyler elde edilmektedir [Euvananont vd., 2008], [Wang vd., 2008], [Hashimoto vd., 2005], [Guan, 2005]. Endüstriyel alanda kullanım için en stabil, en verimli, en uygun ve en ucuz fotokataliz titanyum dioksittir [Hashimoto ve diğ., 2005].

- Kolay Temizlenen Nanokaplamalar

Suyu uzaklaştırıcı nitelikte olan bu yüzeyler genellikle kendi kendini temizleme özelliği ile karıştırılmaktadır. Bu malzemelerin yüzeyleri pürüzlü değil, aksine düzdür ve daha düşük bir çekim kuvvetine sahiptir. Bu yüzeylerde su, damlalar oluşturarak yüzeyden uzaklaşmaktadır [El-Samny, 2008].

Hem hidrofobik (su itici) hem de olefobik (yağ itici) olan bu yüzeyler, kendi kendini temizleyen yüzeyler kadar etkili değildirler. Daha kısa zamanda ve daha kolay temizleyebilme özellikleri nedeniyle sağlık yapılarında veya duşakabin gibi malzemelerde yaygın olarak kullanılmaktadırlar [Gür, 2010].

- Havayı Temizleyen Nanokaplamalar

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından 2014 yılında yapılan bir çalışmaya göre dünyadaki her sekiz ölümden birinin hava kirliliği ile bağlantılı olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle hava kirliliği, dünyanın en büyük sağlık riski olarak ön plana çıkmıştır. Bu sonuçlara göre hava kirliliğinden kaynaklı ölümlerin yüzde 56'sı iç hava kirliliği, yüzde 44'ü ise dış mekan hava kirliliğinden kaynaklanmaktadır [Web 3].

Yapı içerisindeki kirleticiler karbon monoksit, karbon dioksit, formaldehit, uçucu organik bileşikler (VOC), asılı parçacıklar vb. dir. Çeşitli sağlık kuruluşları tarafından bu bileşiklerin yapı içerisindeki sınır değerleri belirlenmiştir. Bu değerler, belirlenen sınırın üzerine çıktığında basit baş ağrısı ya da mide bulantısının yanı sıra ölümcül kanser hastalığına kadar birçok sağlık problemleri ortaya çıkarmaktadır [Vural, 2004].

İç hava kalitesi, yapı için önemli kriterlerden biridir ve kullanıcı konfor koşullarının önemli parametrelerinden biridir. İç hava kalitesi yapı malzemelerinin ömürleri üzerinde de oldukça etkilidir. İç hava kalitesi, yapının yer aldığı çevre, maruz kaldığı ısı ve nem gibi teknik koşullarla birlikte yapının işlevi, kullanım süresi gibi etkenlerle de ilişkilidir. Nanoteknoloji, hava kalitesini yükseltmekte, hava içerisindeki kir, toz gibi parçacıkları absorbe etmekte, kötü kokuların bileşenlere ayrılmasını sağlayarak hava kalitesini yükseltmektedir. Fotokataliz, kendini kendini temizleyen nanomalzemeler için önemli olduğu kadar havayı temizleyen nanomalzemeler için de oldukça önemli bir özelliktir. Havayı temizleme özelliğinin binalarda kullanılması daha çok boyalarla gerçekleşmektedir. Bunun yanı sıra çeşitli kaplama malzemeleri, ampuller gibi yapı malzemeleriyle de yapılabilmektedir [Gür, 2010].

- Buğu Tutmayan Nanokaplamalar

Yüzeylerde su damlacıkları oluşumu sonucunda bu damlacıkların bulanık bir etki yaratması buğulanma (terleme) olarak adlandırılmaktadır. Buğulanma yapılarda bulunan cam, ayna, plastik vb. yüzeylerde belirli fiziksel koşulların bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Malzemelerde bulanık bir etki bırakması sonucunda bu malzemelerin kullanımlarını olumsuz etkilemektedir [Web 4].

Massachusetts Institute of Technology (MIT) tarafından 2005 yılında geliştirilen buğulanma önleyici nanokaplamalar, süper hidrofilik özellikleriyle çok küçük

formlardaki su damlacıklarını su taneciği formuna dönüşmeden aynadan uzaklaştırmaktadır. Su damlacıkları yüzeyledir fakat çok küçük olduklarından dolayı görünmemekte ve ayna buğulanmamaktadır [Perker, 2010] .



Şekil 2.7: Buğulanma önleyici ayna.

Nanoteknolojinin birçok alanında olduğu gibi buğu tutmayan yüzeylerde de titanyum dioksit (TiO_2) nanoparçacıklar kullanılmaktadır. TiO_2 nanoparçacık kullanılan nanokaplamaların, yüksek yüzey enerjileri sayesinde su damlacıklarını hızlı bir şekilde yüzeye yayarak buğulanma oluşturmamakta ve yüzey görüntüsünü olumsuz etkilememektedirler [Chen, 2014], [Leydecker, 2008].

- Bakteri Karşıtı Nanokaplamalar

Bakteriler, tek hücreli mikroorganizma grubunda olup doğada, toprakta, havada, suda, bitkilerde, hayvanlarda ve insanlarda çok sayıda bakteri bulunmaktadır. Ayrıca bakteriler; yeryüzünde, okyanusun derinliklerinde, asidik ortamlarda, sıcak su kaynaklarında, radyoaktif atıklarda vb. birçok ortamda yaşayabilmektedirler. Yararlı ya da zararlı olabilen bakteri türleri bulunmaktadır. Mikroorganizmalar arasında en yaygın ve ciddi enfeksiyonlara neden olan tür bakteriler olarak bilinmektedir. Bu nedenle zararlı bakterilerin ortamdan uzaklaştırılması insan sağlığı açısından oldukça önem taşımaktadır [Fredrickson vd., 2014], [Web 5].

Titanyum dioksit (TiO_2), gümüş (Ag), çinko oksit (ZnO) gibi nanoparçacıklar kullanıldıkları malzemelere antibakteriyel özellik kazandırmaktadır. Bu özellik yaygın

olarak çeşitli kaplama ürünlerinde (seramik, ahşap, boya, kompozit malzeme vb.) uygulanmakta ve bakteri ve küf oluşumunu engellenmektedir [Web 6].

Nanoteknolojinin gelişmesi ile nano boyutlardaki bakteri benzeri zararlı organizmaların yüzeye yapışmasını engelleyen yüzeyler oluşturulmaktadır. Bu uygulama yapılarda geniş bir kullanım alanına sahip olma özelliği taşımaktadır [URL 21].

- Parmak İzi Tutmayan Nanokaplamalar

Yapılarda özellikle iç mekân malzemelerin özellikle metal (mutfak ekipmanları, mobilya kaplamaları vb.), cam (kapılar, mobilyalar vb.), pleksi bölücü elemanlar (sergileme üniteleri vb.) çok sık kullanılmaktadır. Bu şekilde sık kullanılan bu malzemeler, kimyasal özelliklerinden dolayı temas edildiğinde parmaklarda oluşan yağ veya ter tabakalarından dolayı yüzeylerde izler oluşturmaktadır. Parmak izi oluşumu, sağlık, temizlik ve estetik açıdan istenmeyen bir durumdur. Bu durumun ortadan kaldırılabilmesi için günümüzde nanoteknolojiden faydalanılarak parmak izi tutmayan nanokaplamalar geliştirilmektedir. Bu uygulama, parmak izi oluşumunu engelleyebilmek için nano boyutlu silikon içeren nano parçacıklarla (nanosilika) film tabakası şeklinde kaplama yapılarak gerçekleştirilmektedir. Bu uygulamalar saydam ya da yarı saydam olmaları nedeniyle uygulanacak ürünün orijinal görüntüsü korunmaktadır [Leydecker, 2008], [Web 7].

- UV Işınlardan Koruyan Nanokaplamalar

UV ışınların insan sağlığı üzerinde birçok zararlı etkisinin yanı sıra yapılar üzerinde de önemli yıpratıcı etkileri bulunmaktadır. 290 ile 440 nm arasında dalga boyuna sahip olan bu ışınlar, özellikle organik yapı malzemelerinin molekül yapısını bozmakta ve renk solması, renk dönmesi, zamanla derinleşen yüzeysel çatlamlarla birlikte malzemenin mekanik özelliklerinin azalması gibi olumsuz etkilere neden olmaktadır [Hattat, 2020].

Organik veya birtakım katkı maddeleri ile oluşturularak UV ışınlarına karşı koruma özelliği kazanan nanomalzemeler, bu ışınları absorbe etmekte ve malzemeyi korumaktadır. Bu kaplamalar transparan yapıda olduklarından dolayı alttaki malzemenin görünümünü ve rengini etkilememektedir. Bu kaplamaların kullanıldığı

yapılarda perdeye duyulan gereksinim azalmaktadır. Elektromatik camlarda nanoteknoloji kullanımında ise sürekli elektrik kullanım gerekliliği ortadan kalktığı için bu nanokaplamalarda büyük oranda enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Ayrıca güneşe bağlı otomatik kararan fotokromatik camlarda nanoteknoloji kullanıldığında bu camlarda enerjinin daha verimli kullanıldığı gözlemlenmiştir [Lazim ve diğ., 2008].

- Çizilmeye ve Aşınmaya Dirençli Nanokaplamalar

Yapılarda kullanılan malzemelerin yüzeyleri kullanılan yere bağlı olarak çizilme, aşınma gibi istenmeyen fiziksel olumsuzluklara neden olmaktadır. Bu etkenler malzemelerin hem ömürlerini kısaltmakta hem de görsel kalitelerini azaltmaktadır. Bu istenmeyen etkileri azaltmak amacıyla geleneksel kaplamalar kullanılmakta ancak istenilen dayanım elde edilememektedir.

Nanoteknoloji kullanılarak üretilen kaplamalarla birlikte çizilme ve aşınmaya dirençli, dayanıklı malzemeler üretilebilmektedir. Bu kaplamalarda saydamlığın sağlanabilmesi için kullanılan parçacıkların nano boyutlarda olması önemlidir. Örneğin nano boyutlu silikon dioksit ve alüminyum diokasit kullanılan nanokaplamalar, malzeme yüzeyinde sürtünme etkisini azaltarak yüksek aşınma dayanımına sahip olmaktadır [Web 8].

2.2.4. Nanoteknoloji ve Yalıtım Uygulamaları

Yapılarda ısı yalıtım uygulaması, enerji tasarrufu sağlaması nedeniyle ekonomik açıdan en yaygın ve önemli yalıtım uygulamalarından biridir [Şen, 2006].

Nanoteknolojinin gelişimiyle birlikte, üstün fiziksel özelliklere sahip yalıtım malzemeleri üretilebilmektedir. Nanomalzemeler, geleneksel nanomalzemelerin üretim süreçlerinde görülen yenilenemez kaynaklara bağımlılığı ve insan sağlığına zararlı atık oluşumu gibi olumsuz etkileri en aza indirirken, yalıtımın verimliliğini büyük oranda artırmaktadır [Elvin, 2013].

2.3. Nanomalzemelerin Kullanıldığı Yapı Örnekleri

Nanomalzemelerin kullanıldığı yapı örnekleri; yapım yılı, yapım yeri, kullanılan nanomalzeme ve özelliği belirtilerek yapılarda yaygın kullanım alanları incelenmiştir.

İtalya'nın Roma kentinde 2003 yılında inşa edilen Jubilee kilisenin mimarı Richard Meier ve ekibidir. Kilise, en uzununu yaklaşık 36 metre uzunlukta üç adet yelken formundan oluşmaktadır. Kilisenin yapımında fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleyen çimento kullanılmıştır. Bu özelliği sayesinde yüksek düzeyde kirliliğe sahip kentte beyaz kalma özelliği göstermektedir. Bu özelliğe ek olarak havadaki kirlleticilere müdahalede, nitrojen dioksit gibi zararlı gazların ve uçucu organik bileşiklerin azaltılmasına yardımcı olmaktadır [Leydecker, 2008] [El Samny, 2008] [Gür, 2010] [Peker, 2010] [Hemeida, 2010] [Fouad, 2012]

Tablo 2.9: NanoÇimento örneği, jubilee kilisesi. (Fotoğraf: Web 9).

Jubilee Kilisesi	
Mimar: Richard Meier	
Yapım Yılı: 2003	
Yapım Yeri: Roma, İtalya	
Kullanılan Nanomalzeme:	
NanoÇimento	
Nanomalzeme Özelliği:	
Kendi Kendini	
Temizleyebilme (Lotus Etkisi)	

Martin Pool ve Pool Architect tarafından 1250 m² alan üzerine Almanya'nın Münih kentinde inşaa edilmiştir. Yapının cephesinde vakumlu ısı yalıtım panelleri kullanılmıştır. Yapıda kullanılan vakumlu ısı yalıtım malzemesi geleneksel yalıtım malzemelerine oranla 8-10 kat daha etkin yalıtıma sahiptir. Ek olarak bu yalıtım malzemelerinin ince olması, oturma alanında %10 kazanım sağlamaktadır. Bu sayede mekanın genişliği ve kullanım alanı artmaktadır. Vakumlu ısı yalıtım panelleri çatılarda ve pencerelerde kullanıldığında hem enerji etkinliği hem de ekonomik kazanç sağlanmaktadır [Leydecker, 2008] [El Samny, 2008] [Gür, 2010] [Peker, 2010] [Hemeida, 2010] [Fouad, 2012] [Binz vd., 2005].

Tablo 2.10: Vakumlu ısı yalıtım paneli, Seitzstrasse Binası (Fotoğraf: Web 10).

Seitzstrasse Binası	
Mimar: Martin Pool ve Pool Architecten	
Yapım Yılı: 2005	
Yapım Yeri: Münih, Almanya	
Kullanılan Nanomalzeme: Vakumlu Isı Yalıtım Paneli	
Nanoürün Özelliği: Isı Yalıtımı	

Ara Pacis Müzesi 2006 yılında Richard Meier ve ekibi tarafından İtalya'nın Roma kentinde inşa edilmiştir. Üç parçalı forma sahip olan bina; galeri, sergi, restoran, ofis ve ön tarafında bulunan kentsel meydandan oluşmaktadır. Kir oranı oldukça yüksek olan kentte, yapı dış cephesinde kendi kendini temizleyen duvar boyası kullanılarak yapının renginin uzun süre korunması amaçlanmaktadır [Leydecker, 2008], [El- Samny, 2008], [Fouad, 2012].

Tablo 2.11: Nanoboya örneği, Ara Pacis Museum (Fotoğraf: Web 11).

Ara Pacis Museum	
Mimar: Richard Meier & Partners	
Yapım Yılı: 2006	
Yapım Yeri: Roma, İtalya	
Kullanılan Nanomalzeme: Dış Cephe Duvar Boyası	
Nanomalzeme Özelliği: Kendi Kendini Temizleyebilme (Lotus Etkisi)	

İmparatorluk Savaş Müzesi İngiltere'nin Londra kentinde 1917 yılında kurulmuştur. Yapıya uygulanan çatı yalıtımı uygulamasında iç mekan yüksekliği minimum ölçüde azaltılarak etkili bir ısı yalıtım uygulaması sağlanması

amaçlanmıştır. Tarihi bir nitelik taşıyan bu müzenin ısı yalıtım uygulaması sonucunda orijinal görünümünün değişmemesi amaçlanmış ve bu nedenle yapıda geleneksel yalıtım malzemelerine göre oldukça ince yapıda olan aerojel ısı yalıtım örtüsü tercih edilmiştir [Yılmaz, 2014] [Web 12].

Tablo 2.12: Aerojel ısı yalıtım örtüsü örneği, İmparatorluk Savaş Müzesi (Fotoğraf: Web 13).

İmparatorluk Savaş Müzesi	
Mimar: James Lewis	
Yapım Yılı: 1815 (2011)	
Yapım Yeri: Londra, İngiltere	
Kullanılan Nanomalzeme: Aerojel Isı Yalıtım Örtüsü	
Nanomalzeme Özelliği: Isı Yalıtımı	

The Westvin Glamp Otelı ABD'nin San Diego kentinde, 16 katlı ve 450 yatak kapasitesine sahip olarak inşa edilmiştir. Yapı 2012 yılında yapılan yenileme çalışmaları dolayısıyla yeniden boyanmıştır. Bu uygulamada yapının cepheleri, bakteri küf ve mantar benzeri zararlı bileşiklerin oluşumunu önemli oranda önleyen nanoboya ile boyanmıştır. Bu boyanın bakteri karşıtı etkisinin yanında UV ışınlarından koruma, çatlama ve aşınma direnci gösterme özelliği de bulunmaktadır. Isı yalıtım özelliğine de sahip olan bu boyanın yapıda kullanılması ile %38'e varan enerji tasarrufu sağlanmaktadır.

Tablo 2.13: Bakteri karşıtı nanoboya örneği, the westin gaslamp oteli
(Fotoğraf: Web 14).

The Westin Gaslamp Oteli	
Mimar: MDR Architects	
Yapım Yılı: 2012	
Yapım Yeri: San Diego, ABD	
Kullanılan Nanomalzeme: Bakteri Karşıtı NanoBoya	
Nanomalzeme Özelliği: Uygulandıkları yüzeylerde bakteri karşıtı etki	

2005-2012 yılları arasında İtalya'nın Bergamo kentinde inşa edilen yapı, V formunda bir üst örtünün avlu ve iki yanında yer alan bölümlerden oluşmaktadır. Yapının inşasında kullanılan betonda TiO_2 nanoparçacıklar kullanılarak fotokatalitik etkiyle kendi kendini temizleyebilme özelliği kazanmıştır. Bu sayede yapı, uzun süre temiz kalabilmekte, onarım ve bakım masrafları en aza indirgenmektedir. Aynı zamanda yapı, bulunduğu çevrenin havasını bir miktar temizlemektedir [Web 15].

Tablo 2.14: Nanobeton örneği, Italcementi Ar-Ge merkezi (Fotoğraf: Web 16).

Italcementi AR-GE Merkezi	
Mimar: Richard Meier, Partners	
Yapım Yılı: 2012	
Yapım Yeri: Bergamo, İtalya	
Kullanılan Nanomalzeme: Dış Cephe / NanoBeton	
Nanomalzeme Özelliği: Kendi Kendini Temizleyebilme (Fotokatalitik Etki)	

Yaklaşık 541 metre yüksekliği ile dünyanın en yüksek 3. Binası olan Dünya Ticaret Merkezi, ABD'nin New York eyaletinde inşa edilmiştir. Bina için gereken enerjinin %20'si rüzgar trübinleri tarafından sağlanırken, yapının cephelerinde ise kolay temizlenen nanokaplama panelleri kullanılmıştır. Bu paneller yapı cephelerinin

yüzeylerine ince film biçiminde uygulanmıştır. Bu sayede, temizlik ve bakım masrafları önemli oranda azaltılmıştır. Bu kaplamanın uygulandıkları yüzeyler pürüzsüz, su ve yağ sevmeyen cephe özelliği kazanmaktadır. Bu tür nanokaplamalar malzeme yüzeylerinin uzun süre temiz kalmasını sağlayarak temizlik ve bakım masraflarını, deterjan gibi zararlı kimyasal temizlik malzemele kullanımını önemli oranda azaltmaktadır. Ayrıca bu malzemeler uygulandıkları yüzeylerde herhangi bir değişikliğe neden olmamaktadır [Web 17] [Web 18].

Tablo 2.15: Kolay temizlenen nanokaplama örneği, One World Ticaret Merkezi (Fotoğraf: Web 19).

One World Ticaret Merkezi	
Mimar: Daniel Libeskind	
Yapım Yılı: 2013	
Yapım Yeri: Newyork, ABD	
Kullanılan Nanomalzeme:	
Kolay Temizlenen Nanokaplama	
Nanomalzeme Özelliği:	
Kolay Temizlenme	

3. NANOMALZEMELERİN ÇEVRESEL KRİTERLER BAĞLAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ

Dünya üzerinde çıkarılan hammaddelerin %50'si, küresel enerjinin %40'ı, suyun %16'sı yapı sektörü tarafından tüketilirken, oluşan atıkların da %50'sinden de yine yapı sektörü sorumludur. Karbondioksit salınımlarının ise %30'unun yaşadığımız yapılardan kaynaklandığı bilinmektedir. Bu nedenle, dünya kaynaklarının büyük bir kısmının yapı sektörü ve insan yapımı çevre tarafından tüketildiği görülmektedir [Özdil, 2007].

Bir yapının yaşam döngüsü sürecinde oluşan çevresel etkilerin %10 ile %20 arasındaki kısmının yapı malzemelerinden kaynaklandığı bilinmektedir. Bu etkiler sırasıyla yapı malzemesi için gereken hammaddenin çıkarılması, üretim yerlerine taşınması, yapıdaki yerini alması, kullanımı, bakımı onarımı, kullanım ömrünü tamamladıktan sonra ise yıkımı ve geri dönüşüm süreçlerinden oluşmaktadır. Bu nedenle, yapılarda kullanılan malzemelerinin seçimi, sürdürülebilirlik açısından oldukça önemlidir [Sev, 2009].

Nanoteknolojik malzemelerin yapı malzemelerinde kullanılmasıyla birlikte, malzeme meydana gelen fiziksel, manyetik, optik değişimler sonucunda malzemenin özellikleri iyileştirilebilmektedir. Bu sayede, malzemelerin üretim enerjileri azalmakta, aynı zamanda yaşam ömrü artmaktadır. Bunlara ek olarak, fotokatalitik özellikleri sayesinde kirleten miktarını azaltmakta, fotovoltaik panellerde enerji etkinliğini artırmakta, enerjinin depolanma süresini uzatmakta ve kullanılan bataryaların ömrünü uzatmaktadır. Binalarda yalıtım malzemesi olarak kullanıldığında ise ısıtma ve soğutma etkinliği sağlamaktadır. Mekanik dayanımın iyileştirilmesi gibi etkileriyle kullanılan malzeme miktarını azaltmakta, böylece üretim enerjisinden tasarruf edilmesini sağlamaktadır. Anti bakteriyel özellikleri sayesinde, hijyen gerektiren ortamlarda temizlik maliyetini düşürerek, suyun daha etkin kullanılmasını sağlamaktadır. Nanokristalli yapıları sayesinde ise enerji etkin aydınlatma sistemi sağlamaktadır [Cengiz, 2015].

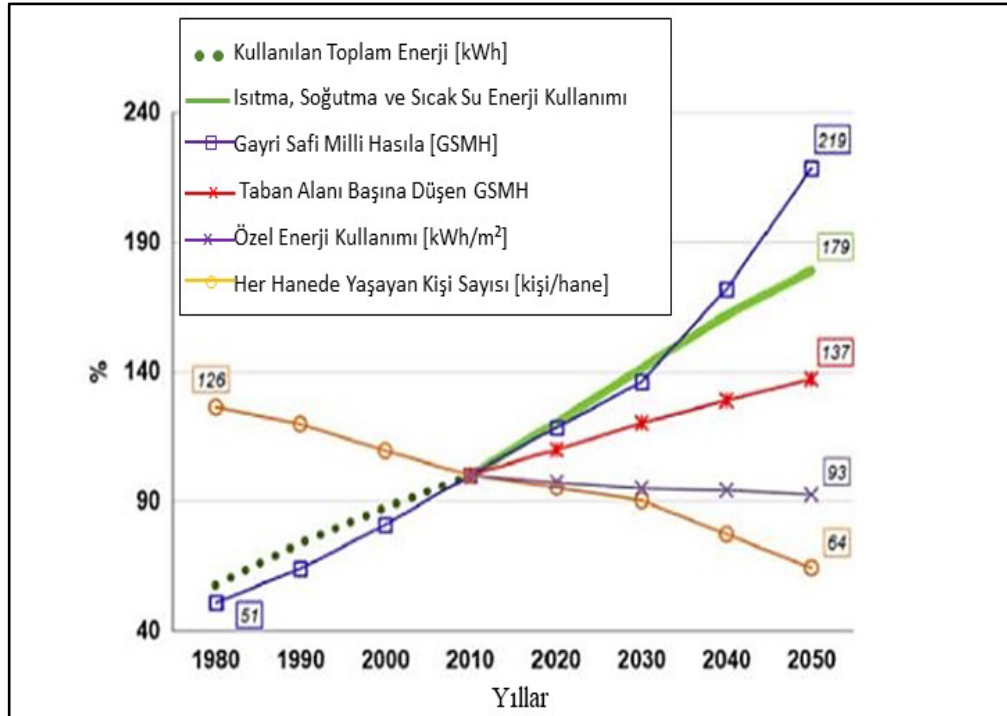
Tüm bu avantajlarının yanı sıra, yapılarda kullanılan nanomalzemelerin insan sağlığını etkileyen dezavantajları da bulunmaktadır. Çalışmanın bu bölümünde,

belirlenen sürdürülebilirlik kategorileri kapsamında nanoteknolojik malzemeler daha detaylı bir şekilde ele alınmaktadır.

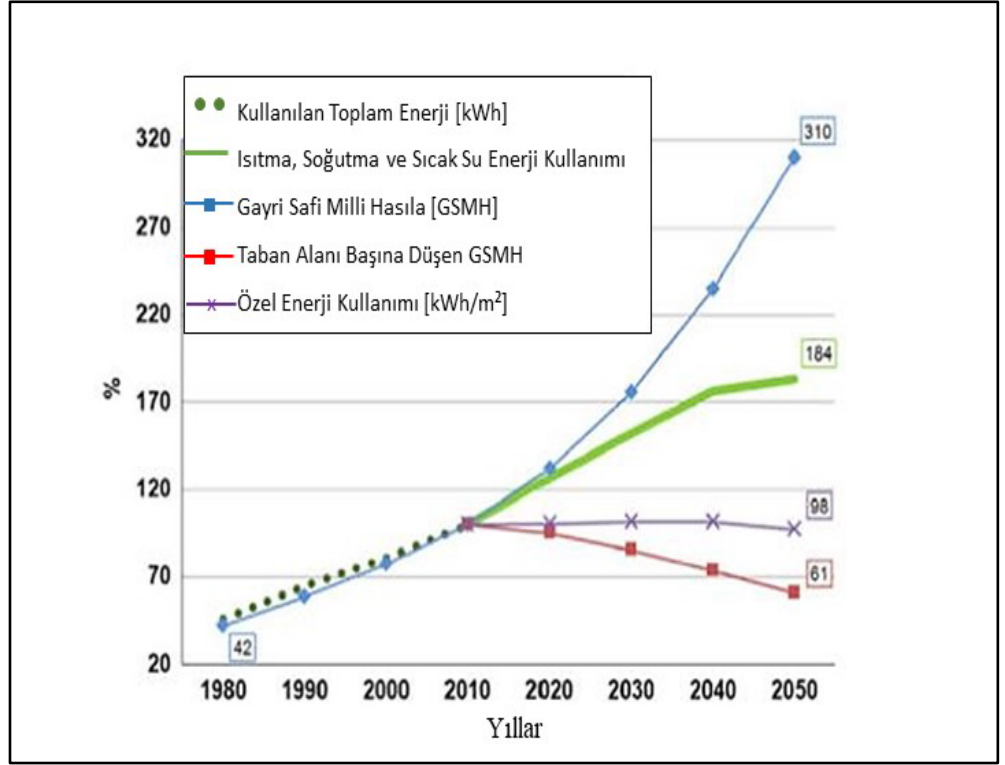
3.1. Nanomalzemelerin Enerji Etkinliği Açısından Değerlendirilmesi

Günümüzde dünya üzerinde üretilen enerjinin %40'ı binalar tarafından tüketilmektedir [Özdil, 2007]. Önümüzdeki on yıl içinde ise ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarının %70 artması beklenmektedir. Bu nedenle, yapı sektöründe enerji verimliliği önlemleri oldukça önemli bir yere sahiptir [Copiello, 2016]. Giderek artan tüketim ve sürdürülebilir zorunluluklar nedeniyle binaların enerji etkin tasarlanması konusu mimarlık alanının son dönemlerde ilgilendiği başlıca problemler arasında yer almaktadır [Tokuç ve Taşçı, 2014].

Yapım sektörü kaynaklı yüksek enerji tüketiminin önümüzdeki yıllarda daha fazla artması beklenmektedir. 2010 ve 2050 yılları arasında küresel ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarının konutlarda ve ticari yapılarda yaklaşık %80 artması beklenmektedir (Şekil 3.1), (Şekil 3.2) [Ürge-Vorsatz, 2015].



Şekil 3.1: 1980–2050 yılları arasında konutlarda enerji tüketiminin farklı etkenlerindeki eğilimleri.



Şekil 3.2: 1980–2050 yılları arasında ticari binalarda enerji tüketiminin farklı etkenlerindeki eğilimleri.

Bir binanın enerji etkinliği, metrekare başına düşen enerji tüketimini azaltmak amacıyla yapılan tüm çalışmaları kapsamaktadır. Düşük enerji tüketimi ve enerjinin verimli kullanımı ile yapılarda enerji tasarrufu yapılabilmektedir [Sustainable Energy Regulation and Policymaking for Africa, 2018].

Nanoteknoloji, pek çok alanda olduğu gibi enerji alanında da aşılması gereken problemlerin çözümü için yeni olanaklar sağlamaktadır. Günümüzde enerji kaynaklarındaki en önemli sorunlardan biri alternatif enerji kaynaklarının yetersizliği ve verimlerinin istenilen düzeyde olmamasıdır. Ayrıca elde edilen enerjinin depolanması ve taşınması esnasında kayıplar yaşanmakta, enerjinin kullanıcılar tarafından verimli bir şekilde değerlendirilememesi sonucunda kullanım aşamasında çok fazla enerji kaybı oluşmaktadır. Tüm bu sorunların çözümü için nanoteknolojinin getirdiği yenilikler doğrultusunda çalışmalar devam etmektedir [Yıldız vd, 2017] [Sia, 2017]. Endüstrileşmiş toplumlar ulaşım, aydınlatma, ısıtma, soğutma gibi ihtiyaçlara yönelik oldukça fazla enerji tüketimi yapmaktadırlar. Nanoteknoloji, bu tüketime karşı gelişmiş performans, etkinlik, tasarruf ve güvenlik sunarak gelecekte de katkı sağlayacaktır [Ramsden, 2018].

Geleneksel malzemeler üzerinde yapılan nano boyutlu müdahaleler, makro boyutlarda malzeme özelliklerini etkilemekte ve daha fazla dayanım kabiliyetine sahip malzemeler üretilmektedir. Bu malzemeler ile oluşturulan yeni nesil nano strüktürler, kabuk ve strüktür arasındaki geleneksel ilişkiyi de önemli oranda değiştirmektedir. Gelişmiş özelliklere sahip bu strüktür sistemler kullanılarak yüksek dayanıma sahip, az bakım gerektiren, az enerji tüketen sürdürülebilir yapılar inşa edilebilmektedir [Elvin, 2013].

Yapılarda kullanılan kendi kendini temizleyebilen nanokaplamalar ise kimyasal temizlik madde kullanımı azaltmakta, işgücü ve temizliğe ayrılan zaman ve enerjide önemli oranda tasarruf sağlamaktadır [Leydecker, 2008].

Yapılarda enerji tasarrufu sağlayan bir diğer malzeme ise led'lerdir. Led'ler, nanoteknolojik yaklaşımlarla üretildiğinde, aydınlatma için gerekli enerji miktarını oldukça düşürebilecek kabiliyete sahiptir. Nanoteknoloji kullanılarak oluşturulan bu led'lerin gelişmesi ve yaygınlaşması ile küresel enerji kullanımında gözle görülür bir tasarruf sağlanmış olacaktır [Nizamoğlu vd., 2007].

Enerji üretim alanında nanoteknolojiden faydalanılabilecek konulardan bir diğeri fotovoltaiik panelleridir. Bu panellerin nano yapıdaki malzemelerle kaplanması sonucunda bu sistemlerin daha fazla güneşi soğurması sağlanmaktadır [Turan vd., 2011].

Nanoteknoloji ile geliştirilen ısı yalıtım malzemeleri, geleneksel ısı yalıtım malzemelerine oranla daha az kalınlığa sahiptir. Örneğin aerjel, oldukça hafif köpük bir jel olup neredeyse yüzde yüzü (%95 ile %99,9 arasında) havadan, kalan kısmı ise silikon dioksitten oluşan bir malzemedir. Aerjeller ilk olarak uzay uygulamaları için geliştirilmiş olup günümüzde yapı sektöründe de uygulanmaktadır. Cephelerde çeşitli katmanlar arasında oluşturulan boşlukların (cam paneller arasında U profil ya da akrilik cam panellerde) doldurulmasıyla yalıtım sağlanmaktadır. Bu paneller aynı zamanda yarı saydam özellikte olmaları sayesinde ışığı homojen olarak dağıtmakta, günışığını yumuşatmakta ve iç mekanda daha konforlu aydınlatma etkisi göstermektedir. Yüksek ısı yalıtım özellikleri sayesinde ise ısıtma ve soğutma etkinliği sağlayarak maliyeti önemli oranda düşürmektedirler [Leydecker, 2008] [El-Samny, 2008]. Nanoteknoloji kullanılarak üretilen bir başka yalıtım malzemesi de vakumlu yalıtım panelleridir. Geleneksel ısı yalıtım malzemeleri hava ile dolu hücrelerin bir araya getirilmesi ilkesine dayanırken bu teknolojiye hücrelerdeki hava tümüyle boşaltılmaktadır. Bu sayede vakumlu panellerin ısı iletkenlik katsayısı geleneksel

malzemelere oranla 10 kat daha azdır. Bu durum, nanoteknoloji kullanılarak üretilen ısı yalıtım malzemelerinin geleneksel ısı yalıtım malzemelerine göre çok daha fazla enerji etkin yapıda olduklarını göstermektedir [Web 20].

3.2. Nanomalzemelerin Su Etkinliği Açısından Değerlendirilmesi

Su, doğada canlılar için yaşam alanı oluşturan, canlılık faaliyetlerinin vazgeçilmez bir unsurudur [Akın ve Akın, 2007]. Canlılığın devam etmesi ve yaşamsal faaliyetlerin gerçekleşebilmesi için kullanılan suyun temiz ve sağlıklı olması gerekmektedir [Aydın, vd., 2016]. Suyun içeriğinde gerçekleşen herhangi bir bozulma ve kirlilik tüm ekosistemi etkilemektedir [World Water Council, 2018]. Dünya üzerindeki suların yüzde 97,5'i deniz ve okyanuslarda tuzlu su formundayken, sadece yüzde 2,5'lik kısım içilebilir su olarak bulunmakta ve içilebilir suyun büyük bir bölümü buzullar ve donmuş toprak tabakasında bulunmaktadır [DPT, 2014]. Tüm bunlara rağmen, temiz su kaynakları bilinçsizce tüketilmeye devam etmektedir [İlhan, 2011].

İnsanların eski çağlarda suyu yalnızca biyolojik ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla kullanırken, toplumların gelişmesiyle tarım, sanayi, teknoloji gibi alanlarda kullanılan su miktarı da artmıştır ve artmaya devam etmektedir [Turan ve Eren, 2008].

Dünya üzerinde temiz suyun %15'inden fazlası yapı sektörü tarafından tüketilmektedir [Say ve Wood, 2008]. Su tüketimi konusunda bilinçsiz davranılması ve gerektiğinden fazla su kullanımı arz talep dengesini bozarak su kıtlığına neden olmaktadır [Turan ve Eren, 2008]. Bu nedenle, su kaynaklarının daha etkili yönetilmesi ve sürdürülebilirliğin sağlanması oldukça önemlidir [Turan ve Eren, 2008]. Su kaynaklarının hızla tükenmesi, yapı sektöründe de çevre dostu ekolojik yapıların tasarlanmasını gündeme getirmiştir. Zaman içinde, çevre dostu yapılara ilgi giderek artarken, yeşil, ekolojik, iklim ve çevre dostu, sıfır karbon salınımlı, yüksek performanslı gibi etkiler taşıyan yapılar hızla gündemimize girmektedir [Geçer vd., 2018].

Nanoteknoloji kullanılarak su verimliliğinde önemli kazanımlar sağlanmaktadır. Bu konuda, suyun taşınması ve korunmasıyla ilgili enerji gereksinimlerinin azaltılması için de çalışmalar yapılmaktadır [Kim vd., 2013].

Yapılan araştırmalara göre, fotokatalitik titanyum dioksit kaplamaların kendi kendini temizleme özellikli camların kullanıldığı yapılarda, yapının ömrü süresince

100.000 litre su tasarrufu sağlanacağı öngörülmektedir. Ek olarak bu camların kullanıldığı yapılarda yapım ve bakım maliyetleri doğrultusunda yapılan çalışmada yatırımın geri dönüş sürelerinin ortalama altı yıl olduğu belirtilmektedir [Orhon, 2013].

Kendi kendini temizleyen camların kullanıldığı yapılar standart cam görünümüne sahip olup, uzun süre temiz kalmaktadırlar. Bu nedenle daha az sıklıkta temizlik yapılmasını, dolayısıyla daha az su ve deterjan kullanımını sağlayarak hem çevresel, hem de ekonomik açıdan avantajlı olmaktadır [Kula ve Karasu, 2017].

Ancak, bu malzemeler çok küçük boyutlarda olmaları nedeniyle mevcut arıtma sistemlerinden geçerek toksik etkili kirletici olarak da görülmektedir. Nano malzemelerin toksik etkileri karakteristik özelliklerine (kimyasal yapı, büyüklük vb.) doz ve depolanma sürelerine bağlı olarak değişmektedir. Su arıtma sistemlerinde nanomembran kullanımıyla birlikte filtrasyon çalışmaları devam etmektedir [Arif, 2012].

3.3. Nanomalzemelerin Hammadde Etkinliği Açısından Değerlendirilmesi

Her yıl çıkarılan yaklaşık 3 milyon ton taş, toprak, mineral, ahşap ve petrol gibi yapı malzemeleri dünyadaki toplam malzemelerin %40'ını oluşturmaktadır. Bu malzemeler çıkarıldıktan sonra da çeşitli çevresel etki yaratan bir dizi işlem den geçirilmektedir [Erten, 2011].

Küresel olarak hammadde tüketiminin %24'ünü oluşturan yapı sektöründe; hammaddelerin çıkarılması, işlenmesi, taşınması ve yapıya montajı sırasında önemli miktarda su ve enerji tüketilmektedir. Bir yapının 1 metrekaresinin inşası sırasında ortalama 0,5 ton CO₂ salınmakta ve 5754 Mj enerji tüketilmektedir [Bribian, 2011]. Sık kullanılan yapı malzemelerinden betonun bileşenlerinin hammadde olarak doğadan elde edilişleri sırasında, kullanılan yöntemlere bağlı olarak bitki ve hayvan yaşam alanlarının yok olması, topoğrafyadaki değişiklikler, erozyon, toz salınımları, gürültü ve görüntü kirliliği oluşması, su tüketimi ve kirliliği gibi olumsuzluklar yaşanmaktadır. Yapı malzemelerinin yaşam döngüsünde en fazla çevresel etkiyi oluşturan evrelerden biri de hammaddenin elde edilme sürecidir. Bu nedenle

hammaddenin edinimi evresinde yapı malzemelerinin çevresel etkilerini en aza indirmek gerekmektedir [Esin, 2006].

Gelişen teknoloji ile birlikte bilinçsiz tüketimin artması, doğal kaynaklı hammaddelerin azalmasına neden olmaktadır. Bu durum, teknoloji yardımıyla yapı malzemelerinin ve yapım tekniklerinin ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Üretilen bu malzemeler, yapı sektöründe önemli kolaylıklar sağlamakta, sektörün her alanında doğal malzemelerin yerine kullanılabilecek yapay malzemelerin üretimini zorunlu kılmaktadır. Üretilen yapay malzemeler, yapı endüstrisinde önemli kolaylık sağlarken, yeni yapım tekniklerinin ortaya çıkmasına da neden olmuştur [Kazma, 2018].

Nanoteknoloji, üretim adımlarının sayısını azaltarak kaynakların korunmasında, hammadde ve enerji tüketiminde, dolayısıyla CO₂ emiliminde önemli oranda azalma sağlamak ve bu sayede ekonomiye katkıda bulunmaktadır [Niroumand vd., 2012].

Nanoteknoloji aynı zamanda geleneksel malzemelerin hacmini ve ağırlığını düşürmekte, bu sayede malzemelerin daha verimli kullanılmasını sağlamaktadır. Yapılarda nanomalzemelerin kullanılması geleneksel yöntemlere göre malzeme seçiminde ortaya çıkan gereksinimleri değiştirmektedir. Malzemelere kazandırılan gelişmiş özellikler sayesinde malzemelerin hasar görmesi önlenmekte, bakım ve onarım ihtiyacı azaltılmaktadır [Niroumand vd., 2012].

Günümüzde sıklıkla kullanılmakta olan hammaddeler, modifiye edilerek nanoteknolojinin yapı endüstrisini etkileyebilmektedir. Genellikle mdf (yumuşak veya sert ahşap kalıntılarının parçalanıp ahşap life çevrildikten sonra yüksek basınç ve ısı altında oluşturulan levha) şeklinde tasarlanmış ahşap ürünler kullanılmaktadır. Ancak bu malzemeler zamanla deforme olmakta, bakteriler ve böcekler tarafından zarar görmektedir. Nanoteknolojik yüzey kaplamaları kullanıldığında çizilmeye ve ısıya dayanıklı, antibakteriyel yüzeyler oluşmaktadır [Kazma, 2018]

3.4. Nanomalzemelerin İnsan Sağlığı Açısından Değerlendirilmesi

Çeşitli yapım teknikleri ve malzemelere uygun olarak tasarlanan yapay çevreler yapılar olarak adlandırılmaktadır. Yapıların temel amaçları, kullanıcıların yaşamlarını sağlıklı ve güvenli bir şekilde sürdürebilmeleri için uygun ortamlar yaratmaktır [Balanlı ve Öztürk, 2006].

İnsanların temel ihtiyaçları yaşamlarını sağlıklı bir biçimde devam ettirmek iken, yapıların amacı insanları muhtemel dış olumsuzluklara karşı koruyarak güvenli ve sağlıklı bir ortam sunmaktır. Yapılan araştırmalara göre, insanlar günlük yaşamlarının %90'ını yapı içerisinde geçirmektedirler. Bu nedenle, iç mekandaki tüm olumsuz özellikler kullanıcıların biyolojik ve psikolojik sorunlar yaşamasına neden olmaktadır [Akman, 2005] [Oğuzalp vd., 2011].

Yapıların insanlar ve çevreleriyle olan ilişkisi insan sorumluluğunda olan bir mikro ekosistem olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle yapıların bu mikro ekosistemde hem çevreyi hem de insan sağlığını koruyacak şekilde tasarlanması gerekmektedir [Akman, 2013].

Nanoteknoloji uygulamaları günümüzde önemli bir potansiyele sahip olmalarına karşın, nanopartiküllerin ekosistemler ve canlılar üzerinde olası olumsuz etkileri konusunda endişeler mevcuttur. Nano ölçeğe indirilen malzemelerin özellikleri değişmekte ve nanopartiküller, büyük partiküllerden farklı optik, manyetik ve elektriksel özelliklere sahip olmaktadır [Helland, 2004].

Nanomalzemelerin yapıları çevrelerdeki uygulamalarının artması, çevresel etkilerinin de büyük oranda artmasına neden olmaktadır. Öte yandan, yüksek yüzey-hacim oranları, yüzey aktiviteleri ve elektronik yapıları sebebiyle farklı çevresel etkiler oluşturabilecekleri tahmin edilmektedir. Bu sebeplerle, nanomalzemelerin potansiyel olumsuz etkileri konusundaki araştırmalar büyük önem taşımaktadır [Tunca, 2015].

Nanomalzemeler insan vücuduna solunum yolu, dermal yol, sindirim yolu ve enjeksiyon yolu olmak üzere 4 farklı yoldan temas edebilmektedir. Solunum yoluyla akciğerlere ulaşabilen partiküller, kana karıştıklarında alveoller üzerinde birirmektedirler. Ayrıca nanomalzemelerin inflamatuvar tepkimelere neden olduğu da kanıtlanmıştır [İstif ve Coşkunes, 2014]. Nanoparçacıklar için vücuda en muhtemel giriş yerleri cilt, akciğerler (solunum yoluyla) ve mide-bağırsak sistemi (yutma yoluyla)'dir. Bu parçacıklar nano boyutlarında olmaları nedeniyle vücutta dolaşım ve lenf sistemlerine ve daha sonra vücut dokularıyla birlikte beyin, karaciğer ve böbrek gibi organlara taşınabilmektedir [Abudayyak, 2015].

Yapı malzemelerinde sık kullanılan nanopartiküllerden biri olan titanyum dioksit (TiO_2)'in insan sağlığı üzerine etkileri ile ilgili olarak fareler üzerinde yapılan deneyler, bu parçacıkların solunum yolu kanseri gibi olumsuz etkilere neden olduğunu ortaya koymaktadır. Fareler üzerinde yapılan diğer bir deneyde; içme suyuna karıştırılan TiO_2 'nin etkilerinin incelendiği 5 günlük deneyin sonucunda TiO_2

partiküllerinin DNA sarmalında ve kromozomlarda hasara neden olup, iltihaplanmalara yol açtığı tespit edilmiştir [Trouiller vd., 2009].

Yapı malzemelerinde sık kullanılan bir diğer nanoparçacık gümüş (Ag) elementidir. Bu element bakteri karşıtı özelliğiyle bilinmektedir. Gümüş elementi nano boyutlara indirildiğinde yüzeydeki virüs, mantar ve bakterileri yok etme özelliği kazanmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucunda, nanopartiküllerin 650 patojeni kısa süre içinde etkisiz hale getirdiği tespit edilmiştir [Yılmaz, 2014]. Buna karşın, insan beyni üzerinde yapılan araştırmalarda ise gümüş nanopartiküllerin beyin bariyer bütünlüğünü bozduğu, hücre canlılığını azalttığı ve oksidatif stres kaynağı oluşturduğu belirlenmiştir [Rempe vd., 2014].

Nano silisyum dioksit, betonda kullanıldığında, çimento ve uçucu küllerin aralarındaki gözeneklerin dolmasını sağlayarak, betonun basınç dayanımını büyük oranda artırmaktadır. Buna karşın, yapılan deneyler SiO₂ nanopartiküllerinin kanser yapıcı etkilerinin olduğunu göstermektedir. Bu partiküllere maruz kalan alveoller hücrelerde toksisiteye ve tümör oluşumuna neden olmaktadır. Yüksek oranlarda SiO₂ nanopartikülleri bulunan sularda ise bakterilerin hasar gördüğü tespit edilmiştir [Lee vd., 2009].

3.5. Nanomalzemelerin Hava Kalitesi Açısından Değerlendirilmesi

Kullanıcıların sağlıkları ve çalışma verimlerinde yapılardaki hava kalitesinin önemli olduğu bilinmektedir. İnsan yaşamının ortalama %90'ının geçtiği iç ortamlardaki hava kirlilik seviyesinin dış ortamlara göre çoğu zaman daha yüksek olduğu yapılan çalışmalarla tespit edilmiştir. Öte yandan, iç ortam kirliliği her yıl yüzlerce kanser ve binlerce solunum yolu hastalığına neden olmakta ve ölümlere yol açmaktadır. İç hava kirliliğine maruz kalan binlerce çocuğun kanındaki kurşun seviyesinin yükselmesi yine yapılan araştırmalar sonucunda ortaya çıkmaktadır [Yüksek, 2011].

Nanoteknoloji sayesinde, hava ve suyu temizleme özelliği kazanan malzemeler, hava kalitesini yükseltme, kötü kokuların bileşenlerine ayrılması, havanın içindeki toz, kir gibi partikülleri absorbe edebilmektedir. Bu malzemeler, kirli havayı temizleyebilme özelliklerine sahip olmakta ancak havayı tamamen temizleyememektedir. İç ortamdaki nem dengesinin kurulmasına yardımcı olarak kötü

kokuların ve kirli havanın en aza indirgenmesini sağlamaktadır. Havayı temizleyen nanomalzemelerin çalışma prensibinde, kendi kendini temizleyen nanomalzemelerde olduğu gibi fotokataliz yöntemi etkili olmaktadır. Havayı temizleme özelliğine sahip nanomalzemeler binalarda kullanım alanları, çeşitli kaplama malzemeleri, boya veya ampül gibi ürünlerle olabilmektedir [Gür, 2010]. İç mekanda halılar ve perdeler de mekanın havasını temizlerken, dış mekanda beton ya da parke taşı bu işlevleri görebilmektedir [Harman, 2011].

Titanyum dioksit nanoparçacıklar çimentolarda kullanıldığında su tutma ve kendi kendini temizleme özelliği kazanmaktadır. Bu özelliklere ayrıca antibakteriyel özellik ve hava kirletenlerini azaltma yeteneği de eklenmektedir. Fotokatalitik aktivite için uygun aydınlatma koşulları sağlandığında 1000m² fotokatalitik bir yüzey günlük 2000 m³ havayı temizleyebilmektedir [Leone, 2012].

4. NANOTEKNOLOJİK YAPI MALZEMELERİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Bu bölümde nanoteknolojik yapı malzemelerinin çevresel değerlendirmelerine yönelik,

- literatürde ön plana çıkan sürdürülebilirlik kategorilerinin ve ölçütlerinin belirlenmesi
- belirlenen kriter ve ölçütlerin literatürde ele alınma sıklığı ve dağılımının belirlenmesi
- nanoteknolojik yapı malzemeleri özelinde öne çıkan çevresel etkilerin belirlenmesi ve analiz edilmesi amaçlanmaktadır.

Bu bağlamda, mimaride kullanılan nanoteknolojik malzemeler kapsamında belli ölçütler çerçevesinde belirlenmiş akademik çalışmalar meta-analizi yöntemiyle ele alınmıştır. Bu kapsamda öncelikle meta analizi kavramı açıklanmış, daha sonra sırasıyla meta analizinin amaç, kapsam ve yöntemi belirtilmiş, bu yöntem ile analiz edilen nanoteknolojik malzemelerin çevresel değerlendirmeleri için elde edilen sonuçlar verilmiştir.

4.1. Meta Analizi Kavramı

Meta analizi, “analizlerin analizi” anlamına gelmektedir [Glass, 1976]. Belirli bir konuda yapılmış, birbirinden bağımsız birden çok çalışmanın istatistiksel olarak analizini yapma metodudur. Bir kaynak tarama yönetimi olan meta analizi, çalışmaların bulgularının birleştirilmesi ve bu bulgular doğrultusunda yapılan eleştirilerin nicel verilerle birlikte tekrar gözden geçirilmesi yöntemidir [Akgöz ve diğ., 2004].

Yunanca’da "sonra" anlamına gelen "meta" sözcüğünden hareketle meta analizi kavramının bir alanda analizlerin yapılmasından sonra gerçekleştirilen analiz olduğuna varılabilir [Bland, 2006]. İngilizcede ise meta kelimesi “bir şeyin normal sınırlarının dışında” olarak ifade edilmektedir [Cambridge Dictionary, 2008]. Şen (2018) tarafından yapılan bir çalışmada ise “bir konu hakkındaki büyük resmi ortaya

koymak için sistematik şekilde yapılan nicel bir inceleme” olarak tanımlanmıştır [Şen, 2018].

Ferrer’e göre meta analizi, bir etkinin tek ve daha kesin bir tahminini oluşturmak için bir dizi farklı raporun sonuçlarını birleştirmede kullanılan bir dizi teknikten meydana gelir [Ferrer, 1998]. Shelby ve Vaske’nin yaptıkları çalışmada meta analizi kavramının kabul edilmiş tek iyi bir tanımı veya meta analizi yönteminin tek ve doğru bir yolunun mevcut olmadığı belirtilmiştir [Shelby ve Vaske, 2008]. Sonuçların yalnızca niteliksel olarak değil niceliksel olarak da incelenmesi, bu yöntemi klasik kaynak tarama yöntemlerinden ayırmaktadır [Aydın, 2019].

Sack ve arkadaşlarının 1987 yılında yaptıkları çalışmaya göre meta analizinin dört temel amacı olduğu belirtilmiştir. Bunlar;

- örnek büyüklüğünü artırarak istatistiki anlamlılığı artırmak,
- birbirinden bağımsız belirli bir konuda yapılmış çalışmanın sonuçları birbiriyle uyumlu olmadığında bu belirsizlik hakkında karar vermek,
- etki büyüklüğü (effect size) tahminlerini geliştirmek,
- çalışmanın en başında düşünülmemiş sorulara cevaplar bulmak’tır [Sacks vd.,1987].

Meta analizi yönteminin amaçları farklı çalışmalara göre aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir;

- küçük çapta örneklerle yürütülmüş çalışmaları birleştirerek toplam örneklem çapını genişletmek, dolayısıyla istatistiksel güç ile etki büyüklüğü tahminlerini artırmak [Eysenck, 1995].
- farklı kaynaklarda tespit edilen tutarsızlıkları değerlendirmek ve bunların nedenlerini incelemek [Egger ve diğ., 1997].
- çalışmalar arasındaki bu farklılıkların şans eseri gerçekleşip gerçekleşmediğini incelemek [Şen, 2018].
- genel geçer tek bir doğruya ulaşmakta hiçbir çalışma tek başına mükemmel olmadığından, meta analizi yoluyla sonuçların birleştirici, objektif ve sistematik olarak özetlemek [Kavale, 2001].

- ileride yapılması planlanan araştırmalara ve alınacak kararlara yardım etmek [Franke, 2001]
- analiz sonucunda elde edilen veriler ile yeni araştırma konularının ortaya çıkmasına vesile olmak [Franke, 2001].

Çetingöz'ün yaptığı çalışmaya göre ise meta analiz uygulamalarının temel basamakları problemin tanımlanması, veri toplanması ve işlenmesi, analiz ve raporlamadır [Çetingöz, 2010]. Tyler ve Last'a göre ise bu aşamalar şu şekildedir;

- problemi tanımlama,
- meta analizine çalışmaları dahil etme kriterlerini belirleme,
- araştırmaları elde etme,
- meta analiziyle ilişkili karakteristiklere göre her bir çalışmayı kodlama ve sınıflandırma,
- bireysel çalışmaların bulgularını birleştirme,
- meta analizinin karakteristikleriyle birleştirilmiş bulguların ilişkisini kurma,
- meta analizinin bulgularını rapor etme [Tyler ve Last, 1998].

Meta analizinde, tek bir yargıya güvenilmekten ziyade nicel yöntemler kullanılmaktadır [Mosteller ve Colditz, 1996]. Ayrıca yöntem, araştırmacılar tarafından en çok tercih edilen yöntemlerden biri olarak kabul edilmektedir [Grant ve Booth, 2009]. Akademik araştırmaların planlanmasından yönetimine kadar olan karar verme süreçlerinde fayda sağlayan bu yöntem, aynı zamanda akademik çalışmaların geliştirilmesinin yollarını, konu ile ilgili ana ölçütleri, araştırma metotlarını ve araçlarını ilişkilendirmeye yaramaktadır [Betts ve Lansley, 1993], [İlter ve diğ, 2008]. Akademik çalışmaların meta analizi ile incelenmesi kaynakların derlenmesinin yanı sıra benzer konu alanlarındaki gelecek çalışmalara yol gösterecek sistematik bir yaklaşımın ortaya konulması açısından da önemlidir [Serin, 2016].

Abramson, birbirinden bağımsız birden fazla araştırmanın bulgularını birleştirmenin avantajlarını şu şekilde açıklamıştır;

- bireysel çalışmalar benzer bulgulara sahip olduğunda elde edilmiş sonuçların geçerliliği kuvvetlenecektir.
- bireysel çalışmaların istatistiksel olarak anlamlı olabilmeleri için küçük örneklemelere sahip olabilirler, ancak meta-analizi çalışmaların bulgularını birleştirerek bu problemi ortadan kaldıracaktır [Abramson, 1994].

Meta analizi, kontrollü klinik çalışmalar, yarı deneysel-gözlemsel çalışmalar gibi herhangi bir türdeki niceliksel çalışmalara uygulanabilmektedir. Meta-analizi nedensel ilişkileri açıklamayı amaçlasa da nedensel ilişki kurulmayan çalışmalara, tanımlayıcı araştırmalara, tarama çalışmalarına, geçerlilik ve güvenilirlik çalışmalarına, maliyet-etkinlik çalışmalarına ve diğer konulara uygulanabilmektedir [Akgöz ve diğ., 2004].

1993 yılında Betts ve Lensley'in yaptıkları kapsamlı bir çalışmada, meta analizi temelde 'içerik' ve 'biçim' olmak üzere iki boyutta ele alınmıştır. Daha sonra bu çalışmadan ilham alan Serin (2016) ve Aydın (2019) da tez çalışmalarında içerik ve biçime dayalı sınıflandırma çerçevesi belirlemişlerdir.

4.2. Verilerin Toplanması

Bu tez kapsamında, yayımlanmış erişilebilen ulusal ve uluslararası hakemli dergiler, konferans bildirileri ve tezler olmak üzere 58 bilimsel çalışma ele alınmıştır (Tablo4.1). Bu çalışmalar "Science Direct (Elsevier)", "Springer", "Web of Science" ve "YÖK Ulusal Tez Merkezi" veri tabanlarından elde edilmiştir. Meta analizi çerçevesinde yapılan veritabanı taramalarında "yapılarda nanoteknoloji ve inşaat nanoteknoloji (nanotechnology in building ve nanotechnology in construction)" anahtar kelimeleri türkçe ve ingilizce olarak kullanılmıştır. Tarama sonucunda bulunan çalışmalar "sürdürülebilirlik (sustainability)", "toksikoloji (toxicology)", "çevre (environment)" gibi anahtar kelimeleri kullanılarak sınırlandırılmıştır

Tablo 4.1: Çalışma kapsamında ele alınan bilimsel çalışmalar.

Sayı	Yazarlar	Çalışmanın Adı
1	Rosenberg D., 2008	<i>Environmentally Intelligent Integral Waterproofing and Corrosion Protection for Concrete</i>
2	Yüksel Ş., 2010	<i>Kendi kendini temizleyen betonlarda kalıp tipinin durabiliteye etkisi</i>
3	PachecoTorgal F. vd., 2011	<i>Nanotechnology: Advantages and Drawbacks In The Field of Construction and Building Materials</i>
4	Som C. vd., 2011	<i>Environmental And Health Effects Of Nanomaterials In Nanotextiles And Facade Coatings</i>
5	Graziani G. vd., 2013	<i>Durability Of Self-Cleaning Tio₂ Coatings On fired Clay Brick Façades: Effects Of UV Exposure And Wet & Dry Cycles</i>
6	Akgül T., 2013	<i>CCB nano partiküllerle güçlendirilmiş ahşap yapı elemanlarının mekanik özelliklerinin incelenmesi</i>
7	Bazu T., 2013	<i>Sol-gel yöntemi ile kaplanarak kendi kendini temizleyen yüzeylerin elde edilmesi ve karakterizasyonu</i>
8	İpekçi, 2013	<i>Antibakteriyel ve kir leke tutmayan seramik malzeme üretimi</i>
9	Graziani L. vd., 2013	<i>Evaluation of Inhibitory Effect of Tio₂ Nanocoatings Against Microalgal Growth on Clay Brick Façades Under Weak UV Exposure Conditions</i>
10	Smulders S. vd., 2014	<i>Toxicity of Nanoparticles Embedded In Paints Compared To Pristine Nanoparticles, In Vitro Study</i>
11	Yılmaz S., 2014	<i>Nanomalzemelerin Mimaride Kullanım Olanakları</i>
12	Bilgin S., 2014	<i>Yapılarda Kullanılan Nanoürünlerin Yapı Biyolojisi Açısından İrdelenmesi</i>
13	Kumar P. vd., 2014	<i>Recycling Concrete: An Undiscovered Source of Ultrafine Particles</i>
14	Iavicoli I. vd., 2014	<i>Opportunities And Challenges Of Nanotechnology In The Green Economy</i>
15	Franzoni E. vd., 2014	<i>Compatibility Of Photocatalytic Tio₂-Based finishing For Renders In Architectural Restoration: A Preliminary Study</i>
16	Haghghat A., 2015	<i>Nanomalzemelerin mimarlık ve iç mimarlıktaki uygulamalarının sağlık yapıları çerçevesinde hasta odalarında kullanımı</i>
17	Ünal S., 2015	<i>Kendi kendini temizleyen endüstriyel atıklı betonlar</i>
18	Pisello A. L. vd., 2016	<i>Multipurpose Experimental Characterization Of Smart Nanocomposite Cement-Based Materials For Thermal-Energy Efficiency And Strain-Sensing Capability</i>
19	Cengiz G., 2016	<i>Mimarlıkta Sürdürülebilir Nanoteknolojik Malzeme Kullanımı</i>

Tablo 4.1(Devam): Çalışma kapsamında ele alınan bilimsel çalışmalar.

20	Sungur Ş. E., 2016	Mimari Restorasyonda Nanoteknoloji
21	Balay M., 2016	Nano malzemelerin çimento bağlayıcılı kompozitlerin mekanik özellikleri üzerine etkileri
22	De Matteis V. vd., 2016	Nanomaterials And Smart Nanodevices For Modular Dry Constructions: The Project “Easy House”
23	Mujeebu A. M. vd., 2016	Effect of Nano Vacuum İnsulation Panel And Nanogel Glazing On The Energy Performance of Office Building
24	Huang Y.,Wang L., 2016	Experimental Studies On Nanomaterials For Soil İmprovement: A Review
25	Pacheco-Torgal F., 2016	High Tech Startup Creation For Energy Efficient Built Environment
26	Eisazadeh N. vd., 2016	Nanotechnology And Its Impact On Sustainable Architecture
27	O'Hegarty R. vd., 2017	Concrete Solar Collectors For Facade Integration: An Experimental And Numerical Investigation
28	Shakrani S.A. vd., 2017	A Review Of Nanoclay Applications İn The Pervious Concrete Pavement
29	Uysal A., 2017	Kendi kendini temizleyen çimentolarda fotokatalitik performansın kolemanit ile artırılması
30	Qarluq A., 2017	Halloysit nano-kil, nano-Sio2 ve nano-Cao'in çimento esaslı harçlar üzerindeki etkilerinin araştırılması
31	Papatzani S. vd.,2017	Construction, Demolition And Excavation Waste Management In EU/Greece And Its Potential Use In Concrete
32	Oke E. vd., 2017	Energy Savings and Sustainable Construction Examining the Advantages of Nanotechnology
33	Sarıköse M., 2018	Yapılı Çevrelerde Nanoteknoloji Kullanımı ve İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri
34	Karagöz A., 2018	Nano malzeme içeren çimentolu kompozitlerin termal verimliliği
35	Safi B. vd., 2018	Incorporation Mode Effect Of Nano-Silica On The Rheological And Mechanical Properties Of Cementitious Pastes And Cement Mortar
36	Ali Al-Graiti vd., 2018	Investigations on the Application of Nanomaterials to Improve the Environmental Performance of Buildings
37	Arslan Selçuk S., 2018	Nanotechnology in Built Environment: Pros and Cons of Nanomaterial Usage in Architecture
38	Nourian M., 2018	Mimaride Nanokaplamaların Kullanımı Üzerine Bir İnceleme

Tablo 4.1(Devam): Çalışma kapsamında ele alınan bilimsel çalışmalar.

39	Koivisto A., 2018	<i>Practicle Emission Rates During Electrostatic Spray Deposition Of Tio₂ Nanoparticle-Based Photoactive Coating</i>
40	Şahin O. Z., 2019	<i>Nanoteknolojik ürünlerin giydirme cephe sektörü bağlamında araştırılması</i>
41	Turunç S., 2019	<i>Nanoteknolojik Yapı Malzemelerinin Türk Yapı Sektöründe Kullanımı</i>
42	Faisal N., 2019	<i>Çimentolu kompozitlerde mikro ve nano mineral katkıların performanslarının karşılaştırılması</i>
43	Bozkurt A., 2019	<i>Yüksek performanslı çimento harç özelliklerine nano - silis ve farklı puzolan malzeme katkısının etkileri</i>
44	Toklu K., 2019	<i>Nano boyutta modifiye edilmiş yüksek hacimde uçucu kül içeren çimento esaslı kompozitlerin beton onarım malzemesi olarak kullanılması</i>
45	Özdal V., 2019	<i>Karma puzolanların kullanıldığı yüksek performanslı nano beton üretimi</i>
46	Bilim E., 2019	<i>Karma lif kullanılan yüksek performanslı nano beton üretimi</i>
47	Díaz-Soler B. M. vd., 2019	<i>Potential Risks Posed By The Use Of Nano-Enabled Construction Products: A Perspective From Coordinators For Safety And Health Matters</i>
48	Zheng L. vd., 2019	<i>Transparent Nanomaterial-Based Solar Cool Coatings: Synthesis, Morphologies and Applications</i>
49	Jimenez-Relinque E., vd. 2020	<i>Environmental Impact of Nano-Functionalized Construction Materials: Leaching of Titanium and Nitrates From Photocatalytic Pavements Under Outdoor Conditions</i>
50	Çöl F., 2020	<i>Isı yalıtımı açısından konvansiyonel malzemelerle nanoteknolojik malzemelerin karşılaştırılması</i>
51	Bekar H., 2020	<i>Atık nano karbon karası kullanılarak üretilen betonlarda yüksek sıcaklık etkisinin incelenmesi</i>
52	Çiftçi M., 2020	<i>Nano boyutlu taneciklerin kullanımıyla yüksek hacimde yüksek fırın cürufu içeren katkılı çimento tasarımı</i>
53	López-Alonso M., 2020	<i>Management of Occupational Risk Prevention of Nanomaterials Manufactured in Construction Sites in the EU</i>
54	Elegbede JA vd., 2020	<i>Nanotechnology In The Built Environment For Sustainable Development</i>
55	Boul, P., 2020	<i>Nanotechnology Research and Development in Upstream Oil and Gas</i>
56	Aljenbaz A. Z., 2020	<i>Evaluation of Nanomaterials for Building Production within the Context of Sustainability</i>
57	Padmanabhan N. vd., 2020	<i>Titanium Dioxide Based Self-Cleaning Smart Surfaces: A Short Review</i>
58	SuhongLiu vd., 2020	<i>Energy Analysis Using Carbon and Metallic Oxides-Based Nanomaterials Inside a Solar Collector</i>

4.3. Verilerin İşlenmesi:

Meta analizi çalışmasının yöntemi; benzer konularda yeterli sayıda çalışmanın ortak parametrelerinin elde edilmesi ve bu veriler doğrultusunda değerlendirilmesidir. Bu amaçla öncelikle bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen meta analizi için çalışmanın sistemini özetleyen bir sınıflandırma çerçevesi belirlenmiştir (Tablo 4.2).

Tablo 4.2: Meta Analizinin Sınıflandırma Çerçevesi

Ana Başlıklar	Alt Başlıklar
Genel Özellikler	Kaynak Türü
	Yayın Yılı
	Veri Tabanı
	Yayınlandığı Ülke
	Yayınlandığı Dergi
İçerik	Araştırma Yöntemleri
	Sürdürülebilirlik Kategorileri ve Ölçütlerinin Belirlenmesi
	Ölçütlerin Yayınlarda Görülme Sıklıkları
	Nanomalzemelerin Ölçütler Kapsamında İrdelenmesi
	Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler

Belirlenen bu sınıflandırma çerçevesine göre meta analizinin uygulanmasına yönelik elde edilen bilimsel yayınlar ve bu yayınların genel özellikleri ve içerikleri excell tablosuna aktararak veriler toplanmıştır (EK B). Çevresel kategoriler sürdürülebilirliğin ana başlıkları olan kaynakların korunması (enerji, su ve hammadde etkinliği), insan sağlığına etki, dış mekan hava kalitesi ve iç hava kalitesi olarak belirlenmiş, bu kategorilerin ölçütleri ise her bir bilimsel çalışmanın detaylı incelenmesi sırasında tespit edilmiştir.

4.4. Verilerin Analiz Edilmesi:

Bilimsel çalışmalar gözden geçirilerek belirlenen ölçütler doğrultusunda elde edilen veriler, MS Excell tablosunda sınıflandırılmış ve düzenlenmiştir. Bu çalışmalarda sayıları belirlenen ölçütlerin incelenen bilimsel çalışmalarda bulunma sıklıkları, aşağıdaki denklikte görülen sıklık analizi formülü ile hesaplanmış ve her bir ölçütün ayrı ayrı sıklık analizi hesaplanmıştır.

$$f = \frac{ni}{\sum ni}$$

f : sıklık

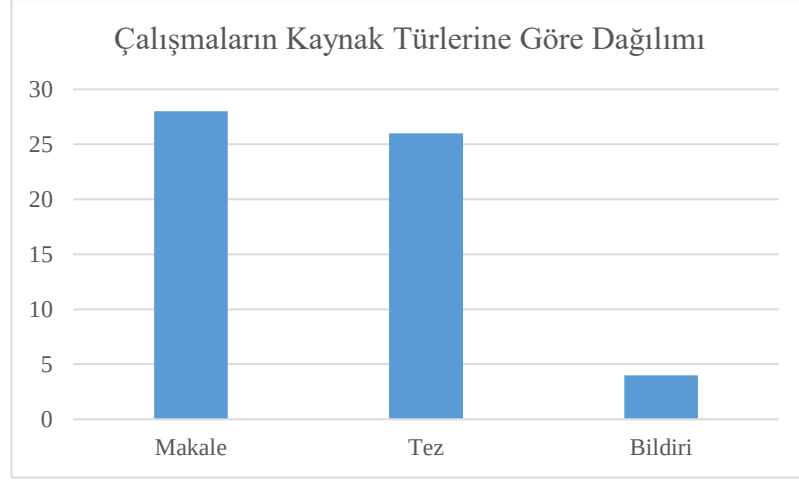
ni : ölçütün görüldüğü kaynak sayısı

$\sum ni$: incelenen toplam kaynak sayısı [Yenidünya ve Limoncu, 2020].

Formüle göre ölçütlerin incelenen bilimsel çalışmalarda bulunma sıklığı; ölçütün görüldüğü kaynak sayısının incelenen toplam kaynak sayısına oranı ile belirlenmektedir.

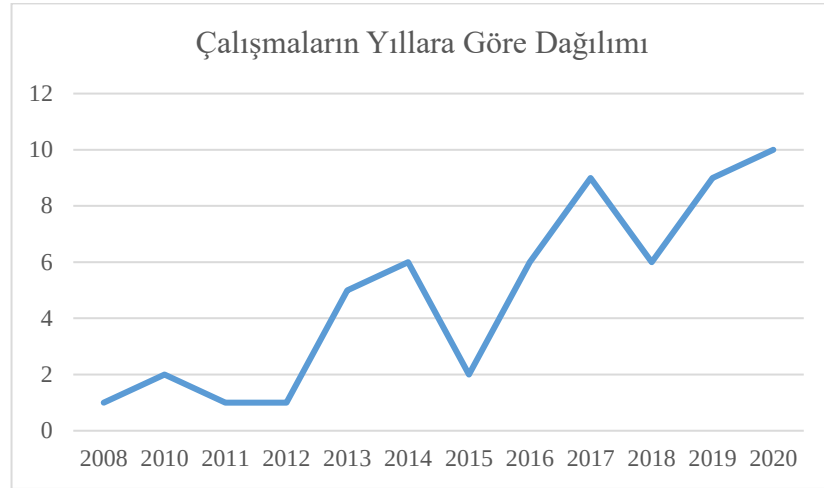
4.4.1. Çalışmaların Genel Özelliklerinin Analizi

Çalışma kapsamında ele alınan bilimsel araştırmaların genel özellikleri kapsamında; 58 çalışmanın kaynak türlerine göre dağılımı, yıllara göre dağılımı, yayımlandıkları veri tabanlarına ve dergilere göre dağılımı değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında 28 makale, 26 tez ve 4 bildiriye ulaşılmıştır. Şekil 4.1 bu yayınların kaynak türlerine göre dağılımı gösterilmiştir. Yayımlanan en fazla kaynak türünün makale olması, nanoteknolojik yapı malzemelerinin çevresel etkilerini ele alan çalışmaların yayınlanmasında bilimsel dergilerin etkin olduğunu göstermektedir.



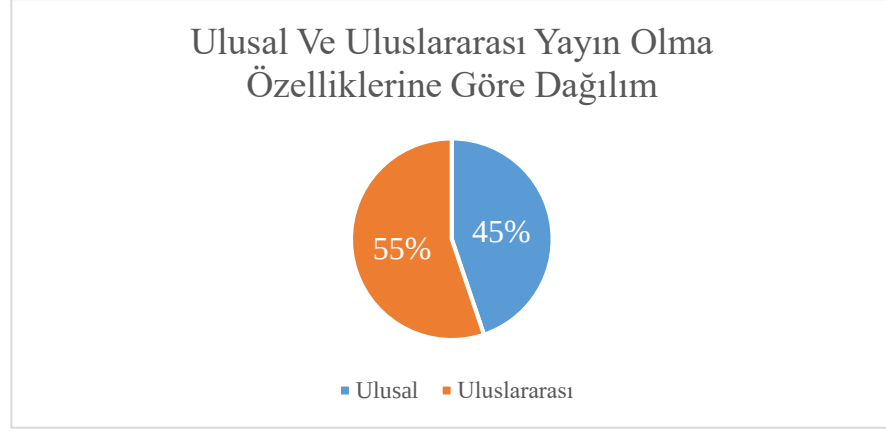
Şekil 4.1: İncelenen çalışmaların kaynak türlerine göre dağılımı.

Çalışma kapsamında ele alınan kaynakların yıllara göre dağılımı ise Şekil 4.2’de gösterilmektedir. Nanoteknolojik yapı malzemelerine yönelik çalışmaların en fazla olduğu yıl 2020 yılıdır. Bununla birlikte bu konuda yapılan çalışmalarda düzenli bir artış gözlenmese de genel olarak bir artış söz konusudur. Bu da çalışma alanının güncelliğini ve gelişmeye devam ettiğini göstermektedir.



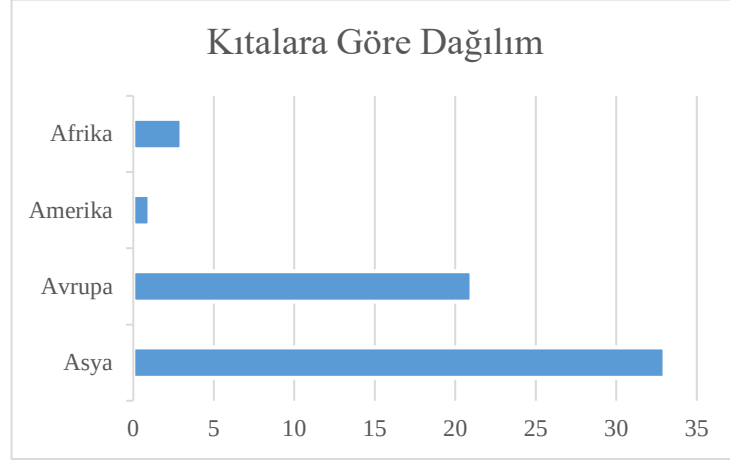
Şekil 4.2: İncelenen çalışmaların yıllara göre dağılımı.

Şekil 4.3’te, ele alınan 58 çalışma ulusal ve uluslararası yayın olma özelliklerine göre incelenmiştir. Grafiğe göre, incelenen uluslararası bilimsel çalışmaların oranı %55, ulusal bilimsel çalışmaların oranı %45’tir.



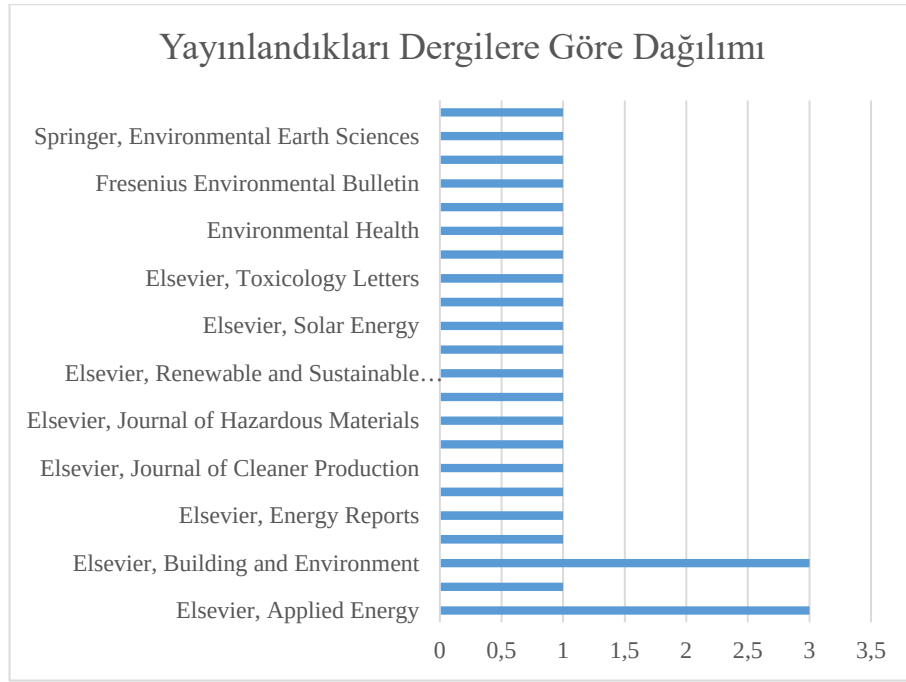
Şekil 4.3: İncelenen çalışmaların ulusal ve uluslararası yayın olma özelliklerine göre dağılımı.

Şekil 4.4’de incelenen çalışmaların kıtalara göre dağılımı gösterilmektedir. İncelenen 58 bilimsel çalışmadan nanoteknolojik yapı malzemelerinin çevresel değerlendirmesini konu alan en fazla çalışma Asya ve Avrupa kıtalarında yayınlanmıştır.



Şekil 4.4: İncelenen çalışmaların yayınlandıkları kıtalara göre dağılımı.

Meta analizi çalışmasında ilgili veri tabanlarından ulaşılan makalelerin yayınlandığı dergilerin dağılımı ise Şekil 4.5’te gösterilmiştir. Nanoteknolojik yapı malzemelerinin çevresel değerlendirmesini konu alan en çok çalışma ‘Building and Environment’ ve ‘Applied Energy’ dergilerinde yayınlanmıştır.

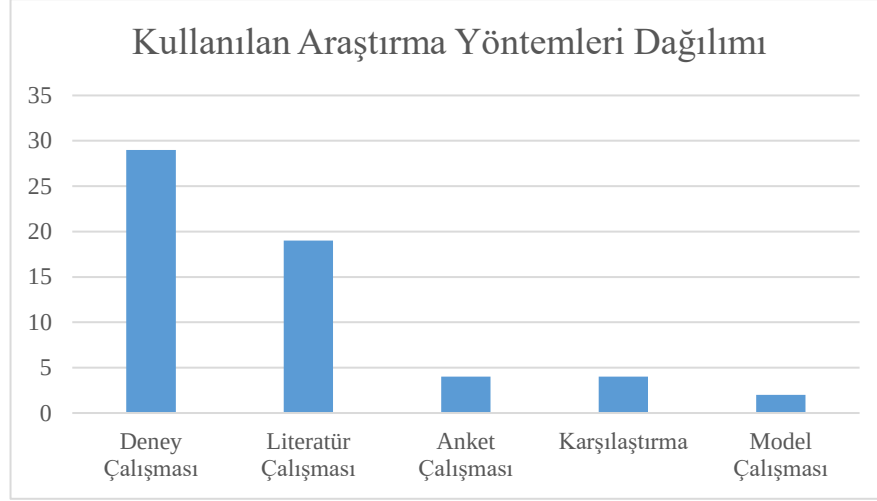


Şekil 4.5: İncelenen çalışmaların yayınlandıkları dergilere göre dağılımı.

4.4.2. Çalışmaların İçerik Analizi

İçerik analizinde öncelikle nanomalzemelere yönelik sürdürülebilirlik kapsamında incelenen çalışmaların kullanılan araştırma yöntemlerine göre dağılımı belirlenmiştir. Daha sonra sırasıyla ele alınan çalışmaların analizi için çevresel değerlendirmeye yönelik ölçütlerin ve bu ölçütlerin çalışmalarda kullanılma sıklıklarının belirlenmesi ve çalışmaların ölçütler kapsamında değerlendirilmesi yapılmıştır. İçerik analizinin son bölümünde ise gelecekte yapılacak çalışmalara yön verecek önerilere yer verilmiştir.

Meta analizi kapsamında ele alınan çalışmalarda kullanılan araştırma yöntemlerinin dağılımı Şekil 4.6’da gösterilmektedir. Buna göre bu alanda yapılan çalışmalarda en fazla “deneysel çalışma” yapıldığı gözlemlenmektedir. Bunu sırasıyla “derleme (review) çalışması”, “anket çalışması”, “karşılaştırma” ve “model çalışması” izlemektedir.



Şekil 4.6: İncelenen çalışmalarda kullanılan araştırma yöntemlerine göre dağılımı.

Araştırma yöntemlerine göre en fazla kullanılan yöntem olan deney çalışması, malzemelerin nanoölçekte kontrol edilerek daha gelişmiş özelliklere sahip yapı malzemeleri elde edilmesi üzerine yoğunlaşmaktadır.

4.4.2.1. Çalışmalar Kapsamında Belirlenen Çevresel Kategoriler ve Ölçütleri

Ele alınan 58 çalışma literatürde öne çıkan 6 çevresel kategori başlığı altında değerlendirilmiştir. 6 çevresel kategori başlığı altındaki 31 ölçüt ise literatür analizi yöntemiyle her bir yayının ayrıntılı incelenmesi ve MS Excel ile sınıflandırılması ile belirlenmiştir (Tablo 4.3).

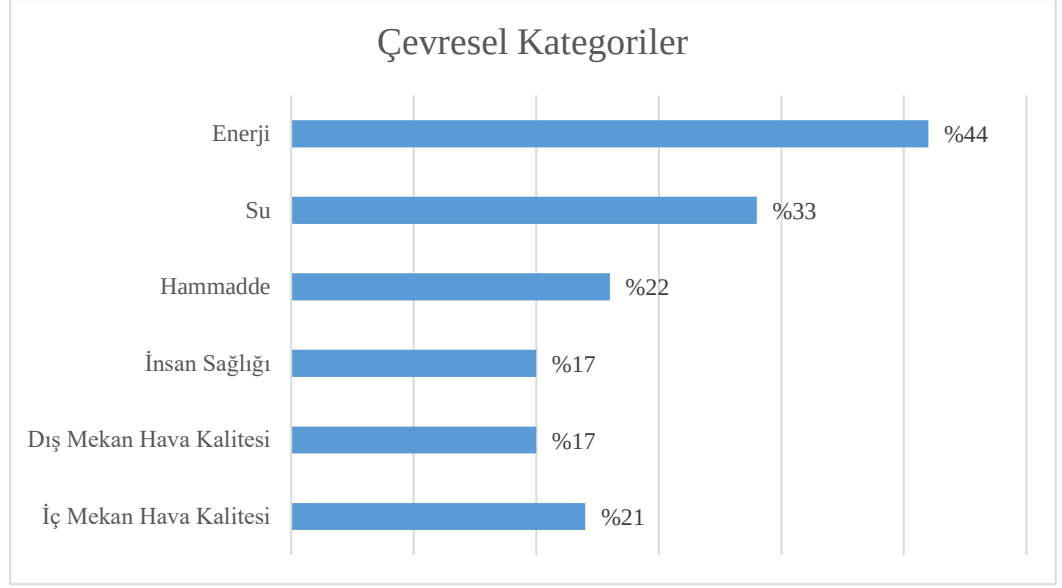
Tablo 4.3: Nanomalzemelere yönelik yayınlar kapsamında belirlenen çevresel kategoriler ve ölçütler.

Çevresel Kategoriler	Ölçütler
Enerji Etkinliği	Isıtma Etkinliği
	Soğutma Etkinliği
	Aydınlatma Etkinliği
	Yenilenebilir Enerji
	Yenilenemeyen Enerji Kaynaklarının Daha Az Kullanımı
	Enerji Etkin Cephe Oluşumu

Tablo 4.3 (Devam): Nanomalzemelere yönelik yayınlar kapsamında belirlenen çevresel kategoriler ve ölçütler.

Su Etkinliği	Suyun Etkin Kullanımı
	Sudaki Toksik Etkiler
Hammadde Etkinliği	Hammaddenin Etkin Kullanımı
	Toprak İyileştirmesi
	Ekolojik Dengenin Bozulması
İnsan Sağlığı	Cilt Hastalıkları
	Solunum Zorlukları
	Akciğer Hastalıkları
	Kalp Hastalıkları
	Mide-Bağırsak Hastalıkları
	Beyin Hasarı
	Karaciğer Hastalıkları
	Kanser
	Hücrelerde Toksisite
	Sinir Sistemi Hastalıkları
	Alveollerde ve Makrofajlarda Bozulma
	Bağışıklık Sisteminde Hasar
	DNA Hasarı
	Mitokondriyal Zarar
	Oksidatif Stres
Dış Mekan Hava Kalitesi	Dış Mekan Hava Kalitesi İyileştirmesi (CO ₂)
	Dış Mekan Hava Kalitesi İyileştirmesi (SO ₂)
	Dış Mekan Hava Kalitesi İyileştirmesi (NO ₂)
İç Mekan Hava Kalitesi	İç Mekan Hava Kalitesi İyileştirmesi

Literatür analizi kapsamında 6 adet çevresel kategori belirlenmiştir. Belirlenen 6 çevresel etki kategorisi sürdürülebilir yapı ve yapı malzemeleri çalışmalarında temel olarak kullanılan ana kategorilerdir [Selici vd., 2005], [Yenidünya ve Limoncu, 2020]. Belirlenen bu kategorilerin incelenen bilimsel çalışmalarda bulunma sayıları Şekil 4.7’de gösterilmektedir. Bu grafiğe göre, incelenen 58 bilimsel çalışmanın; 26’sında (%44) enerji, 19’unda (%33) su, 13’ünde (%22) hammadde, 10’unda (%17) insan sağlığı, 10’unda (%17) dış mekan hava kalitesi, 12’sinde (%21) ise iç mekan hava kalitesi kategorilerine yer verilmiştir.

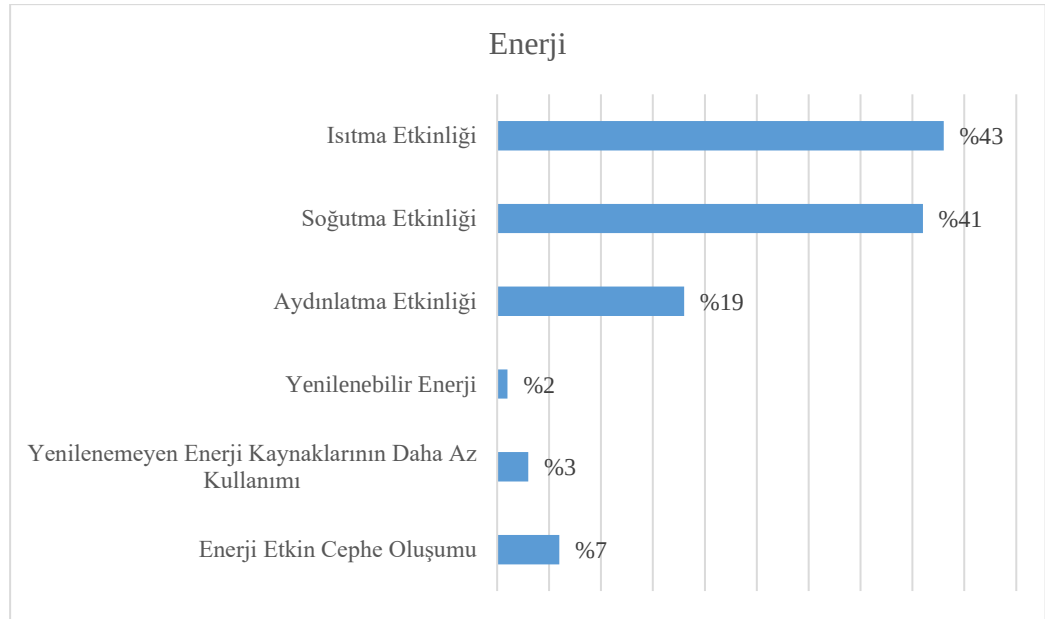


Şekil 4.7: Bilimsel yayınlarda belirlenen çevresel kategorilerin bulunma sıklıkları.

4.4.2.2. Ölçütlerin Bilimsel Çalışmalarda Görülme Sıklıklarının Belirlenmesi

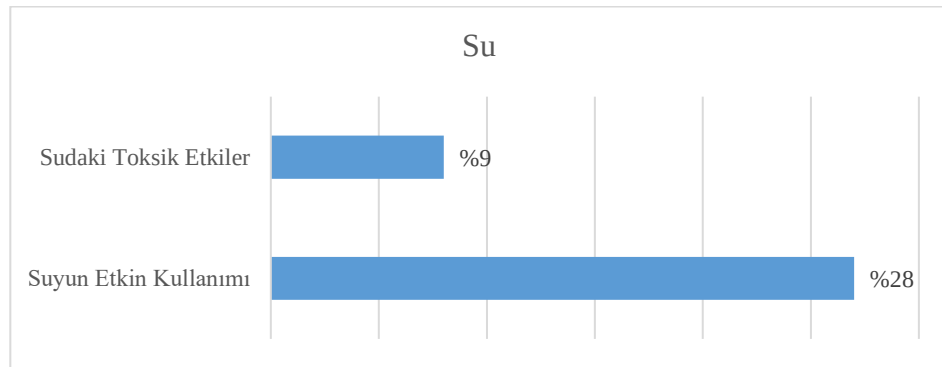
Tablo 4.3'te belirtilen ölçütlerin incelen yayınlarda bulunma sıklık değerleri $f = \frac{ni}{\sum ni}$ formülü ile hesaplanmıştır.

Her bir ölçütün ayrı ayrı sıklık analizi hesaplanmış ve bu ölçütler ait oldukları çevresel kategori başlıkları altında Şekil 4.8'de belirtilmiştir. Enerji kategorisi altında 58 bilimsel çalışmanın “ısıtma etkinliği” 25'inde (%43), “soğutma etkinliği” 24'ünde (%41), “aydınlatma etkinliği” 11'inde (%19), “yenilenebilir enerji” 1'inde (%2), “yenilenemeyen enerji kaynaklarının daha az kullanımı” 2'sinde (%3), “enerji etkin cephe oluşumu” 4'ünde (%7) olarak belirlenmiştir. Şekil 4.8'de, enerji kategorisindeki ölçütlerin sıklık analiz değerleri belirtilmektedir.



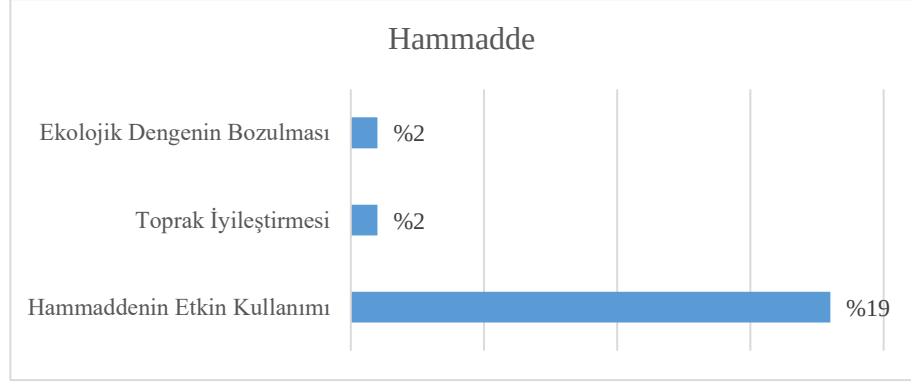
Şekil 4.8: Enerji kategorisindeki ölçütler ve görülme sıklıkları.

İncelenen 58 adet bilimsel çalışmada “suyun etkin kullanımı” çalışmaların 16’sında (%28), “sudaki toksik etkiler” çalışmaların 5’inde (%9) yer almıştır. Şekil 4.9’da, su kategorisindeki ölçütlerin sıklık analiz değerleri gösterilmektedir.



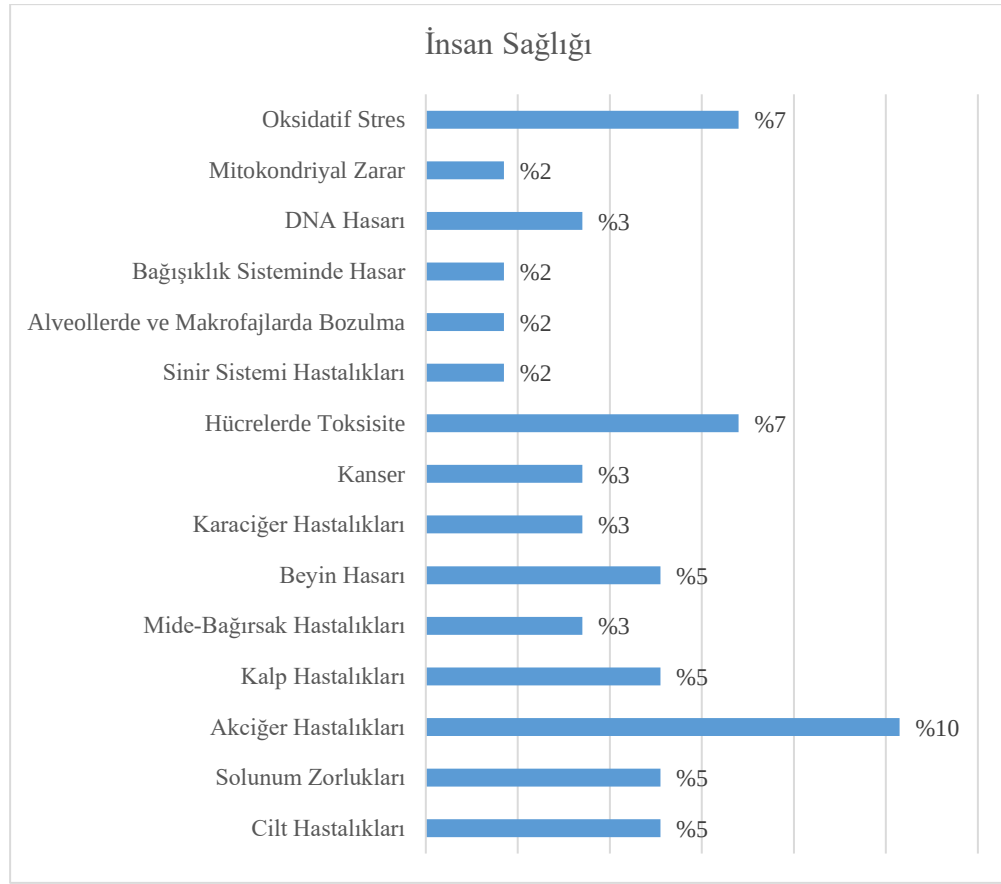
Şekil 4.9: Su kategorisindeki ölçütlerin görülme sıklık değerleri.

Hammadde kategorisinde ise 58 çalışmada “hammaddenin etkin kullanımı” çalışmaların 11’inde (%19), “toprak iyileştirmesi” 1’inde(%2), “ekolojik dengenin bozulması” 1’inde (%2) yer almıştır. Şekil 4.10’da hammadde kategorisindeki ölçütlerin sıklık analiz değerlerini göstermektedir.



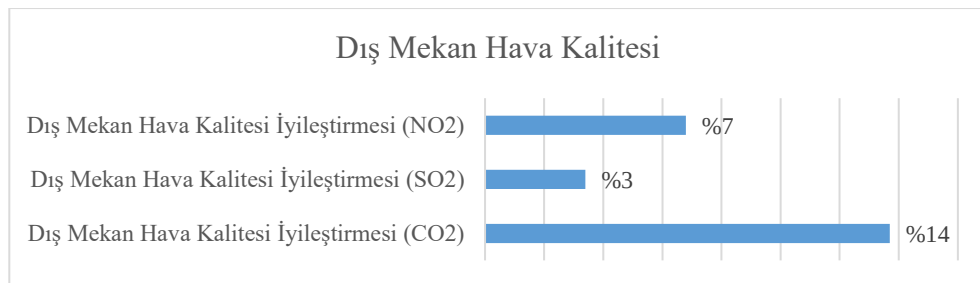
Şekil 4.10: Hammadde kategorisindeki ölçütlerin görülme sıklık değerleri.

İnsan sağlığı kategorisinde 58 bilimsel çalışmada, çalışmaların 3'ünde (% 5) “cilt hastalıkları”, 3'ünde (%5) “solunum zorlukları”, 6'sında (%10) “akciğer hastalıkları”, 3'ünde (%5) “kalp hastalıkları”, 2'sinde (%3) “mide-bağırsak hastalıkları”, 3'ünde (%5) “beyin hasarı”, 2'sinde (%3) “karaciğer hastalıkları”, 2'sinde (%3) “kanser”, 4'ünde (%7) “hücrelerde toksisite”, 1'inde “sinir sistemi hastalıkları”, 1'inde (%2) “alveollerde ve makrofajlarda bozulma”, 1'inde (%2) “bağışıklık sisteminde hasar”, 2'sinde (%3) “DNA hasarı”, 1'inde “mitokondriyal zarar”, 4'ünde (%7) “oksidatif stres” ölçütleri yer almıştır. Şekil 4.11'de insan sağlığı kategorisindeki ölçütlerin sıklık analiz değerleri gösterilmektedir.



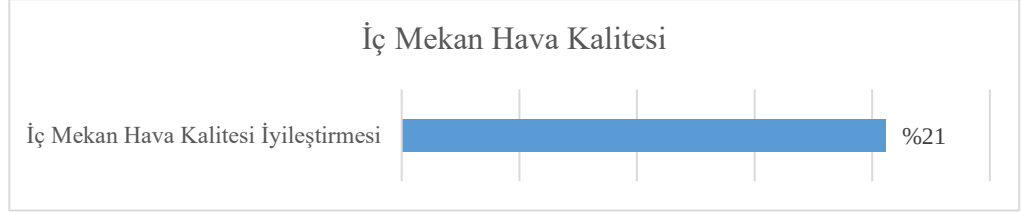
Şekil 4.11: İnsan sağlığı kategorisindeki ölçütlerin görülme sıklık değerleri.

Dış mekan hava kalitesi kategorisinde, 58 bilimsel çalışmada, çalışmaların 8'inde (%14) “dış mekan hava kalitesi iyileştirmesi (CO₂)” ölçütü, 2'sinde (%3) “dış mekan hava kalitesi iyileştirmesi (SO₂)” ölçütü, 4'ünde (%7) “dış mekan hava kalitesi iyileştirmesi (NO₂)” ölçütü tespit edilmiştir. Şekil 4.12’de, dış mekân hava kalitesi kategorisindeki ölçütlerin sıklık analiz değerleri gösterilmektedir.



Şekil 4.12: Dış mekan hava kalitesi kategorisindeki ölçütlerin görülme sıklık değerleri.

İç mekan hava kalitesi kategorisinde ise 58 bilimsel çalışmada, çalışmaların 12'sinde (%21) “iç mekan hava kalitesinin iyileştirilmesi” ölçütü yer almıştır. Şekil 4.13'te, iç mekan hava kalitesi kategorisindeki ölçütün sıklık analiz değerleri gösterilmektedir.

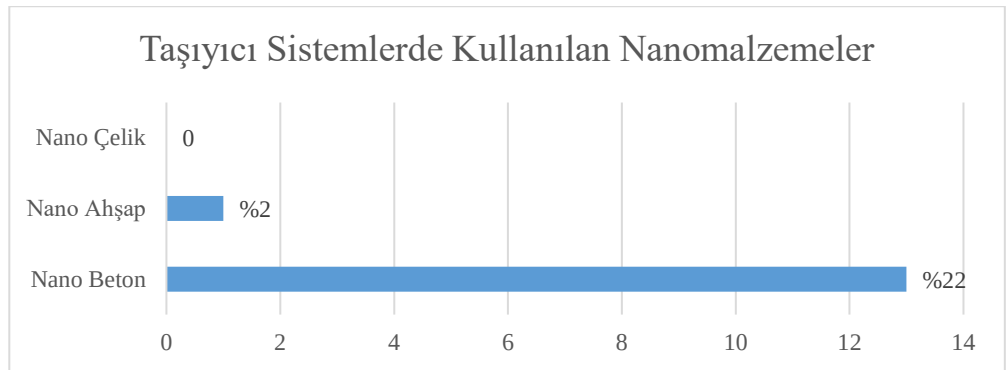


Şekil 4.13: İç mekan hava kalitesinin iyileştirilmesi ölçütünün görülme sıklık değeri.

4.4.2.3. Nanoteknolojik Yapı Malzemeleri Özelinde Çevresel Kategori ve Ölçütler

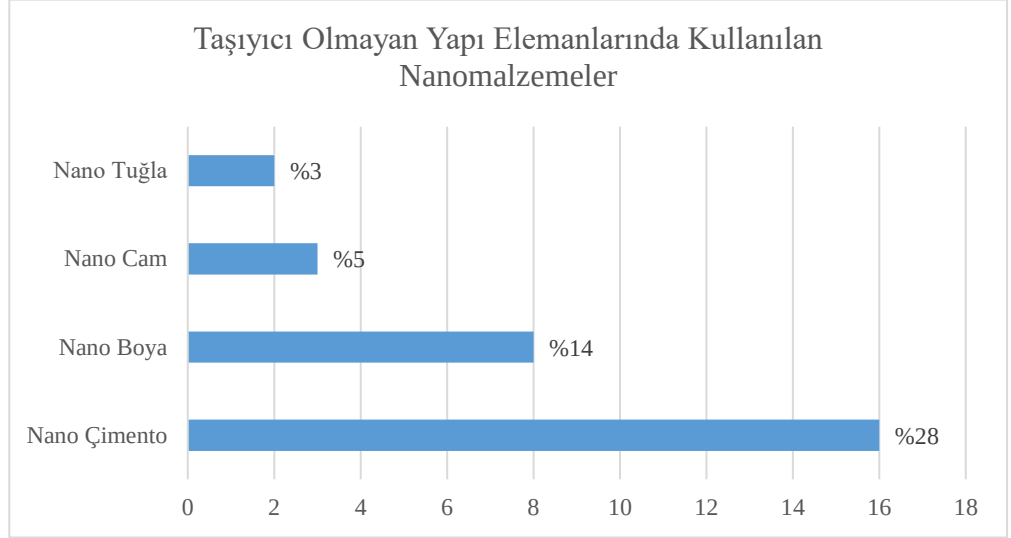
Bölüm 2’de sınıflandırılması yapılmış olan “yapılarda kullanımlarına göre nanomalzemeler”, kullanıldıkları çevresel kategori başlıkları altında ele alınmış ve çevresel sürdürülebilirlik ölçütleri kapsamında değerlendirilmiştir.

İncelenen 58 bilimsel çalışmanın 14’ünde (%24) “taşıyıcı sistemlerde kullanılan nanomalzemeler” ele alınmaktadır. Bunlardan 13 tanesinde (%22) nano beton, 1’inde (%2) nano ahşap ele alınırken nano çelik malzemelerin çevresel etkileri ile ilgili yayına rastlanmamıştır. Şekil 4.14’te nano beton, nano ahşap ve nano çelik malzemelerin bilimsel çalışmalarda yer alma oranları gösterilmektedir.



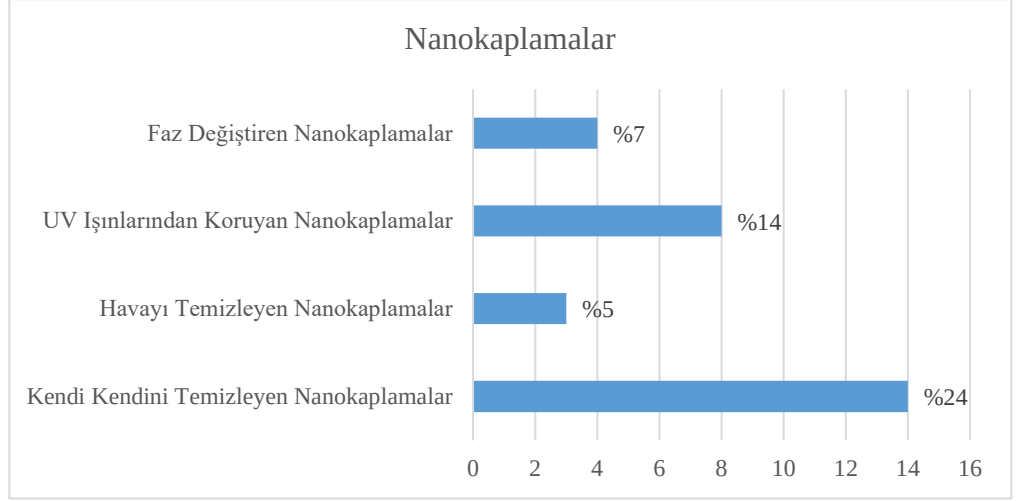
Şekil 4.14: Strüktürel nanomalzemelerin (çelik, ahşap, beton) bilimsel çalışmalarda belirtilme oranları.

İncelenen 58 bilimsel çalışmanın 29’unda “taşıyıcı olmayan yapı elemanlarında kullanılan nanomalzemeler” sınıfında olan nano çimento, nano tuğla, nano cam ve nano boya ele alınmaktadır. Bunlardan 16’sında (%28) nano çimentoların, 8’inde (%14) nano boyaların, 3’ünde (%5) nano camların, 2’sinde (%3) nano tuğlaların çevresel etkileri ele alınmıştır. Şekil 4.15’te ele alınan bu malzemelerin bilimsel çalışmalarda belirtilme oranları gösterilmektedir.



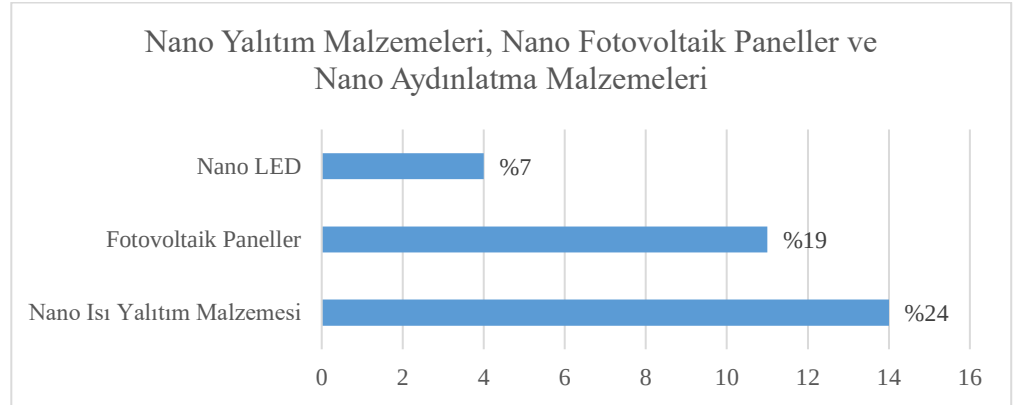
Şekil 4.15: Taşıyıcı olmayan yapı elemanlarında kullanılan nanomalzemenin bilimsel çalışmalarda belirtilme oranları.

İncelen 58 çalışmanın 18’inde “nanokaplamalar” sınıfında olan kendi kendini temizleyen nanokaplamalar, havayı temizleyen nanokaplamalar, UV ışınlarından koruyan nanokaplamalar, faz değiştiren nanokaplamalar ele alınmıştır. Bunlardan 14’ünde (%24) kendi kendini temizleyen nanokaplamalar, 3’ünde (%5) havayı temizleyen nanokaplamalar, 8’inde (%14) UV ışınlarından koruyan nanokaplamalar, 4’ünde (%7) ise faz değiştiren nanokaplamaların çevresel etkilerine yer verilmiştir. Şekil 4.16’da “nanokaplamalar” kategorisinde ele alınan bu malzemelerin bilimsel çalışmalarda belirtilme oranları gösterilmektedir.



Şekil 4.16: Nanokaplamaların bilimsel çalışmalarda belirtilme oranları.

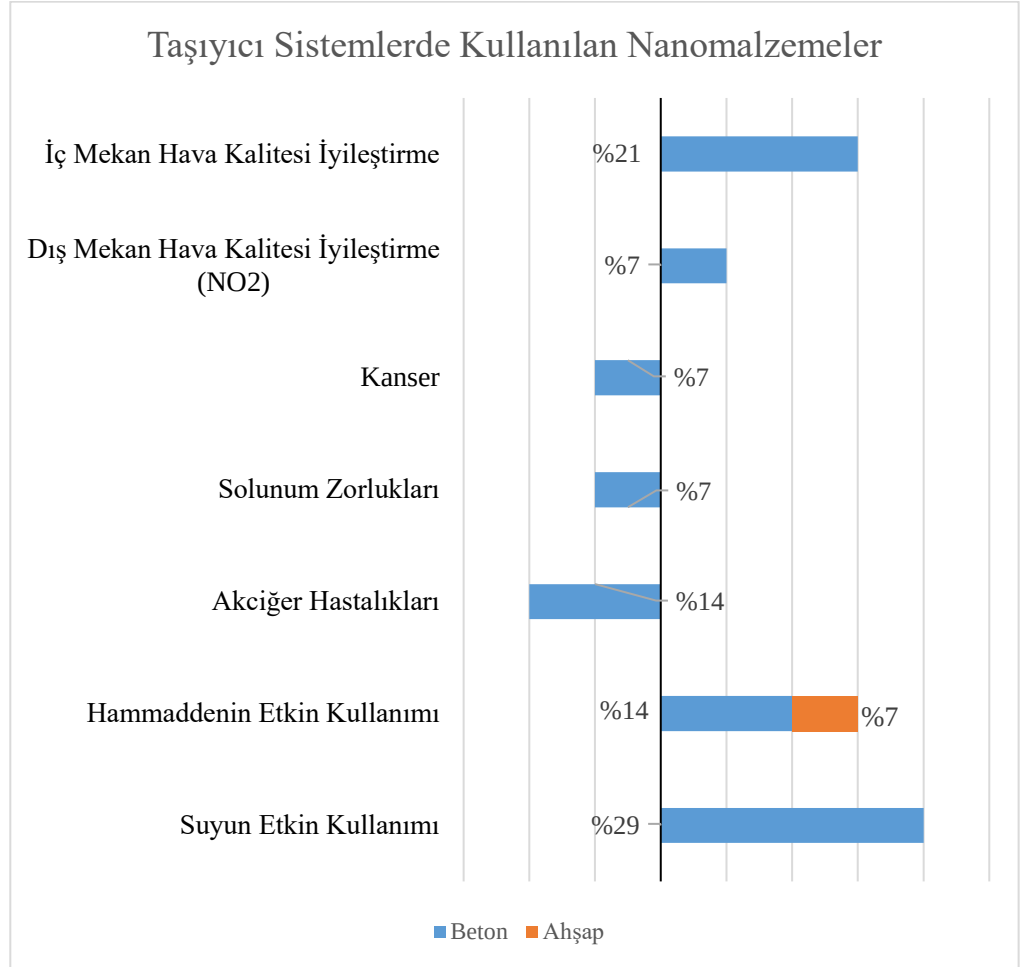
İncelen 58 bilimsel çalışmanın 14’inde (%24) “nano yalıtım uygulamaları” sınıfında olan nano ısı yalıtım malzemelerinin çevresel özellikleri ele alınmıştır. 11’inde (%19) fotovoltaik panellerin çevresel etkileri; 4’ünde (%7) ise nano aydınlatma elemanlarının çevresel özellikleri ele alınmıştır. Nano ısı yalıtım malzemeleri, nano fotovoltaik paneller ve nano aydınlatma elemanları Şekil 4.17’de gösterilmiştir.



Şekil 4.17: Nano yalıtım, nano fotovoltaik panel ve nano aydınlatma malzemelerinin bilimsel çalışmalarda dağılım oranları.

Şekil 4.17 taşıyıcı sistemlerde kullanılan nanomalzemeler sınıfındaki nano-beton ve nano-aşap yapı malzemelerinin kullanımına yer veren 14 bilimsel çalışmada vurgulanan sürdürülebilirlik açısından olumlu ve olumsuz etkilerini ve bunların kaynaklarda belirtilme oranlarını göstermektedir. Nano-çelik malzemelerin çevresel

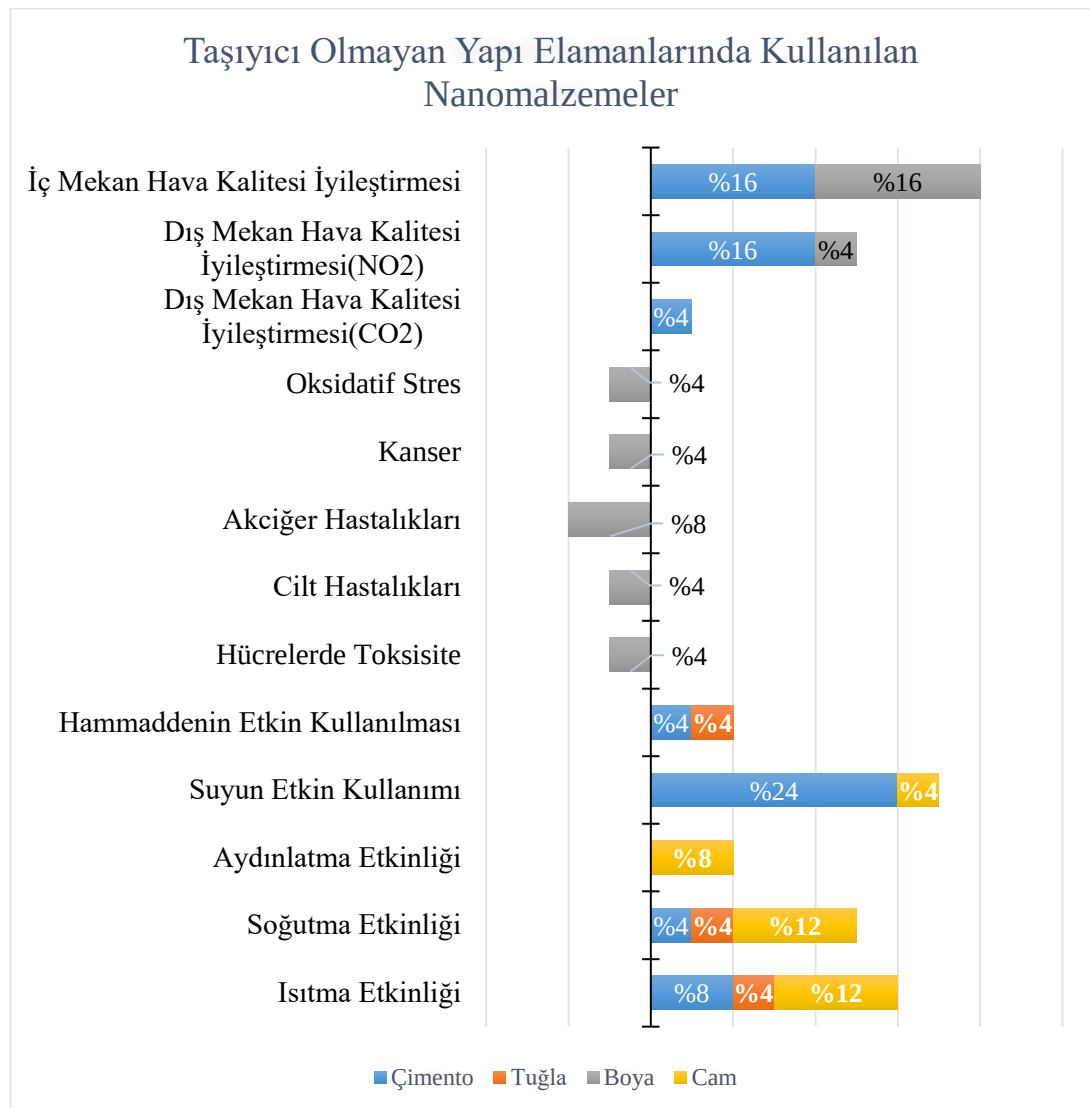
etkileri ile ilgili yayına rastlanmamıştır. Nano-beton yapı malzemesinin sırasıyla su ve hammaddenin etkin kullanılmasında, dış ve iç mekan hava kalitesi iyileştirmede olumlu özelliklerinin olmasının yanı sıra akciğer hastalıkları, solunum zorlukları, kanser gibi hastalıklarda etkisi olduğu vurgulanmıştır [Sev ve Ezel, 2014]. Ahşap yapı malzemesinin ise hammaddenin etkin kullanımında faydalar sağladığı belirtilmiştir [Akgül, 2013].



Şekil 4.18: Taşıyıcı Sistemlerde Kullanılan Nanomalzemelerin Sürdürülebilirlik Kapsamında Etkileri ve Bu Etkilerin Kaynaklarda Belirtilme Oranları

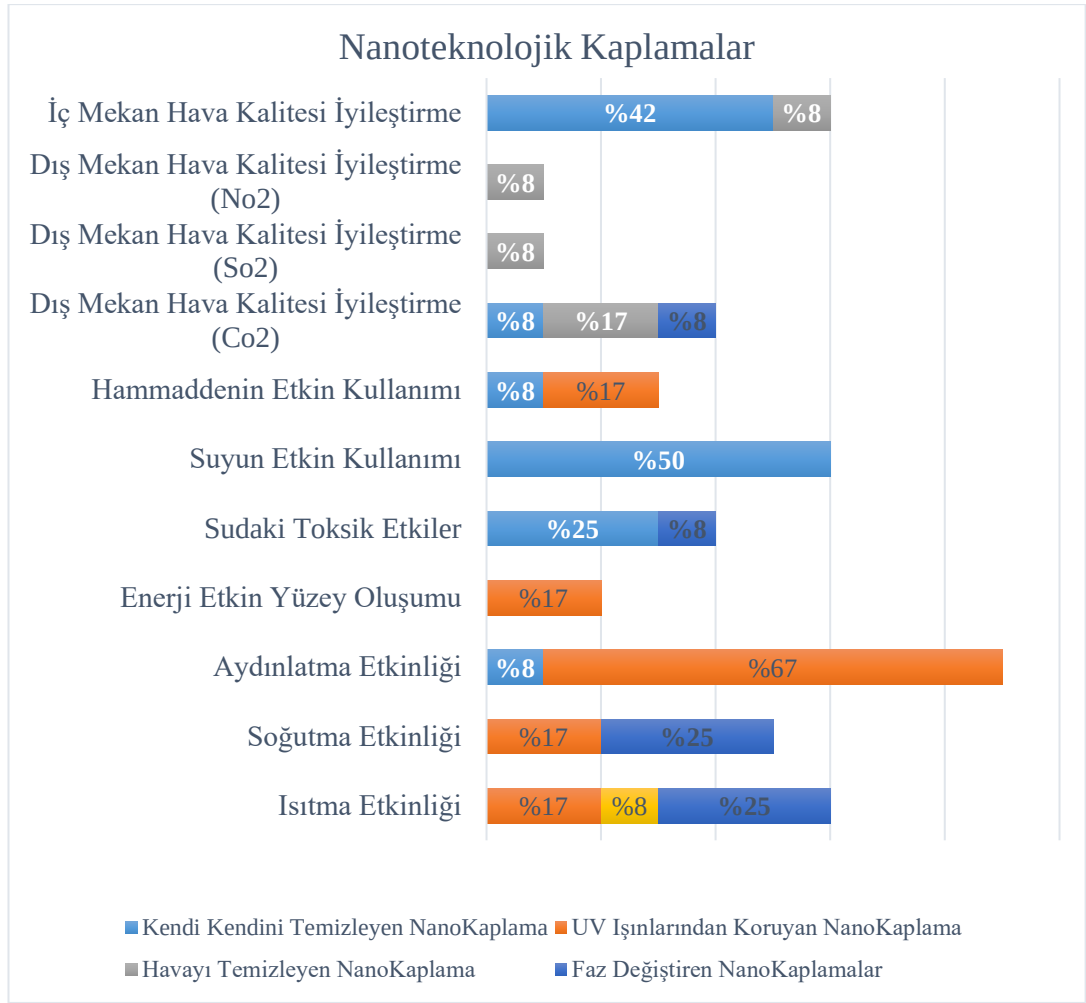
Şekil 4.19 nanoteknolojinin “taşıyıcı olmayan yapı elamanlarında kullanılan nanomalzemeler” sınıfındaki nano çimento, nano tuğla, nano boya ve nano cam yapı malzemelerinde kullanımına yönelik 25 adet bilimsel çalışmada vurgulanan sürdürülebilirlik açısından olumlu ve olumsuz etkilerini ve bunların kaynaklarda belirtilme oranlarını göstermektedir. Grafiğe göre, nano-çimento yapı malzemesinin

sırasıyla ısıtma yükünün azaltılmasında, suyun etkin kullanımında, dış mekan hava kalitesinin iyileştirmesinde katkılarının olduğu vurgulanmıştır. Nano-tuğlaların da ısıtma ve soğutma yükünün azaltılmasında ve hammaddenin etkin kullanımında faydalar sağladığı görülmektedir. Bir diğer malzeme olan nano-boyaların dış mekân hava kalitesinin iyileştirmesi ve iç mekân hava kalitesi iyileştirmesinde olumlu özelliklere sahip olduğu ancak cilt hastalıkları, oksidatif stres, kanser gibi hastalıklarda etkisi olduğu görülmektedir. Nano-cam malzemenin ise ısıtma, soğutma ve aydınlatma yükünün azaltılmasında ve suyun etkin kullanımında olumlu özelliklere sahip olduğu vurgulanmaktadır (Şekil 4.19).



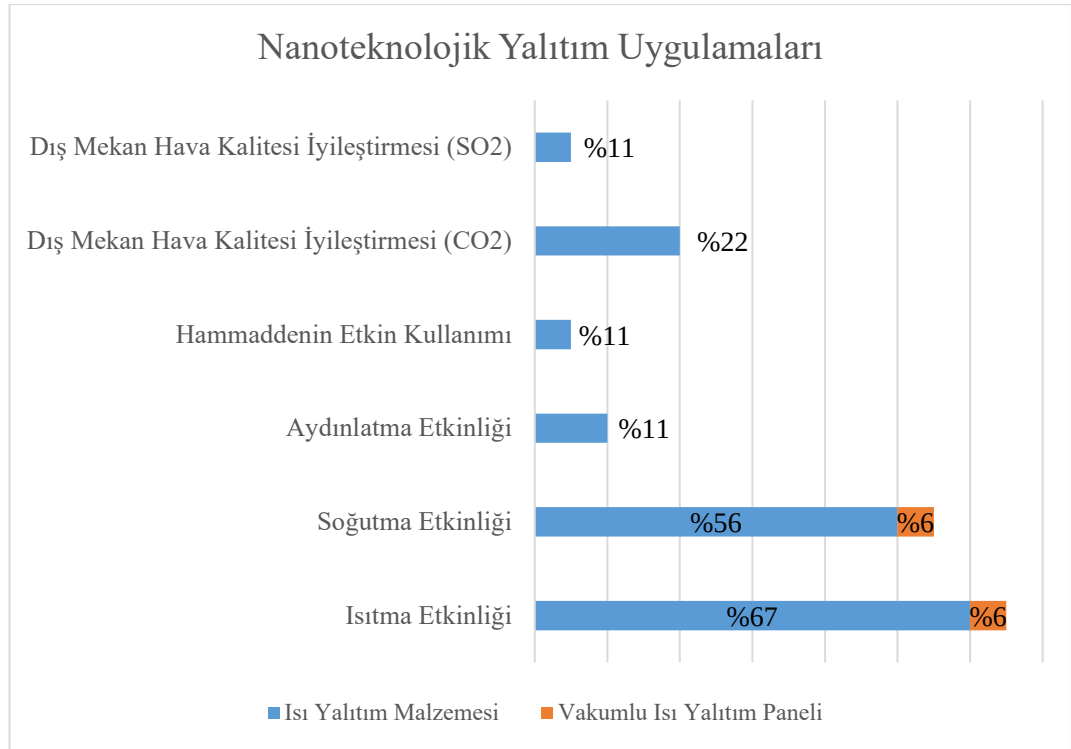
Şekil 4.19: Taşıyıcı olmayan yapı elamanlarında kullanılan nanomalzemelerin sürdürülebilirlik kapsamında etkileri ve bu etkilerin kaynaklarda belirtilme oranları.

Şekil 4.20 “nanoteknolojik kaplamalar” sınıfında kendi kendini temizleyen nanokaplamalar, havayı temizleyen nanokaplamalar, UV ışınlarından koruyan nanokaplamalar, faz değıştiren nanokaplamaların kullanılmasına yönelik 12 adet bilimsel çalışmada vurgulanan malzemelerin sürdürülebilirlik açısından olumlu ve olumsuz etkilerini ve bunların bilimsel çalışmalarda belirtilme oranlarını göstermektedir. Kendi kendini temizleyen nanokaplamaların sırasıyla; aydınlatmada, suyun ve hammaddenin etkin kullanımında, sudaki toksik etkiler konusunda, dış ve iç mekan hava kalitesinin iyileştirilmesinde olumlu özelliklere sahip olduğu belirtilmiştir [Leydecker, 2008], [Atwa vd., 2019], [Orhon, 2013], [An-Bo, 2015], [Vigneshkumar, 2014], [Vuceljic, 2009], [Zimmer, 2013] [Çöl F., 2020]. UV ışınlarından koruyan nanokaplamalar ise, ısıtma, soğutma ve aydınlatma etkinliğinde, enerji etkin yüzey oluşturma ve hammaddenin etkin kullanımında faydalar sağlamaktadır [Eisazadeh and Allacker, 2016], [Haghighat A., 2015] [Leydecker, 2008] [Eisazadeh and Allacker, 2016)] [Ibusuki ve Takeuchi, 1994]. Havayı temizleyen nanokaplamaların; dış mekan ve iç mekan hava kalitesinde olumlu özelliklere sahip olduğu görölmektedir [Salla, 2014], [Winter C., 2014], [Ballari ve Brouwers, 2013]. Faz değıştiren nanokaplamaların ise ısıtma ve soğutma etkinliği, sudaki toksik etkiler, dış ve iç mekan hava kalitesinde faydalar sağladığı vurgulanmıştır [Eisazadeh and Allacker, 2016], [Leydecker, 2008].



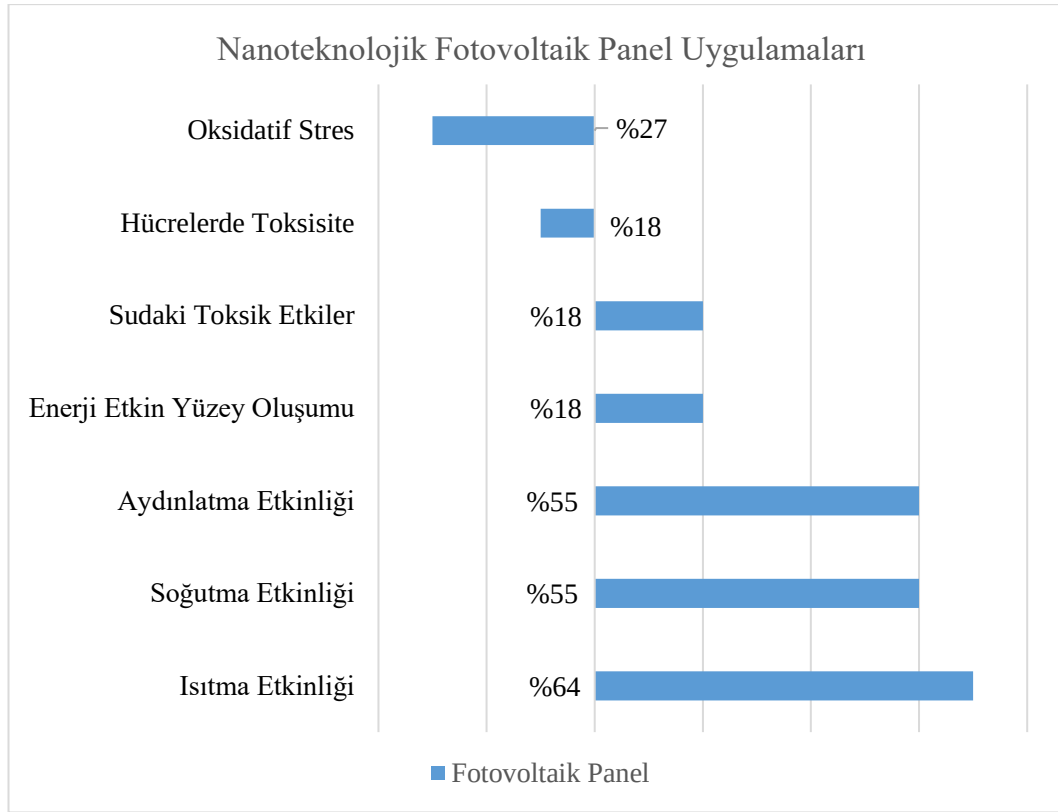
Şekil 4.20: Nanoteknolojik kaplamaların sürdürülebilirlik kapsamında etkileri ve bu etkilerin kaynaklarda belirtilme oranları.

Şekil 4.21’da “nanoteknolojik yalıtım uygulamaları” sınıfında, ısı yalıtım malzemesi ve vakumlu ısı yalıtım panelinin kullanılmasına yönelik 18 adet bilimsel çalışmada vurgulanan sürdürülebilirlik açısından olumlu ve olumsuz etkilerini ve bunların kaynaklarda belirtilme oranlarını göstermektedir. Isı yalıtım malzemelerinin sırasıyla ısıtma, soğutma ve aydınlatma etkinliğinde, hammaddenin etkin kullanılmasında ve dış mekân hava kalitesinin iyileştirmesinde olumlu özelliklere sahip olduğu vurgulanmıştır. Vakumlu ısı yalıtım panelinin ise ısıtma ve soğutma etkinliğinde faydalar sağladığı belirtilmiştir [Cengiz G., 2016], [Baetens vd., 2010], [Mukhopadhyaya, 2006], [Orhon, 2014], [De Matteis vd., 2016].



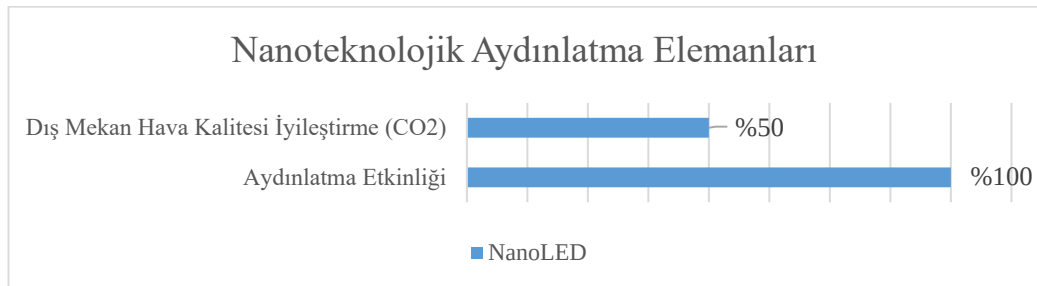
Şekil 4.21: Nanoteknolojik yalıtım uygulamalarının sürdürülebilirlik kapsamında etkileri ve bu etkilerin kaynaklarda belirtilme oranları.

Şekil 4.22 “nanoteknolojik fotovoltaik panel uygulamaları” sınıfında, fotovoltaik panel kullanımına yönelik 11 adet bilimsel çalışmada vurgulanan sürdürülebilirlik açısından malzemenin olumlu ve olumsuz etkilerini ve bunların ele alınan çalışmalarda belirtilme oranlarını göstermektedir. Fotovoltaik paneller sırasıyla; ısıtma, soğutma ve aydınlatma etkinliği, enerji etkin yüzey oluşumu, sudaki toksik etkiler gibi olumlu özelliklere sahip olmasının yanı sıra, hücrelerde toksisite ve oksidatif stres gibi olumsuz etkileri olduğu belirtilmiştir [Liu S., 2020], [Mohamed, 2015], [Eli D. vd., 2016], [Buğdaycı, 2008], [Silverman, 2014], [Chen X. vd., 2012], [Lee vd., 2010], [Ayçam ve Kanan, 2009].



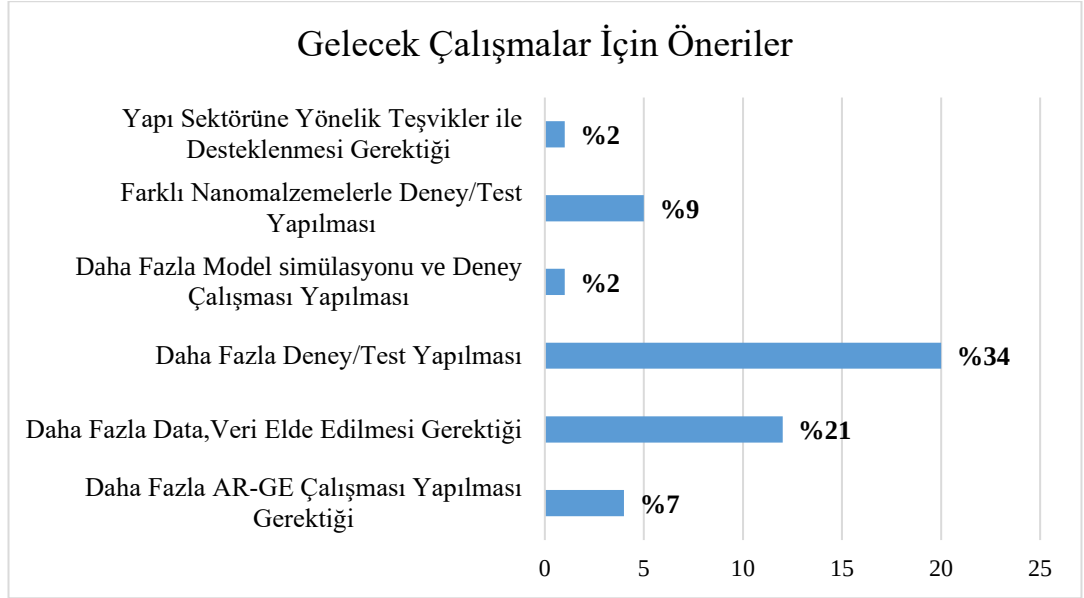
Şekil 4.22: Nanoteknolojik fotovoltaik panel uygulamalarının sürdürülebilirlik ölçütleri kapsamında dağılımı.

Şekil 4.23 “nanoteknolojik aydınlatma elemanları”nı ele alan 4 adet bilimsel çalışmada vurgulanan sürdürülebilirlik açısından malzemenin olumlu ve olumsuz etkilerini ve bunların kaynaklarda belirtilme oranlarını göstermektedir. NanoLED’lerin aydınlatma etkinliği ve dış mekan hava kalitesi iyileştirmede olumlu özelliklere sahip olduğu belirtilmiştir [Candemir ve diğerleri, 2012], [Kulkarni A. vd, 2004], [Kumar S., vd., 2019], [Elvin, 2007].



Şekil 4.23: NanoLed uygulamalarının sürdürülebilirlik kapsamında etkileri ve bu etkilerin kaynaklarda belirtilme oranları.

Şekil 4.24'e göre gelecekte yapılacak çalışmalar için “daha fazla deney/test yapılması” en fazla önerilen husustur. Daha sonra nanoteknolojik yapı malzemelerinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesinde “daha fazla data/ veri elde edilmesi”, “farklı nanomalzemelerle deney/test yapılması” gerekliliği vurgulanmıştır.



Şekil 4.24: İncelenen Yayınlardaki Gelecek Çalışma Önerileri ve Belirtilme Sıklığı.

Çalışmalarda belirtilen gelecek önerileri göz önünde bulundurulduğunda nanomalzemelerin çevresel etkileri alanında yapılan çalışmaların geliştirilmesi ve bu alanda daha fazla çalışmanın yapılması gerekmektedir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünya üzerinde hızlı nüfus artışı ve endüstriyel gelişmeler, doğal kaynak tüketimi ve çevre kirliliğinin artmasına neden olmakta; bu durum ekosisteme oldukça zarar vermektedir. Yaşanan bu ekolojik kriz, mevcut toplumsal parametrelere alternatif yeni ekolojik söylemlerin dile getirilmesine ve buna paralel olarak yeni teknolojilerin geliştirilmesine yol açmaktadır. Yapılan araştırmalar, doğal kaynakların büyük bir kısmının yapı sektöründe kullanıldığını göstermektedir. Bu sebeple yapı sektöründe de sürdürülebilir teknolojiler ve malzemeler geliştirilmeye başlanmıştır. 21. yüzyılda yenilikler getiren bir bilim dalı olarak kabul edilen nanoteknolojinin yapı sektöründe kullanılması; yüksek performanslı, yüksek verimlilik ve dayanıklılık gösterebilen nanoteknolojik malzemeler elde edilmesini sağlamaktadır.

Nanoteknoloji, maddeleri atom ve molekül seviyesinde inceleyerek gelişmiş fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklere sahip malzemeler elde edilmesini sağlamaktadır. Geliştirilen bu nanomalzemelerin olumlu özelliklerinin yanı sıra çevre ve insan sağlığı üzerinde oluşturabileceği riskler söz konusu olmaktadır. Bu bağlamda tez çalışmasında yapılarda kullanılan nanoteknolojik malzemelerin olumlu ve olumsuz çevresel özelliklerinin araştırılması ve değerlendirmesi üzerine odaklanılmıştır. Çalışmada nanoteknolojik yapı malzemelerinin çevresel etkilerinin farklı çalışmalarla birlikte ortaya konulmasının sağlanması, yapı sektöründeki paydaşların malzeme seçimleri kararlarına katkı sağlanması ve nanoteknolojik malzemeler konusunda çevresel farkındalığın oluşması hedeflenmiştir. Çalışmada kullanılan literatür taraması ve meta analizi yöntemiyle öncelikle yayınlara ilişkin genel bilgiler, daha sonra yayınların içerikleriyle ilgili veriler analiz edilmiştir.

Nanoteknolojik yapı malzemelerine yönelik yayınlara ilişkin genel bilgiler değerlendirildiğinde;

- Çalışma kapsamında 28 makale, 26 tez ve 4 bildiriye ulaşılmıştır. En fazla yayın yapılan türün makale olduğu görülmektedir. Bu da nanoteknolojik yapı malzemelerinin çevresel etkilerini ele alan çalışmaların yayınlanmasında bilimsel dergilerin etkin olduğunu göstermektedir.

- Nanoteknolojik yapı malzemelerine yönelik çalışmaların en fazla olduğu yıl 2020 yılıdır. Bununla birlikte bu konuda yapılan çalışmalarda düzenli bir artış gözlenmese de genel olarak bir artış söz konusudur. Bu da çalışma alanının güncelliğini ve gelişmeye devam ettiğini göstermektedir.
- İncelenen uluslararası bilimsel çalışmaların oranı %55, ulusal bilimsel çalışmaların oranı %45'tir.
- İncelenen 58 bilimsel çalışmadan nanoteknolojik yapı malzemelerinin çevresel değerlendirmesini konu alan en fazla çalışma Asya ve Avrupa kıtalarında yayınlanmıştır.
- Nanoteknolojik yapı malzemelerinin çevresel değerlendirmesini konu alan en çok çalışma 'Building and Environment' ve 'Applied Energy' dergilerinde yayınlanmıştır.

Yayınların içerik analizi değerlendirildiğinde;

- Nanoteknolojik yapı malzemesinin çevresel değerlendirmesini konu alan 58 bilimsel çalışmanın; 26'sında (%44) enerji, 19'unda (%33) su, 13'ünde (%22) hammadde, 10'unda (%17) insan sağlığı, 10'unda (%17) dış mekan hava kalitesi, 12'sinde (%21) ise iç mekan hava kalitesi kategorilerine yer verilmiştir.
- Enerji kategorisi altında 58 bilimsel çalışmanın "ısıtma etkinliği" 25'inde (%43), "soğutma etkinliği" 24'ünde (%41), "aydınlatma etkinliği" 11'inde (%19), "yenilenebilir enerji" 1'inde (%2), "yenilenemeyen enerji kaynaklarının daha az kullanımı" 2'sinde (%3), "enerji etkin cephe oluşumu" 4'ünde (%7) olarak belirlenmiştir. Enerji etkinliği kategorisinde; ısıtma, soğutma ve aydınlatma etkinliği, yenilenebilir enerji oluşumu, yenilenemeyen enerji kaynaklarının daha az kullanımı ve enerji etkin yüzey oluşumu gibi konularda nanoteknolojik yapı malzemelerinin faydalar sağladığı belirtilmiştir. Enerji etkinliği konusunda belirlenen en fazla fayda aerogel kullanımıyla elde edilen nanoteknolojik yalıtım malzemeleri ve nanoteknolojik güneş panelleri sayesinde elde edilmektedir. Yapılan çalışmalara göre aerogellerin yüksek ısı yalıtım özellikleri sayesinde geleneksel ısı yalıtım

malzemelerine göre daha fazla ısıtma ve soğutma etkinliği sağlayarak maliyeti önemli oranda düşürdükleri belirlenmiştir. Nanoteknolojik güneş panelleri uygulamalarında ise güneş pillerinin verimini artıracak özellikte olmaları sağlanmakta ve bu sayede daha uzun ömürlü daha verimli ve daha çevreci güneş panelleri geliştirilmektedir.

- İncelenen 58 adet bilimsel çalışmada “suyun etkin kullanımı” çalışmaların 16’sında (%28), “sudaki toksik etkiler” çalışmaların 5’inde (%9) yer almıştır. Su etkinliği kategorisinde, nanosilika kullanımıyla elde edilen nanobeton ve nanoçimentolarda kullanılan su miktarının geleneksel beton ve çimentolarda tüketilen su miktarına göre daha az olması suyun daha etkin kullanıldığını göstermektedir. Su etkinliği konusunda öne çıkan bir diğer fayda ise sudaki toksik etkilerin azaltılmasıdır. Yapılan araştırmalar titanyum dioksit kullanılarak elde edilen kendi kendini temizleyebilen nanokaplamaların, temizlik ihtiyacını azalttığı, bu sayede kimyasal kullanımını, dolayısıyla sudaki toksik etkileri azalttığını göstermektedir. Temizlik ihtiyacının azalması, su tüketimini de azaltmakta; bu sayede suyun etkin kullanımı sağlanmaktadır.
- Nanoteknolojik yapı malzemelerinin çevresel konularda odaklandığı bir diğer konu da hammadde etkinliğidir. Hammadde kategorisinde 58 çalışmada “hammaddenin etkin kullanımı” çalışmaların 11’inde (%19), “toprak iyileştirmesi” 1’inde(%2), “ekolojik dengenin bozulması” 1’inde (%2) yer almıştır. Yapı malzemelerinde nanoteknolojinin kullanılması, bu malzemelere gelişmiş özellikler kazandırmakta, malzemelerin daha dayanıklı ve uzun ömürlü olmaları sağlanmaktadır. Nanoteknolojik yüzey kaplamaları kullanıldığında çizilmeye, ısıya dayanıklı yapı malzemeleri elde edilmektedir. Yapılan araştırmalar hammadde etkinliği konusunda belirlenen en fazla faydanın, nanoteknolojik yüzey kaplamaları kullanılarak yüzeylerin dış etkenlerden etkilenmemesi ve uzun ömürlü koruma sağlanması olduğunu göstermektedir. Strüktürel yapı malzemesi olan betonlarda silisyum dioksit nanoparçacıklarının kullanılmasıyla bu malzemelerde dayanım artışı oluşmakta, geleneksel beton malzemelere oranla 2-3 kat daha uzun ömürlü strüktür sistemleri tasarlanabilmektedir. Bu sayede hammadde etkinliği sağlanmaktadır.

Yapılarda hammadde etkinliği kategorisinde sağlanan bir diğer fayda ise nanoteknolojinin ahşap malzemelerde kullanılmasıyla sağlanmaktadır. Geleneksel ahşap yapı malzemesinin en önemli dezavantajı olan çürüme sorunu, nano boyutlara sahip organik bileşenler kullanılarak oluşturulan kapsüllerin ahşap liflerinin arasına yerleştirilmesiyle mikroorganizmaları kontrol edici veya öldürücü özellik kazanan ahşap malzemeler üretilerek ortadan kaldırılmaktadır.

- İnsan sağlığı kategorisinde 58 bilimsel çalışmada, çalışmaların 3'ünde (% 5) "cilt hastalıkları", 3'ünde (%5) "solunum zorlukları", 6'sında (%10) "akciğer hastalıkları", 3'ünde (%5) "kalp hastalıkları", 2'sinde (%3) "mide-bağırsak hastalıkları", 3'ünde (%5) "beyin hasarı", 2'sinde (%3) "karaciğer hastalıkları", 2'sinde (%3) "kanser", 4'ünde (%7) "hücrelerde toksisite", 1'inde "sinir sistemi hastalıkları", 1'inde (%2) "alveollerde ve makrofajlarda bozulma", 1'inde (%2) "bağışıklık sisteminde hasar", 2'sinde (%3) "DNA hasarı", 1'inde "mitokondriyal zarar", 4'ünde (%7) "oksidatif stres" ölçütleri yer almıştır. Yapılan araştırmalar nanoparçacıklar kullanılarak elde edilen nanomalzemelerin sahip oldukları umut verici özelliklerin aynı zamanda canlılar üzerinde muhtemel zararlı etkilere de sahip olduklarını göstermektedir. Malzemeler nanoölçeğe indirgendiklerinde optik, manyetik ve elektriksel özellikleri değişmekte, özellikleri değişen bu malzemelere maruz kalındığında ise insan sağlığının etkilendiği araştırmalarla ortaya çıkmıştır. Nanomalzemelerin küçük boyutlarda olması nedeniyle; cilt, akciğer ve bağırsaklardan geçebildiği, insan vücudunda yol alarak beyne kadar ulaşabildiği tespit edilmiştir. Boyalarda kullanılan nanoparçacıkların solunum ve akciğer rahatsızlıklarına yol açtığı yapılan çalışmalarda görülmektedir. Yapı malzemelerinde sık kullanılan nanoparçacıklardan biri olan titanyum dioksitin 2-5 nm aralığındaki boyutlarda solunmasının akciğer iltihabına yol açtığı yapılan çalışmalarda kanıtlanmıştır. Ayrıca nanopartikül maruziyetinin kanser gelişimine sebep olan DNA hasarı oluşturabileceği ifade edilmektedir. Bunlara ek olarak nanotoksitenin risk oluşturması; nanopartiküllerin tipleri, boyutları, özellikleri ve konsantrasyonuna bağlı olduğu da yapılan araştırmalarda belirtilmektedir. Tez kapsamında yapılarda kullanılan

nanomalzemelerin insan sağığına etkileri konusunda yapılan çalışmaların yetersiz olduğu tespit edilmiş olup, bu konuda daha fazla bilimsel araştırma yapılması önem arz etmektedir.

- Nanomalzemelerin i ve dış mekân hava kalitesine ise olumlu ve olumsuz etkilerinin olduğu belirlenmiştir. Dış mekan hava kalitesi kategorisinde, 58 bilimsel çalışmada, çalışmaların 8’inde (%14) “dış mekan hava kalitesi iyileştirmesi (CO₂)” lt, 2’sinde (%3) “dış mekan hava kalitesi iyileştirmesi (SO₂)” lt, 4’ünde (%7) “dış mekan hava kalitesi iyileştirmesi (NO₂)” lt tespit edilmiştir. şekil 4.11’de, dış mekân hava kalitesi kategorisindeki ltlerin sıklık analiz değerleri gösterilmektedir. İç mekan hava kalitesi kategorisinde ise 58 bilimsel çalışmada, çalışmaların 12’sinde (%21) “iç mekan hava kalitesinin iyileştirilmesi” ölçütü yer almıştır. Yapılarda kullanılan nanoteknolojik kaplama malzemelerinin havadaki karbondioksiti absorbe ettiği ve bu sayede iç mekânda hava kalitesini artırdığı belirtilirken, ultra ince boyutlarda olan bu parçacıkların solunmasının akciğer iltihabı gibi hastalıklara neden olduğu ve kanser yapıcı etkisinin bulunması da yapılan çalışmalarla belirlenmiştir.
- İncelenen 58 çalışmadaki gelecek çalışma nerileri yapı malzemelerinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesinde daha fazla deney/test çalışması yapılması, daha fazla data/veri elde edilmesi gerektiğini ortaya çıkarmıştır.
- Tanınır mimarlık ofisleri tarafından ele alınan yapılarda ise nanoteknolojik malzemelerin yapıda nanobeton, nanoimento; cephelerde ise nanoboyalar ve kolay temizlenebilen nanokaplamalar şeklinde uygulandığı grlmektedir. Bu malzemelerin kendi kendini temizleme özelliklerinden faydalandığı belirtilmektedir. Cephelerde ve çatılarda kullanılan nanoteknolojik yalıtım malzemeleri sayesinde ise nanoteknolojik malzemelerin ısı yalıtım özelliği ile faydalar sağladığı vurgulanmaktadır.

Tez kapsamında belirlenen sonuçlar, nanoteknolojinin kullanıldığı yapı malzemelerinin çevresel etkilerine yönelik araştırmaların geliştirilmesinin önem arz ettiğini göstermektedir. Yapılarda kullanılan nanomalzemelerin çevresel açıdan

olumlu özelliklerinin yanısıra olumsuz özelliklerinin de olduğu belirlenmiştir. İncelenen 58 çalışmada taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan yapı elamanlarında kullanılan nanomalzemelerin olumsuz etkilerinin olduğu görülmüştür. Bu malzemelerin insan sağlığına etkileri ve bu kategorilerdeki ölçütlerle ilgili daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Abramson J. H., (1994), “Making Sense of Data. 2nd Edition”, Oxford University Press, New York, ISBN: 978-1-118-40741-7.

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

Açık Z., ve Güven S., (2012), “Nanoteknoloji, Çevre ve Aile”, (Ed.), Müberra Babaoğlu, Arzu Şener, Esna Betül Buğday, Tüketici Yazıları III, TÜPADEM, 142-171.

Akgöz S., Ercan İ., Kan İ., (2004), “Meta-Analizi”, Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi, 107-112.

Akgül T., (2013), “CCB Nano Partiküllerle Güçlendirilmiş Ahşap Yapı Elemanlarının Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Akın M., Akın G., (2007), “Suyun Önemi, Türkiye’de Su Potansiyeli, Su Havzaları ve Su Kirliliği” , Ankara Üniversitesi Dil veTarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi, 47, (2).

Akıncı Ö., (2014), “Seramik Killeri ve Jeolojisi”, http://www.mta.gov.tr/v2.0/dairebaskanliklari/bdt/kutuphane/mtadergi/71_4.pdf, (Erişim Tarihi: 31/05/2021)

Akman A. (2005), “İnsan Sağlığı, Sağlıklı Yapı ve Yapı Biyolojisi”, Yapı Dergisi. 279, 80-99.

Akman, G. (2013), “Sağlık Çalışanlarının Örgütsel Ve Genel Sinizm Düzeylerinin Karşılaştırılması”, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Hastane Ve Sağlık Kuruluşlarında Yönetim Bilim Dalı, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul 2013.

Al-Graiti A., Gutierrez R. U., (2017), “Investigations on the Application of Nanomaterials to Improve the Environmental Performance of Buildings”, PLEA 2018 HONG KONG Smart and Healthy within the 2-degree Limit.

Aljenbaz A. Z., Çağnan Ç., (2020), “Evaluation of Nanomaterials for Building Production within the Context of Sustainability”, European Journal of Sustainable Development (2020), 9, 1, 53-65 ISSN: 2239-5938 Doi: 10.14207/ejsd.2020.v9n1p53

Arif İ. A., (2012), “Toxic Effects of Nanomaterials”, ISBN: 978-1-60805-421-3, DOI: 10.2174/97816080528371120101

Arslan Selçuk S., Ayçam İ., (2018), “Nanotechnology in Built Environment: Pros and Cons of Nanomaterial Usage in Architecture”, Chapter · March 2018 DOI: 10.1007/978-3-319-63709-9_21.

Ashby, M.F., Ferreira, P.J. ve Schodek, D.L., (2009), “Nanomaterials, Nanotechnologies and Design: An Introduction for Engineers and Architects”, 540 syf., Elsevier Ltd., Çin.

Atik, İ, Bilgin, M.B. (2018), “Mimarlıkta Nanoteknolojinin Yeri, Kent Akademisi”, Volume, 11 (33), Issue 2. Page, 232-242.

Ayçam İ., Kanan N., (2009), “Ekolojik Mimarlık Kapsamında Bina Bütünleşik Nano-PV Malzemenin İncelenmesi” - V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu.

Aydın E., (2019), “Bir Yalın İnşaat Yöntemi Olarak Son Planlayıcı Sistem Yaklaşımlarına Yönelik Meta Analizi”, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Aydın R., Atakav Y., Ceylan S., (2016), “Temiz Suya Ulaşmada Bina İçi Su Yapıları Üzerine Halktaki Farkındalık ve Bilincin Ölçülmesi”, Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 31, (2), 251 – 258.

Baetens R., Jelle B. P., Thue J. V., Tenpierik M. J., Grynning S., Uvsløkk S., Gustavsen A. (2010), “Vacuum Insulation Panels For Building Applications: A Review And Beyond”, Norveç, 147–172.

Balanlı, A. ve Öztürk A., (2006), “Yapı Biyolojisi-Yaklaşımlar”, YTÜ Yayını, Yayın No: YTÜ.MF.YK-06.0759 / Fakülte Yayın No: MF.MİM-06.002, İstanbul.

Balay M., (2016), “Nano Malzemelerin Çimento Bağlayıcılı Kompozitlerin Mekanik Özellikleri Üzerine Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.

Ballari M., Brouwers H.J.H., (2013), “Full Scale Demonstration of Air-Purifying Pavement”, Journal of Hazardous Materials 254– 255 (2013) 406– 414.

Bauer, C., J. Buchgeister, R. Hischer, W.R. Poganietz, L. Schebek, and J. Warsen. (2008), “Towards A Framework For Life Cycle Thinking in The Assessment of Nanotechnology”, Journal of Cleaner Production 16(8): 910–926.

Baykara, T., Günay V. Ve Musluoğlu E., (2010), “Nanoteknoloji ve Nano-malzeme Süreçleri”, Alp yayıncılık.

Bazu T., (2013), “Sol-Gel Yöntemi İle Kaplanarak Kendi Kendini Temizleyen Yüzeylerin Elde Edilmesi Ve Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Bekar H., (2020), “Atık nano karbon karası kullanılarak üretilen betonlarda yüksek sıcaklık etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Malzemeleri Bilim Dalı, Erzurum.

Betts M., Lansley P., (1993), “Construction Management and Economics a Review of the First Ten Years”, Construction Management and Economics, 221-245.

Bilgin S., (2014), “Yapılarda Kullanılan Nanoürünlerin Yapı Biyolojisi Açısından İrdelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Programı, İstanbul.

Bilim E., (2019), “Karma Lif Kullanılan Yüksek Performanslı Nano Beton Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Düzce.

Bland, M. (2006). “Meta-Analysis: Methods For Quantitative Data Synthesis”, University of York, York.

Boul P., Ajayan P., (2020), “Nanotechnology Research and Development in Upstream Oil and Gas”, Energy Technology, DOI: 10.1002/ente.201901216

Bozkaya, Y., (2013), “Anadolu Üniversitesi İleri Teknolojiler Araştırma Birimi Nanoteknoloji Bilim Dalı”, <http://www.itab.anadolu.edu.tr/itab/pdf/nylp.pdf> (Erişim Tarihi: 29/05/2021).

Bozkurt A., (2019), “Yüksek Performanslı Çimento Harç Özelliklerine Nano - Silis Ve Farklı Puzolan Malzeme Katkısının Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Afyon.

Bribian, I. Z., Capilla, A. V., Uson, A. A., (2011), “Life Cycle Assessment of Building Materials: Comparative Analysis of Energy and Environmental Impacts And Evaluation of the Eco-Efficiency Improvement Potential”, ISSN: 0360-1323, Building and Environment, 46, 1133-1140.

Cambridge Dictionary, (2008), “Cambridge Advanced Learner's Dictionary and Thesaurus”, Cambridge University Press, Cambridge.

Candemir, B., vd, (2012), “Sürdürülebilirlik, Yeşil Binalar ve Nanoteknoloji Stratejiler”, İmsad ve Tüsiad, T2012 /10-533. 21-30, 90-98.

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

Cengiz, G. (2017), “Nanoteknolojik Malzemelerin Binalarda Sürdürülebilirliğe Katkısının İncelenmesi”, 13. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir.

Chen X., Liu L., Donga Y., Wang L., Chenc L., Jianga W., (2012), “Preparation Of Nano-Sized Bi₂Te₃ Thermoelectric Material Powders By Cryogenic Grinding”, Progress in Natural Science: Materials International Volume 22, Issue 3, June 2012, Pages 201-206.

Chen, A., (2014), “Berkeley Lab Develops Antifogging Coating With Nanostructured Materials”, <http://eetd.lbl.gov/newsletter/nl35/eetd-nl35-5-antifogging.html> (Erişim Tarihi: 28/05/2021).

Copiello, S. (2016), “Leveraging Energy Efficiency to Finance Public-Private Social Housing Projects”. *Energy Policy* 96: 217-230. doi:10.1016/j.enpol. 2016.06.003.

Çiftçi M., (2020), “Nano Boyutlu Taneciklerin Kullanımıyla Yüksek Hacimde Yüksek Fırın Cürufu İçeren Katkılı Çimento Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Batman.

Çöl F., (2020), “Isı Yalıtımı Açısından Konvansiyonel Malzemelerle Nanoteknolojik Malzemelerin Karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi, Mimarlık Anabilim Dalı, Mimarlık Programı, İstanbul.

De Matteis V., , Cannavale A., Coppola A., Fioritod F., (2016), “Nanomaterials and smart nanodevices for modular dry constructions: The project ‘Easy House’”, *Procedia Engineering* 180, 704-714, International High- Performance Built Environment Conference – A Sustainable Built Environment Conference 2016 Series (SBE16), iHBE 2016.

Díaz-Soler B. M., Martínez-Aires M. D., Lopez-Alonso M., (2019), “Potential Risks Posed By The Use Of Nano-Enabled Construction Products: A Perspective From Coordinators For Safety And Health Matters”, *Journal of Cleaner Production* 220 (2019) 33-44.

Egger M., Smith G., Phillips A., (1997), “Meta-Analysis: Principles And Procedures”. *BMJ: British Medical Journal*, 1533-1537.

Eisazadeh N., Allacker K., (2016), “Nanotechnology And Its Impact On Sustainable Architecture”, Sustainable Built Environment (SBE) Regional Conference Expanding Boundaries: Systems Thinking for the Built Environment, June 15-17 2016, Zurich.

Elborombaly H., (2016), “Green Nano Architectural Materials use in Conservation the Heritage Buildings As a Raw Material and Energy Saver for Sustainability”, The IMA International Operation and Maintenance Forum.

Elegbede J. A., Lateef A., (2020), “Nanotechnology in The Built Environment for Sustainable Development”, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 805 (2020) 012044 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/805/1/012044

Eli D., Onimisi MY., Abdu SG., Gyuk PM., Jonathan E., (2016), “Enhanced Performance of a Dye Sensitized Solar Cell Using Silver Nanoparticles Modified Photoanode.” *J. Sci. Res. Reports* 10, 1-8.

El-Samny, M.F. (2008), “Nanoarchitecture, Nanotechnology and Architecture”, Yüksek Lisans Tezi, University of Alexandria Faculty of Engineering Department of Architecture.

Elvin, G., (2007), “Nanotechnology for Green Building”. <https://briefs.techconnect.org/wp-content/volumes/Nanotech2007v4/pdf/3026.pdf> (Erişim Tarihi: 28/05/2021).

Elvin, G., (2013), “Nanotechnology for Green Building”. http://esonn.fr/esonn2010/xlectures/maangematin/Nano_Green_Building55ex_.pdf (Erişim Tarihi: 30/05/2021).

Erdemli M. İ., (2018), “Elektrokromik Kaplamalı Camın Farklı İklim Bölgelerine Göre Enerji Performansı Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Enerji enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Erkoç, Ş., (2012), “Nanobilim ve Nanoteknoloji”, ODTÜ Yayıncılık, Ankara.

Erten, D., (2011), “Yeşil Binalar, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Bölgesel Çevre Merkezi”, Ankara, Türkiye.

Esin T., (2006), “Sürdürülebilir Yapılaşma İçin Uygun Malzeme Seçimi”, ISSN 1300-3437, Yapı Dergisi, 291, 83 – 86, İstanbul, Türkiye, (2006).

Euванanont C., Junin C., Inpor K., Limthongkul P., Thanachayanont C. (2008) TiO₂ optical Coating Layers For Self-Cleaning Applications, *Ceramics International*, 34(4), 1067-1071.

Eysenck H. (1995), “Meta-Analysis or Best-Evidence Synthesis?” *Journal of Evaluation in Clinical Practice*, 29-36.

F, Coşkunes (2014), “Nanomalzemeler ve Tehlikeleri, Understanding the hazards of nanomaterials” - Nanotechnology – HSE, Çeviri: Merve İSTİF - İSG Uzm., İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü Müdürlüğü.

F. Pacheco-Torgal, (2016), “High Tech Startup Creation For Energy Efficient Built Environment”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 618-629.

Faisal N., (2019), “Çimentolu Kompozitlerde Mikro Ve Nano Mineral Katkıların Performasyonlarının Karşılaştırılması”, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.

Farahmandjou, M., Khalili, P., (2013), “Study of Nano SiO₂/TiO₂ Superhydrophobic SelfCleaning Surface Produced by Sol-Gel, *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*”, 7, 6(2013) 462-465.

Ferrer R., (1998), “Graphical Methods for Detecting Bias in Meta-Analysis”, *Family Medicine*, 579-583.

Forbes, P. (2008), “Self-Cleaning Materials: Lotus Leaf-Inspired Nanotechnology”, *Scientific American Magazine*.

Fouad, F., (2012) “Nanoarchitecture and Sustainability”, Yüksek Lisans Tezi, Alexandria Üniversitesi, Mısır.

Franke, G. (2001), "Applications of Meta-Analysis for Marketing and Public Policy: A Review". *Journal of Public Policy & Marketing*, 186-200.

Franzoni E., Fregni A., Gabrielli R., Graziani G., Sassoni E., (2014), "Compatibility of photocatalytic TiO₂-based finishing for renders in architectural restoration: A preliminary study", *Building and Environment* 80, 125-135.

Fredrickson J., Zachara J., Balkwill D., (2004). "Geomicrobiology of high-level nuclear waste-contaminated vadose sediments at the Hanford site", Washington state. *Applied and Environmental Microbiology* 70 (7): 4230-41, <http://aem.asm.org/content/70/7/4230.full?view=long&pmid=15240306>, (Erişim Tarihi: 28/05/2021)

Fürstner, R., Barthlott, W., Neinhuis, C., Walzel, P. (2005), "Wetting and Self-Cleaning Properties of Artificial Superhydrophobic Surfaces", *Langmuir*, 21, 956-961.
Geçer E., Şentürk İ., Büyükgüngör H. (2018), "Yeşil Bina Tasarımında Su ve Enerji Yönetimi Üzerine Uygulama Örneği", *GÜFBED/GUSTIJ* (2019) 9 (2): 332-343 DOI: 10.17714/gumusfenbil.413915.

Glass, G. (1976), "Primary, Secondary and Meta-Analysis of Research", *American Educational Research Association*, 3-8.

Grant M., Booth A., (2009), "A Typology of Reviews: An Analysis of 14 Review Types and Associated Methodologies", *Health Information and Libraries Journal*, 91-108.

Graziani L., Quagliarinia E., Osimani A., Aquilanti L., Clementi F., Yéprémian C., Lariccia V., Amoroso S., D'Orazioa M., (2014), "Evaluation of İnhibitory Effect of Tio₂ Nanocoatings Against Microalgal Growth On Clay Brick Façades Under Weak UV Exposure Conditions", *Building Environment*, 64, 38-45.

Graziani L., Quagliarini E., Bondioli F., D'Orazio M., (2013), "Durability Of Self-Cleaning Tio₂ Coatings On Fired Clay Brick Façades: Effects Of UV Exposure and Wet & Dry Cycles", *Building and Environment*, 71, 193-203.

Guan K.H., (2005), "Relationship between photocatalytic activity, hydrophilicity and self-cleaning effect of TiO₂/SiO₂ films", *Surface & Coatings Technology*, 191(2-3), 155-160.

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

Haghighat A., (2015), "Nanomalzemelerin Mimarlık Ve İç Mimarlıktaki Uygulamalarının Sağlık Yapıları Çerçevesinde Hasta Odalarında Kullanımı", *Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İç Mimarlık Anabilim Dalı İç Mimarlık Uluslararası Yüksek Lisans Programı, İstanbul*.

Hansen, S. F., (2009), "Regulation and Risk Assessment of Nanomaterials –Too Little, Too Late?", *PhD Thesis, DTU Department of Environmental Engineering, Denmark*.

Haraman S., (2011), “Nanoteknolojinin Mimariye Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Anabilim Dalı Bilgisayar Ortamında Mimarlık Programı, İstanbul.

Hashimoto, K., Irie, H., Fujishima, A. (2005) “TiO₂ Photocatalysis: A Historical Overview and Future Prospects”, Japanese Journal of Applied Physics, 44 (12), 8269–8285.

Hattat, S., O., (2002), “Doğal Taş Malzeme Koruyucuların Performans Ölçümünde Deneysel Metot Araştırması”, Doktora Tezi, M.S.G.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Helland A. (2004), “Nanoparticles: A Closer Look at the Risks to Human Health and the Environment Perceptions and Precautionary Measures of Industry and Regulatory Bodies in Europe”, The International Institute for Industrial Environmental Economics.

Huang Y., Wang L, (2016), “Experimental Studies On Nanomaterials For Soil Improvement: A Review”, Environ Earth Sci (2016) 75:497, DOI 10.1007/s12665-015-5118-8.

Iavicoli I., Leso V., Ricciardi W., Hodson L., Hoover M., (2014), “Opportunities And Challenges of Nanotechnology in The Green Economy”, Iavicoli et al. Environmental Health 2014, 13:78.

Ibusuki T., Takeuchi K., (1994) “Removal of Low Concentration Nitrogen Oxides through Photoassisted Heterogeneous Catalysis”, Journal of Molecular Catalysis, 88, 93-102. [http://dx.doi.org/10.1016/0304-5102\(93\)E0247-E](http://dx.doi.org/10.1016/0304-5102(93)E0247-E)

İlhan, A. (2011), “Yeni Bir Su Politikasına Doğru Türkiye’de Su Yönetimi Alternatifler ve Öneriler”, Sosyal Değişim Derneği, İstanbul.

İlter A., Artan İlter D., Dikbaş A., (2008), “An Analysis of Drivers and Barriers of Construction Innovation”, 5th International Conference on Innovation in Architecture, Antalya: Engineering and Construction (AEC).

İpekçi H., (2013), “Antibakteriyel Ve Kir Leke Tutmayan Seramik Malzeme Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Bilimi Ve Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri.

Jimenez-Relinque E., Grande M., Duran T., Castillo A., Castellote M., (2019), “Environmental Impact of Nano-Functionalized Construction Materials: Leaching of Titanium And Nitrates From Photocatalytic Pavements Under Outdoor Conditions” Science of the Total Environment 744 (2020) 140817.

Kanan N. Ö. (2009), “The Use of Building-Integrated Active Systems in order to Provide Energy Gains in Historic Buildings”, Ecocity World Summit 2009 Congress, 306-318.

Karagöz A., (2018), “Nano Malzeme İçeren Çimentolu Kompozitlerin Termal Verimliliği” Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Nanobilim Ve Nanomühendislik Anabilim Dalı, İzmir.

Kavale, K. (2001), “Decision making in special education: The function of metaanalysis. Exceptionality”, A Special Education Journal, 245-268.

Kayır, Y., Z. ve Baççıl, E., G., (2010), “Nanoteknoloji Nedir”, 15. Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi, İstanbul.

Kazanasmaz, T., Diler, Y. (2011), Gelişmiş Cam Teknolojileri ile Enerji Etkinliğin Değerlendirilmesi (Evaluation of advanced glass technologies and their energy efficiency), VI. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, 24-25 Kasım 2011, 84-93, İzmir.

Kazma Ç. R., (2018), “Nanoteknolojinin İç Mekân Asarımındaki Uygulama Alanları: Mutfaklarda Nanomalzemelerin Kullanımı”, Yakın Doğu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İç Mimarlık Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Kıbrıs.

Kim J. Y., Magesh G., Youn D. H., Ji-Wook Jang, Kubota J., Domen, K., J. S. Lee, (2013), “Single-Crystalline, Wormlike Hematite Photoanodes For Efficient Solar Water Splitting”, DOI: 10.1038/srep02681

Koivisto A., Jensena A., Klinga K., Kling J., Budtz H. C., Koponena I. K., Tuinman I., Hussein T., Jensena K. A., Nørgaard A., Levina M., (2017), “Particle Emission Rates During Electrostatic Spray Deposition Of TiO₂ Nanoparticle-Based Photoactive Coating”, Journal of Hazardous Materials 341 (2018) 218–227.

Kothari Y. and Dewalkar S., (2016), “Application Of Nanotechnology In Smart Civil Structures”, <https://www.semanticscholar.org/paper/APPLICATION-OF-NANOTECHNOLOGY-IN-SMART-CIVIL-Kothari-Dewalkar/8d70489444cef2500b4103a489e9207b93aeca17> (Erişim Tarihi: 31/05/2021).

Kula G., Karasu B., (2017), “Kendi Kendini Temizleyen Yüzeyler” Seramik Dergisi, No:51.

Kumar P., Morawskac L., (2014), “Recycling Concrete: an Undiscovered Source of Ultrafine Particles”, Atmospheric Environment 90, 51-58. Online link: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.03.035>

Lazim, N. A., Asim, N., Rani M.A.A., Ahmadzadeh, A., Yarmo, M.A., Radiman, S. (2008), “Investigation of Nanoscale Tungsten (VI) Oxide as a Catalyst for the Ozonolysis of Oleic Acid”, European Journal of Scientific Research, 24 (4), 463-467. Lee, J., S., Ryu, J. ve Park, C., B., (2009), “Bio-Inspired Fabrication of Superhydrophobic Surfaces Through Peptide Self-Assembly”, Soft Matter, 5, 2717-2720.

Leone, M. F., (2012), “Nanotechnology For Architecture. Innovation And Ecoefficiency Of Nano Structured Cement Based Materials”,

<http://www.omicsgroup.org/journals/nanotechnology-for-architecture-innovation-128-and-eco-efficiency-of-nanostructured-cement-based-materials-2168-9717.1000102.pdf> (Erişim Tarihi: 31/05/2021).

Leydecker, S., (2008), “Nano Materials in Architecture: Interior Architecture and Design”, 189 syf., Birkhauser Verlag AG, Almanya.

Liu S., AfanH. A., Aldlemyy M. S., Al-Ansari N., Yaseen Z. M, (2020), “Energy Analysis Using Carbon And Metallic Oxides-Based Nanomaterials Inside A Solar Collector”, Energy Reports 6 (2020) 1373–1381.

López-Alonso M., Díaz-Soler B., Martínez-Rojas M., Fito-López C., Dolores Martínez-Aires M., (2020), “Management of Occupational Risk Prevention of Nanomaterials Manufactured in Construction Sites in the EU”, International Journal of Environmental Research and Public Health Article, doi:10.3390/ijerph17249211.

Mann, S., (2014), “Nanotechnology and Construction” http://nanotech.law.asu.edu/Documents/2009/10/Nanotech%20and%20Nanoforum%20report_259_9089.pdf (Erişim Tarihi: 31/05/2021).

Matteis V., Rizzello L., Di Bello M. P., Rinaldi R, (2017), “One-Step Synthesis, Toxicity Assessment And Degradation In Tumoral Ph Environment Of Sio Ag Core/Shell Nanoparticles”, Journal of Nanoparticle Research, 19 (6), 1-14.

MEB, (2010), Öğretmen Kılavuzu Lotus Etkisi, 511787-LLP-1-2010-1-TR-KA3-KA3MP. (Erişim Tarihi: 28/05/2021).

Mosteller F., Colditz G., (1996), “Understanding Research Synthesis (Meta-Analysis)”, Annual Reviews Public Health, 1-23.

Mujeebu A. M., Ashraf N., Alsuwayigh A. H., (2016), “Effect Of Nano Vacuum İnsulation Panel And Nanogel Glazing On The Energy Performance Of Office Building”, Applied Energy, 141-151

Mukhopadhyaya P., (2006), “High Performance Vacuum Insulation Panel”, Research Update From Canada, National Research Council Canada, NRCC-48705, 9-15.

Niroumand, H., Zain, M.F.M., Jamil, M. (2012), “Advanced Materials Research”, 457- 458, 354-357.

Nizamoglu S., Ozel T., Sari E., (2007), “HV Demirnizamoğlu White Light Generation Using Cdse/Zns Core–Shell Nanocrystals Hybridized With Ingan/Gan Light Emitting Diodes”, Nanotechnology 18 (6).

Nizamoglu, S., Özel, S, Sari, E. and Demir, H.V., (2007). White light generation using CdSe/ZnS core-shell nanocrystals hybridized with InGaN/GaN light emitting diodes, Nanotechnology, 18, Issue 6.

Nourian M., (2018), “Mimaride Nanokaplamaların Kullanımı Üzerine Bir İnceleme”, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Trabzon.

O'Hegarty R., Kinnane O., McCormack S., (2017), "Concrete Solar Collectors For Façade Integration: An Experimental And Numerical Investigation", Applied Energy.

Oke A. E., Aigbavboa C. O., Semenya K., (2017), "Energy Savings and Sustainable Construction: Examining the Advantages of Nanotechnology" 9th International Conference on Applied Energy, ICAE2017, 21-24 August 2017, Cardiff, UK.

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

Öney, F., (2013), "Polistiren Kil Nanokompozitin Sentezi Ve Karakterizasyonu" Yüksek Lisans Tezi, G.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Özdal V., (2019), "Karma Puzolanların Kullanıldığı Yüksek Performanslı Nano Beton Üretimi", Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Düzce.

Özdil, S. (2007). "Çelikle Sürdürülebilir Yapılaşma", Yapı Dergisi Yapıda Ekoloji: Ekolojik Tasarım ve Sürdürülebilirlik Eki, (Kasım), 36-37.

Özgür, H., Gemici, Z. ve Bayındır, M., (2007), "Çöl Böceği ve Nilüfer Çiçeğinden Öğrendiklerimiz Akıllı Nanoyüzeyler", Bilim ve Teknik Dergisi, 473(2007) 52-56.

Pacheco Torgal F., Jalalib S. (2011), "Nanotechnology: Advantages and Drawbacks In The Field of Construction and Building Materials " ,Construction and Building Materials Volume 25, Issue 2, February 2011, 582-590.

Padmanabhana N. T., (2020), "Titanium Dioxide Based Self-Cleaning Smart Surfaces: A Short Review" Nisha T., Johna H., Journal of Environmental Chemical Engineering 8 (2020) 104211.

Papatzani S., Paine K., (2017), "Construction, demolition and excavation waste management in EU/Greece and its potential use in concrete" Article in Fresenius Environmental Bulletin, September 2017, 26, 9/2017, 5572-5580.

Parkin, I., P., ve Palgrave, R., G., (2005), "Self-cleaning coatings, Journal of Materials Chemistry", 15(2005) 1689-1695.

Perker Z. S., (2010), "Nanoteknoloji Ve Yapı Malzemesi Alanına Etkileri", Engineering Sciences, 5(4), 639-648.

Piselloa A. L., D'Alessandro A., Sambucoa S., Rallinic M., Ubertinia F., Asdrubalia F., Materazzic A. L., Cotanaa F., (2016), "Multipurpose experimental characterization of smart nanocomposite cement-based materials for thermal-energy efficiency and strain-sensing capability", Solar Energy Materials and Solar Cells, 161, 77-88.

Poole, B., Biomimetics: Borrowing from Biology. <http://www.thenakedscientists.com/HTML/articles/article/biomimetics-borrowingfrombiology> (Erişim Tarihi: 28/05/2021).

Qarluq A., (2017), “Halloysit Nano-Kil, Nano-Sio₂ Ve Nano-Cao'nin Çimento Esaslı Harçlar Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması”, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendiliği Anabilim Dalı Yapı Malzemeleri Bilim Dalı, Erzurum.

Ramsden, J. J., (2018), “Nanotechnology for Energy”, Applied Nanotechnology, ISBN: 978-0-12-813343-9

Rempe R., Cramer S., Qiao R., Galla H., (2014), “Strategies To Overcome The Barrier: Use Of Nanoparticles As Carriers And Modulators Of Barrier Properties”, Cell and Tissue Research, 355, 717–726.

Rosenberg D., Veramallay S., Horan T., (2008), “Environmentally Intelligent Integral Waterproofing and Corrosion Protection for Concrete”, Celan Technology ISBN 987-1-4200-8502-0.

Sacks H. S., Berrier J., Reitman D., Ancona-Berk V. A., Chalmers T. C., (1995), “Meta-Analyses of Randomized Controlled Trials”, N Engl J Med 1987; 316: 450-55, doi:10.1001/jama.1995.03530240072044.

Sadiku E. R., Jayaramudu T., Ibrahim I. D., Agboola O., (2018), “Nanotechnology In Paints And Coatings”, 189-245.

Safi B., Aknouche H., Mechakra H., Aboutaleb D. And Bouali K., (2018), “Incorporation Mode Effect Of Nano-Silica On The Rheological And Mechanical Properties Of Cementitious Pastes And Cement Mortar”, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 143 (2018) 012015.

Sarıköse M., (2018), “Yapılı Çevrelerde Nanoteknoloji Kullanımı ve İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Ankara.

Say, C., Wood, A., (2008), “Sustainable Rating Systems Around the World, Council on Tall Buildings and Urban Habitat (CTBUH)” Journal, No. 2, 18-29.

Science for Environment Policy (2017), https://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/index_en.htm (Erişim Tarihi: 29/05/2021).

Selici T., Utlu Z., İlten N., (2005), “Enerji Kullanımının Çevresel Etkileri Ve Sürdürülebilir Gelişme Açısından Değerlendirilmesi” , III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildirileri, TTMOB Elektrik Mühendisleri Odası, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu.

Serbest Yenidünya S., Limoncu S., (2020), “Bina Yenileme Uygulamaları İçin Sürdürülebilirlik Ölçütlerinin Belirlenmesi: Sistemik Literatür Taraması Ve Meta Analizi”, Megaron 2020;15(2):270-284 DOI: 10.14744/MEGARON.2020.92499

Serin F., (2016), “Yapım Projelerinde Tasarım Yönetimi Konu Alanına Yönelik Meta Analizi”, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Sev, A., (2009), “Sürdürülebilir Mimarlık”, YEM Yayınevi, s.14-53, İstanbul.

Shakrani S. A., Ayob A., Rahim M. A. (2017), “A Review Of Nanoclay Applications in The Pervious Concrete Pavement” Conference Paper in AIP Conference Proceedings, DOI: 10.1063/1.5002243.

Shelby L., Vaske J., (2008), “Understanding Meta-Analysis: A Review”, Leisure Sciences: An Interdisciplinary Journal, 96-110.

Sia, P. D. (2017), Nanotechnology Among Innovation, Health and Risks, Procedia Social and Behavioral Sciences, 237, 1076 – 1080.

Smulders S., Luyts K. , Brabants G., Golanski L., Martens J. , Vanoirbeek J., Hoet H. M. P., (2014), “Toxicity of nanoparticles embedded in paints compared to pristine nanoparticles, in vitro study”, Toxicology Letters, 232 (2015) 333–339 C

Som C., Wick P., Krug H., Nowack B., (2011), “Environmental And Health Effects Of Nanomaterials In Nanotextiles and Façade Coatings”, Volume 37, Issue 6, 1131-1142

Sungur Ş. E., (2016), “Mimari Restorasyonda Nanoteknoloji”, Yüksek Lisans Tezi, , İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Restorasyon Programı, İstanbul.

Sustainable Energy Regulation and Policymaking for Africa, (2018), https://www.unido.org/sites/default/files/2009-04/training_manual_on_sustainable_energy_regulation_and_policymaking_for_Africa_0.pdf (Erişim Tarihi: 01/06/2021).

Şahin O. Z., (2019), “Nanoteknolojik Ürünlerin Giydirmeye Cephe Sektörü Bağlamında Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Balıkesir.

Şen S., (2018), “Meta-Analiz”, Harran Üniversitesi.

Şen, A., O., (2006), “Binalarda Uygulanan Yalıtım Sistemleri Dünyada ve Türkiye’de Yalıtım”, Sakarya Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Tallinn University of Technology, (2014), Lecture5_NanomatFundamentals, http://www.ttu.ee/public/m/Mehaanikateaduskond/Instituud/Materjalitehnika_instituut/MTX9100/Lecture5_NanomatFundamentals.pdf, (Erişim Tarihi: 31/05/2021).

Taniguchi, N. (1974), “On the Basic Concept of Nanotechnology”, Proceedings of the International Conference on Production Engineering, Tokyo, 18-23.

Toklu K., (2019), “Nano Boyutta Modifiye Edilmiş Yüksek Hacimde Uçucu Kül İçeren Çimento Esaslı Kompozitlerin Beton Onarım Malzemesi Olarak Kullanılması”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara.

Tokuç A. Ve Gülay Taşçı B., (2014), “Enerji Etkin Cephe Tasarımında Nanoteknoloji”, (147-150).

Trouiller B. vd., (2009), “Titanium Dioxide Nanoparticles Induce DNA Damage and Genetic Instability In vivo in Mice”, DOI: 10.1158/0008-5472.

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

Turan T., Eren Z., (2008), “Türkiye’de su kaynakları ve su politikası”, TMOOB 2. Su Politikaları Kongresi Bildiriler Kitabı, 1. Cilt, 25-32.

Turan, R., Ünal, H. E., Özdemir, B., Kulakçı, M., (2011), “Nanoteknoloji Güneş Enerjisi Dönüşümünde Yeni Ufuklar Açıyor”, Bilim ve Teknik Dergisi, Ankara.

Turunç S., (2019), Nanoteknolojik Yapı Malzemelerinin Türk Yapı Sektöründe Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, Balıkesir.

Tyler J., Last J., (1998), “R. Wallace, & J. Last içinde, Maxcy-Rosenau-Last Public Health & Preventive Medicine (s. 11-39). CT: Appleton & Lange.

USEPA (U.S. Environmental Protection Agency), (2007). “Nanotechnology White Paper”, EPA 100/B-07/001, Washington, DC 20460.

Uysal A., (2017), “Kendi Kendini Temizleyen Çimentolarda Fotokatalitik Performansın Kolesterol İle Arttırılması”, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.

Ünal S., (2015), “Kendi Kendini Temizleyen Endüstriyel Atıklı Betonlar”, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Bilim Dalı, Eskişehir.

Ürge-Vorsatz D, Cabeza L, Serrano S, Barreneche C, Petrichenko K., (2015), “Heating and Cooling Energy Trends and Drivers in Buildings”. Renew Sustain Energy Rev 2015;41:85–98.

Vigneshkumar, C. (2014), “Study on Nanomaterials and Application of Nanotechnology and Its Impacts in Construction”, Discovery, 23(75), 8-12. Volume 206, 15 November 2017, 1040-1061.

Vuceljic S. V., (2009). "Application of Smart Materials in Retrofitting Homes can Help Housing Energy Efficiency." Union University of Belgrade, 22-31.

Vural, S. M., (2004), “Yapı İçi Hava Niteliği Risk Süreci Modeli Belirlenmesi”, Doktora Tezi, YTÜ FBE, İstanbul.

Wang C.Y., Tang H.J., Pang S.H. (2008) “Enhancing Sunlight Photocatalytic Efficiency of Self Cleaning Glass by Coating ZnFe₂O₄-TiO₂ Film”, Rare Metal Materials and Engineering, 37, 548-551.

Web 1, (2021): Çeliker, Ww.Dyo.Com.Truploadsyyayinlar_082206162052_Yayinlar_062806135434_Nanoteknoloji_Ve_Boya_Sekt.Pdf>, (Erişim Tarihi: 29/01/2021).

Web 2, (2021): http://www.mmmfx.com/wp-content/uploads/2013/12/chromx4100_overview.pdf, MMFX Chrom-x 4100, (Erişim Tarihi: 20/03/2021)

Web 3, (2021): http://www.bbc.co.uk/turkce/haberler/2014/03/140325_who_hava.shtml, (Erişim Tarihi: 29/05/2021)

Web 4, (2021): <http://www.dogancam.com/docs/downloads/isicam-terleme.pdf>, Isıcam’ da Terleme, (Erişim Tarihi: 20/03/2021).

Web 5, (2021): <http://www.bilgiustam.com/bakteri-nedir/>, Bakteri Nedir, (Erişim Tarihi: 20/03/2021).

Web 6, (2021): Agrob Buchtal HT: The Revolutionary Coating Ürün Broşürü, 2011, Almanya http://www.agrob-uchtal.de/download/download/92_ht_broschuere_gb.pdf, (Erişim Tarihi: 22/03/2021).

Web 7, (2021): Açık Bilim, Parmak İzlerine Nanoteknolojik Çözüm <http://www.acikbilim.com/2013/07/dosyalar/parmak-izlerine-nanoteknolojikcozum.html>, (Erişim Tarihi: 22/04/2021).

Web 8, (2021): <http://www.nanophase.com/products/benefit.aspx?BenefitId=4>, Scratch Resistance, (Erişim Tarihi: 24/02/2021).

Web 9, (2021): https://en.wikipedia.org/wiki/Jubilee_Church, (Erişim Tarihi: 21/02/2021).

Web 10, (2021): <https://docplayer.biz.tr/206762997-Bolum-v-yapi-kabugunda-nano-esasli-malzemelerin-kullanimi-use-of-nano-based-materials-in-building-shell.html>, (Erişim Tarihi: 20/02/2021).

Web 11, (2021): <https://www.archdaily.com/104187/ara-pacis-museum-richard-meier-partners>, (Erişim Tarihi: 18/05/2021).

Web 12, (2021): <https://www.iwm.org.uk/visits/iwm-london>, (Erişim Tarihi: 18/05/2021).

Web 13, (2021): <https://vizyonergenc.com/icerik/tarihin-tanigi-muzeler-i-ngiltere-imparatorluk-savas-muzeleri>, (Erişim Tarihi: 18/05/2021).

Web 14, (2021): <https://www.marriott.com/hotels/travel/sanws-the-westin-san-diego-downtown/>, (Erişim Tarihi: 18/05/2021).

Web 15, (2021): <http://www.italcementigroup.com/ENG/Research+and+Innovation/Innovative+Products/TX+Active/>, TX Active, (Erişim Tarihi: 18/05/2021).

Web 16, (2021): <https://www.archdaily.com/322819/italcementi-i-lab-richard-meier-partners>, (Erişim Tarihi: 18/05/2021).

Web 17, (2021): NEW YORK | One World Trade Center (1WTC) | 541m | 1776ft | 94 fl | Com | Page 2371 | SkyscraperCity, (Erişim Tarihi: 18/05/2021).

Web 18, (2021): <https://www.archdaily.com/795277/one-world-trade-center-som>, (Erişim Tarihi: 18/05/2021).

Web 19, (2021): <https://aecom.com/kw/projects/one-world-trade-center/>, (Erişim Tarihi: 18/05/2021).

Web 20, (2021): <http://www.zigersnead.com/current/blog/post/solar-decathlon-2009-thin-vacuum-insulatedpanels/11-06-2009/1891/>

Winter, C., (2014), “A Building Designed to Eat Smog”, <http://www.businessweek.com/articles/2013-04-26/a-building-designed-to-eat-smog>. 17 Mart 2014.

World Water Council, (2018), News And Activities.

Yıldız, A., Akgöl, S., Güvercin, S., (2017), Sanayide Enerji Verimliliği ve Uygulamaları, Düzce İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, ISSN: 2147-3755.

Yılmaz S., (2014), “Nanomalzemelerin Mimaride Kullanım Olanakları”, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Mimarlık Programı, Trabzon.

Yılmaz, S. (2014). “Nanomalzemelerin Mimaride Kullanım Olanakları”, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 21-90.

Yüksek İ., (2011), “Yapılarda Enerji Etkinliği Bağlamında Doğal Havalandırma Yöntemlerinin Önemi”, Tesisat Mühendisliği Dergisi, (125), 63-77.

Yüksel Ş., (2010), “Kendi kendini temizleyen betonlarda kalıp tipinin durabiliteye etkisi”, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.

Zeng R., Chini A., (2017), “A Review of Research on Embodied Energy of Buildings Using Bibliometric Analysis”, Energy Build. 155, 172-184.

Zheng L., Xiong T., Shah K. W., (2019), “Transparent Nanomaterial-Based Solar Cool Coatings: Synthesis, Morphologies And Applications”, Solar Energy 193 (2019) 837-858, 0038-092X/ © 2019 International Solar Energy Society. Published by Elsevier Ltd. All rights reserved.

ÖZGEÇMİŞ

İrem USLU TÜZÜN Lisans Eğitimini 2016 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümünde, Yüksek Lisans eğitimini 2021 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Ana Bilim Dalında tamamlamıştır. 2016-2018 yılları arasında tasarım ve uygulama üzerine İstanbul'da bir mimarlık ofisinde çalışmıştır. 2019 yılında Hasan Kalyoncu Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başlamıştır. Halen söz konusu kurumda çalışmaya devam etmektedir.

EKLER

Ek A: Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Çalışmalar

Uslu İ.,Karaman Öztaş S., Sustainability Assesment of Nanotechnological Building Materials, Internationale-Congress of Architecture and Planning IV (ICONARCH IV), 13-15 Ekim 2020, Konya Teknik Üniversitesi, Konya.

Ek B: Meta Analizde Kullanılan Kaynak Listesi

Çizelge A.1: Meta analizinde kullanılan kaynak listesi.

Sayı	Yazarlar	Çalışmanın Adı	Yayınlanan Ülke	Kaynak Türü	Yayınlanma Yeri	Yazar Sayısı	Kullanılan Yöntemler
1	Rosenberg D., 2008	Environmentally Intelligent Integral Waterproofing and Corrosion Protection for Concrete	Birleşik Krallık	Dergi	Clean Technology	3	Literatür Çalışması
2	Yüksel Ş., 2010	Kendi kendini temizleyen betonlarda kalıp tipinin durabiliteye etkisi	Türkiye	Doktora Tezi	YökTez	1	Deney Çalışması
3	PachecoTorral F. vd., 2011	Nanotechnology: Advantages and Drawbacks In The Field of Construction and Building Materials	Portekiz	Dergi	Elsevier, Construction and Building Materials	2	Literatür Çalışması
4	Som C. vd., 2011	Environmental And Health Effects Of Nanomaterials In Nanotextiles And Facade Coatings	İsviçre	Dergi	Elsevier, Environment International	4	Literatür Çalışması
5	Graziani G. vd., 2013	Durability Of Self-Cleaning Tio ₂ Coatings On fired Clay Brick Façades: Effects Of UV Exposure And Wet & Dry Cycles	İsviçre	Dergi	Elsevier, Building and Environment	4	Deney Çalışması

Çizelge A.1 (Devam): Meta analizinde kullanılan kaynak listesi.

6	Akgül T., 2013	CCB nano partiküllerle güçlendirilmiş ahşap yapı elemanlarının mekanik özelliklerinin incelenmesi	Türkiye	Doktora Tezi	YökTez	1	Deney Çalışması
7	Bazu T., 2013	Sol-gel yöntemi ile kaplanarak kendi kendini temizleyen yüzeylerin elde edilmesi ve karakterizasyonu	Türkiye	Yüksek Lisans Tezi	YökTez	1	Deney Çalışması
8	İpekçi, 2013	Antibakteriyel ve kir leke tutmayan seramik malzeme üretimi	Türkiye	Yüksek Lisans Tezi	YökTez	1	Deney Çalışması
9	Graziani L. vd., 2013	Evaluation of Inhibitory Effect of Tio ₂ Nanocoatings Against Microalgal Growth on Clay Brick Façades Under Weak UV Exposure Conditions	İtalya	Dergi	Elsevier, Building and Environment	9	Deney Çalışması
10	Smulders S. vd., 2014	Toxicity of Nanoparticles Embedded In Paints Compared To Pristine Nanoparticles, In Vitro Study	Belçika	Dergi	Elsevier, Toxicology Letters	7	Deney Çalışması
11	Yılmaz S., 2014	Nanomalzemelerin Mimaride Kullanım Olanakları	Türkiye	Yüksek Lisans Tezi	YökTez	1	Literatür Çalışması
12	Bilgin S., 2014	Yapılarda Kullanılan Nanoürünlerin Yapı Biyolojisi Açısından İrdelenmesi	Türkiye	Yüksek Lisans Tezi	YökTez	1	Literatür Çalışması
13	Kumar P. vd, 2014	Recycling Concrete: An Undiscovered Source of Ultrafine Particles	Birleşik Krallık	Dergi	Elsevier, Atmospheric Environment	3	Deney Çalışması
14	Iavicoli I. vd., 2014	Opportunities And Challenges Of Nanotechnology In The Green Economy	İtalya	Dergi	Environment al Health	5	Literatür Çalışması

Çizelge A.1 (Devam): Meta analizinde kullanılan kaynak listesi.

15	Franzoni E. vd., 2014	Compatibility Of Photocatalytic Tio2-Based finishing For Renders In Architectural Restoration: A Preliminary Study	İtalya	Dergi	Elsevier, Building and Environment	5	Deney Çalışması
16	Haghighat A., 2015	Nanomalzemelerin mimarlık ve iç mimarlıktaki uygulamalarının sağlık yapıları çerçevesinde hasta odalarında kullanımı	Türkiye	Yüksek Lisans Tezi	YökTez	1	Karşılaştırma
17	Ünal S., 2015	Kendi kendini temizleyen endüstriyel atıklı betonlar	Türkiye	Yüksek Lisans Tezi	YökTez	1	Deney Çalışması
18	Pisello A. L. vd., 2016	Multipurpose Experimental Characterization Of Smart Nanocomposite Cement-Based Materials For Thermal-Energy Efficiency And Strain-Sensing Capability	İtalya	Dergi	Elsevier, Solar Energy Materials & Solar Cells	8	Deney Çalışması
19	Cengiz G., 2016	Mimarlıkta Sürdürülebilir Nanoteknolojik Malzeme Kullanımı	Türkiye	Yüksek Lisans Tezi	YökTez	1	Karşılaştırma
20	Sungur Ş. E., 2016	Mimari Restorasyonda Nanoteknoloji	Türkiye	Yüksek Lisans Tezi	YökTez	1	Deney Çalışması
21	Balay M., 2016	Nano malzemelerin çimento bağlayıcı kompozitlerin mekanik özellikleri üzerine etkileri	Türkiye	Yüksek Lisans Tezi	YökTez	1	Deney Çalışması
22	De Matteis V. vd., 2016	Nanomaterials And Smart Nanodevices For Modular Dry Constructions: The Project “Easy House”	İtalya	Elsevier, Procedia Engineering	Dergi	4	Model Çalışması

Çizelge A.1 (Devam): Meta analizinde kullanılan kaynak listesi.

23	Mujeebu A. M. vd., 2016	<i>Effect of Nano Vacuum Insulation Panel And Nanogel Glazing On The Energy Performance of Office Building</i>	Suudi Arabistan	Elsevier, Applied Energy	Dergi	3	Model Çalışması
24	Huang Y., Wang L., 2016	<i>Experimental Studies On Nanomaterials For Soil Improvement: A Review</i>	Çin	Springer, Environmental Earth Sciences	Dergi	2	Literatür Çalışması
25	Pacheco-Torgal F., 2016	<i>High Tech Startup Creation For Energy Efficient Built Environment</i>	Portekiz	Elsevier, Renewable and Sustainable Energy Reviews	Dergi	1	Literatür Çalışması
26	Eisazadeh N. vd., 2016	<i>Nanotechnology And Its Impact On Sustainable Architecture</i>	Belçika	Sustainable Built Environment (SBE) Regional Conference	Bildiri Kitabı	2	Literatür Çalışması
27	O'Hegarty R. vd., 2017	<i>Concrete Solar Collectors For Facade Integration: An Experimental And Numerical Investigation</i>	İrlanda	Elsevier, Applied Energy	Dergi	3	Deney Çalışması
28	Shakrani S.A. vd., 2017	<i>A Review Of Nanoclay Applications In The Pervious Concrete Pavement</i>	Malezya	AIP Conference Proceedings	Bildiri Kitabı	3	Literatür Çalışması
29	Uysal A., 2017	<i>Kendi kendini temizleyen çimentolarda fotokatalitik performansın kolemanit ile artırılması</i>	Türkiye	Yüksek Lisans Tezi	YökTez	1	Deney Çalışması

Çizelge A.1 (Devam): Meta analizinde kullanılan kaynak listesi.

30	Qarluq A., 2017	Halloysit nano-kil, nano-Sio2 ve nano-Cao'in çimento esaslı harçlar üzerindeki etkilerinin araştırılması	Türkiye	Yüksek Lisans Tezi	YökTez	1	Deney Çalışması
31	Papatzani S. vd., 2017	Construction, Demolition And Excavation Waste Management In EU/Greece And Its Potential Use In Concrete	Yunanistan	Fresenius Environmental Bulletin	Dergi	2	Literatür Çalışması
32	Oke E. vd., 2017	Energy Savings and Sustainable Construction Examining the Advantages of Nanotechnology	Güney Afrika	Elsevier, Applied Energy	Dergi	2	Anket Çalışması
33	Sarıköse M., 2018	Yapılı Çevrelerde Nanoteknoloji Kullanımı ve İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri	Türkiye	Yüksek Lisans Tezi	YökTez	1	Karşılaştırma
34	Karagöz A., 2018	Nano malzeme içeren çimentolu kompozitlerin termal verimliliği	Türkiye	Yüksek Lisans Tezi	YökTez	1	Deney Çalışması
35	Safi B. vd., 2018	Incorporation Mode Effect Of Nano-Silica On The Rheological And Mechanical Properties Of Cementitious Pastes And Cement Mortar	Cezayir	IOP Conference Series: Earth and Environmental Science	Bildiri Kitabı	2	Deney Çalışması
36	Ali Al-Graiti vd., 2018	Investigations on the Application of Nanomaterials to Improve the Environmental Performance of Buildings	İngiltere	Plea 2018	Dergi	2	Literatür Çalışması

Çizelge A.1 (Devam): Meta analizinde kullanılan kaynak listesi.

37	Arslan Selçuk S., 2018	Nanotechnology in Built Environment: Pros and Cons of Nanomaterial Usage in Architecture	Türkiye	Springer, International Sustainable Buildings Symposium	Dergi	2	Literatür Çalışması
38	Nourian M., 2018	Mimaride Nanokaplamaların Kullanımı Üzerine Bir İnceleme	Türkiye	Yüksek Lisans Tezi	YökTez	1	Literatür Çalışması
39	Koivisto A., 2018	Practicle Emission Rates During Electrostatic Spray Deposition Of Tio ₂ Nanoparticle-Based Photoactive Coating	Danimarka	Elsevier, Journal of Hazardous Materials	Dergi	11	Deney Çalışması
40	Şahin O. Z., 2019	Nanoteknolojik ürünlerin giydirme cephe sektörü bağlamında araştırılması	Türkiye	Yüksek Lisans Tezi	YökTez	1	Anket Çalışması
41	Turunç S., 2019	Nanoteknolojik Yapı Malzemelerinin Türk Yapı Sektöründe Kullanımı	Türkiye	Yüksek Lisans Tezi	YökTez	1	Anket Çalışması
42	Faisal N., 2019	Çimentolu kompozitlerde mikro ve nano mineral katkıların performasyonlarının karşılaştırılması	Türkiye	Yüksek Lisans Tezi	YökTez	1	Deney Çalışması
43	Bozkurt A., 2019	Yüksek performanslı çimento harç özelliklerine nano - silis ve farklı puzolan malzeme katkısının etkileri	Türkiye	Yüksek Lisans Tezi	YökTez	1	Deney Çalışması
44	Toklu K., 2019	Nano boyutta modifiye edilmiş yüksek hacimde uçucu kül içeren çimento esaslı kompozitlerin beton onarım malzemesi olarak kullanılması	Türkiye	Yüksek Lisans Tezi	YökTez	1	Deney Çalışması

Çizelge A.1 (Devam): Meta analizinde kullanılan kaynak listesi.

45	Özdal V., 2019	<i>Karma puzolanların kullanıldığı yüksek performanslı nano beton üretimi</i>	Türkiye	Yüksek Lisans Tezi	YökTez	1	Deney Çalışması
46	Bilim E., 2019	<i>Karma lif kullanılan yüksek performanslı nano beton üretimi</i>	Türkiye	Yüksek Lisans Tezi	YökTez	1	Deney Çalışması
47	Díaz-Soler B. M. vd., 2019	<i>Potential Risks Posed By The Use Of Nano-Enabled Construction Products: A Perspective From Coordinators For Safety And Health Matters</i>	İspanya	Elsevier, Journal of Cleaner Production	Dergi	3	Anket Çalışması
48	Zheng L. vd., 2019	<i>Transparent Nanomaterial-Based Solar Cool Coatings: Synthesis, Morphologies and Applications</i>	Singapur	Elsevier, Solar Energy	Dergi	3	Literatür Çalışması
49	Jimenez-Relinque E., vd. 2020	<i>Environmental Impact of Nano-Functionalized Construction Materials: Leaching of Titanium and Nitrates From Photocatalytic Pavements Under Outdoor Conditions</i>	İspanya	Elsevier, Science of the Total Environment	Dergi	5	Deney Çalışması
50	Çöl F., 2020	<i>Isı yalıtımı açısından konvansiyonel malzemelerle nanoteknolojik malzemelerin karşılaştırılması</i>	Türkiye	Yüksek Lisans Tezi	YökTez	1	Karşılaştırma
51	Bekar H., 2020	<i>Atık nano karbon karası kullanılarak üretilen betonlarda yüksek sıcaklık etkisinin incelenmesi</i>	Türkiye	Yüksek Lisans Tezi	YökTez	1	Deney Çalışması
52	Çiftçi M., 2020	<i>Nano boyutlu taneciklerin kullanımıyla yüksek hacimde yüksek fırın cürufu içeren katkılı çimento tasarımı</i>	Türkiye	Yüksek Lisans Tezi	YökTez	1	Deney Çalışması

Çizelge A.1 (Devam): Meta analizinde kullanılan kaynak listesi.

53	López-Alonso M., 2020	Management of Occupational Risk Prevention of Nanomaterials Manufactured in Construction Sites in the EU	İspanya	International Journal of Environmental Research and Public Health	Dergi	5	Literatür Çalışması
54	Elegbede JA vd., 2020	Nanotechnology In The Built Environment For Sustainable Development	Nijerya	IOP Conference Series: Earth and Environmental Science	Bildiri Kitabı	2	Literatür Çalışması
55	Boul, P., 2020	Nanotechnology Research and Development in Upstream Oil and Gas	ABD	Energy Technology	Dergi	2	Deney Çalışması
56	Aljenbaz A. Z., 2020	Evaluation of Nanomaterials for Building Production within the Context of Sustainability	Kıbrıs	European Journal of Sustainable Development	Dergi	2	Literatür Çalışması
57	Padmanabhan N. vd., 2020	Titanium Dioxide Based Self-Cleaning Smart Surfaces: A Short Review	Hindistan	Elsevier, Journal of Environmental Chemical Engineering	Dergi	2	Literatür Çalışması
58	SuhongLiu vd., 2020	Energy Analysis Using Carbon and Metallic Oxides-Based Nanomaterials Inside a Solar Collector	Çin	Elsevier, Energy Reports	Dergi	5	Deney Çalışması

