



**MALZEME BİLİMİNDEKİ GELİŞMELERİN MİMARLIK DİSİPLİNİ
ÜZERİNE ETKİLERİ: AKILLI MALZEMELER**

Sevgi TEMEL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2021

Sevgi TEMEL tarafından hazırlanan “MALZEME BİLİMİNDEKİ GELİŞMELERİN MİMARLIK DİSİPLİNİ ÜZERİNE ETKİLERİ: AKILLI MALZEMELER” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Mimarlık Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK

Mimarlık Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

.....

Başkan: Doç. Dr. Arzuhan Burcu GÜLTEKİN

Mimarlık Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

.....

Üye: Doç. Dr. Aslı ER AKAN

Mimarlık Ana Bilim Dalı, Çankaya Üniversitesi

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

.....

Tez Savunma Tarihi: 18/01/2021

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

.....

Prof. Dr. Cevriye GENCER

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

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

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

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

Sevgi TEMEL

18/01/2021

MALZEME BİLİMİNDEKİ GELİŞMELERİN MİMARLIK DİSİPLİNİ ÜZERİNE ETKİLERİ: AKILLI MALZEMELER

(Yüksek Lisans Tezi)

Sevgi TEMEL

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2021

ÖZET

Tasarlanan her türlü nesnenin en önemli bileşenlerinden biri olan “malzeme”, bilim ve teknoloji alanında yaşanan ilerlemeler ile birlikte değişim ve dönüşüm geçirmektedir. Malzeme ve malzeme biliminde meydana gelen bu gelişmeler, tüm tasarım alanlarında olduğu gibi mimarlık disiplininde de paradigmatik özelliklere sahip yenilikçi ve yüksek performanslı malzemelerin üretimine olanak tanımaktadır. Yenilikçi malzemeler olarak nitelendirilen “akıllı malzemeler” de gelişmiş bir teknolojinin sonucudur. Akıllı malzemeler; çevresindeki potansiyelleri algılayan, işleyen ve tepki verebilen dinamik malzemelerdir. Yaşam kalitesini iyileştirmeyi hedefleyen bu malzemelerin yapı sektöründe kullanılması ile enerji korunumunun sağlanması, bina dayanıklılığının ve güvenilirliğinin iyileştirilmesi, bakım-onarım maliyetlerinin azaltılması gibi konularda yenilikçi uygulamalar gerçekleştirilmektedir. Bu kapsamda, malzeme bilimindeki gelişmelerin mimarlık disiplinindeki etkilerinin neler olduğu/olabileceği sorusunun cevaplarının arandığı bu tez çalışmasında akıllı malzemelerin mimari uygulamalardaki yeri ve potansiyelleri irdelenmiş ve söz konusu malzemelerin mimariyi şekillendirmede kullanılan geleneksel malzemelerin yerine sunduğu alternatifler tartışılmıştır. Bu amaçla bu çalışma, malzeme bilimi ve mimarlık çerçevesinde detaylandırılmış ve akıllı malzemeler ile sınırlandırılmıştır. Yapılan alan çalışmasında mimaride mevcut akıllı malzemeler ana hatlarıyla ortaya konmuş ve örnekler ışığında bu malzemelerin sunduğu yenilikler incelenmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, akıllı malzemelerin, binaların tasarım-yapım-kullanım sürecinde, doğadaki potansiyeller ile dinamik bir bağ oluşturarak “performatif özellikler” sunduğu, binaların yapısal performansını iyileştirdiği, kullanıcı konforuna katkı sunduğu ve enerji tüketimini optimize etme konusunda üstün özelliklere sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Bilim Kodu : 80114

Anahtar Kelimeler : Mimarlık, malzeme bilimi, akıllı malzemeler, yüksek teknoloji

Sayfa Adedi : 119

Danışman : Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK

THE IMPACT OF DEVELOPMENTS IN MATERIAL SCIENCE ON THE DISCIPLINE
OF ARCHITECTURE: SMART MATERIALS

(M. Sc. Thesis)

Sevgi TEMEL

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2021

ABSTRACT

“Material”, one of the most important components of any designed object, undergoes change and transformation with the advances in science and technology. These developments in materials and materials science have enabled the production of innovative and high performance materials with paradigmatic features in the discipline of architecture as well as in all design fields. "Smart materials", which are described as innovative materials, are also the result of an advanced technology. Smart materials are dynamic materials that can perceive, process and react to the potentials around them. By using these materials, which aim to improve the quality of life, in the construction sector, innovative applications have been developed in subjects such as providing energy conservation, improving building durability and reliability, and reducing maintenance and repair costs. In this context, the place and potential of smart materials in architectural applications were examined in order to answer the question of what the effects of the developments in materials science in the architectural discipline are / could be, and the alternatives offered by these materials instead of traditional materials used in shaping architecture were discussed. For this purpose, this study is detailed within the framework of materials science and architecture and limited to smart materials. In the field study, the smart materials available in architecture were outlined and the innovations offered by these materials were examined in the light of examples. As a result of the evaluations made, it was concluded that smart materials provide “performative features” by creating a dynamic connection with the potentials of nature, improve the structural performance of buildings, contribute to user comfort and have superior properties in optimizing energy consumption during the design-construction-use process of the buildings.

Science Code : 80114

Key Words : Architecture, material science, smart materials, high technology

Page Number : 119

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresi boyunca bana yardımcı olan, bilgi ve deneyimleriyle desteğini esirgemeyen, anlayış ve hoşgörüsüyle yakından ilgilenen kıymetli danışmanım Doç. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK'a katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, manevi desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen annem ve babam Fatma ve Maksut AKBAL'a, çalışma süresi boyunca yanımda bana destek olan eşim Fatih TEMEL ve varlıkları ile bana güç veren çocuklarım Nurefşan ve Mustafa TEMEL'e teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI VE KAVRAMSAL ÇERÇEVE.....	7
2.1. Malzemenin Gelişimi Üzerine Bir Arka Plan.....	7
2.2. Geleneksel Malzemeler.....	11
2.2.1. Doğal malzemeler	12
2.2.2. İşlenmiş malzemeler.....	17
2.3. Yüksek Performanslı Malzemeler.....	27
2.3.1. Kompozit malzemeler	27
2.3.2. Polimer malzemeler	31
2.4. Akıllı Malzemeler	33
2.4.1. Nitelik dönüşümü yapan akıllı malzemeler	37
2.4.2. Enerji dönüşümü yapan akıllı malzemeler.....	38
2.5. Akıllı Sistemler	40

	Sayfa
3. MATERYAL VE METOD	41
4. MİMARLIKTAKİ AKILLI MALZEME KULLANIMI	45
4.1. Kendi Kendini Temizleyen Malzemeler	46
4.1.1. Lotus etkisi ile kendini temizleyen yüzeyler	46
4.1.2. Fotokataliz ile kendini temizleyen yüzeyler	51
4.2. Kendi Kendini İyileştiren Malzemeler	58
4.3. Akıllı Camlar	66
4.3.1. Pasif dinamik sistemler	66
4.3.2. Aktif dinamik sistemler	71
4.4. Yüksek Yalıtım Sağlayan Malzemeler	78
4.4.1. Aerojel	78
4.4.2. Vakumlu yalıtım panelleri	82
4.4.3. Faz değiştiren malzemeler	85
4.5. Diğer Akıllı Malzemeler	87
5. BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	97
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	103
KAYNAKLAR	107
ÖZGEÇMİŞ	119

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. İleri ve akıllı malzemeler için öneri sınıflandırma	11
Çizelge 2.2. Nitelik değişimi yapan akıllı malzemeler	37
Çizelge 2.3. Enerji dönüşümü yapan akıllı malzemeler	39
Çizelge 3.1. Akıllı malzemeler için sınıflandırma	41
Çizelge 3.2. Mimaride akıllı malzeme kullanımı.....	42
Çizelge 3.3. Potansiyel olarak uygulanabilir akıllı malzemelerle ilgili tipik bina sistemi tasarım ihtiyaçlarının haritalanması.....	43
Çizelge 4.1. Ara Pacis Müzesi	48
Çizelge 4.2. Luminart Binası	49
Çizelge 4.3. Brive La Gaillarde Hastanesi.....	54
Çizelge 4.4. Monte Verda Binası.....	55
Çizelge 4.5. Jübiilee Kilisesi.....	56
Çizelge 4.6. Italy Pavilion – Milon Expo 2015	57
Çizelge 4.7. Deneme beton panelleri ve iyileştirme mekanizması	64
Çizelge 4.8. Beton üzerinde hasar meydana gelmesi sonucu çatlak genişliklerinin karşılaştırılması	65
Çizelge 4.9. Modern Sanat Müzesi	70
Çizelge 4.10. NDIS Avustralya	70
Çizelge 4.11. Bowie State Üniversitesi.....	75
Çizelge 4.12. Iata Executive Ofis	75
Çizelge 4.13. Souchais Spor Kompleksi	80
Çizelge 4.14. Sonenschiff Centre.....	84
Çizelge 4.15. Alterswohnen Binası.....	87
Çizelge 4.16. Chunga Binası.....	89

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.17. Bloom heykeli.....	90
Çizelge 4.18. Gateshead Milenium Köprüsü	92
Çizelge 5.1. Akıllı malzemelerin yapısal performansına göre değerlendirilmesi.....	98
Çizelge 5.2. Akıllı malzemelerin iklim ve enerji performansına göre değerlendirilmesi.....	99
Çizelge 5.3. Akıllı malzemelerin mimari performansa göre değerlendirilmesi.....	101



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Tez akış şeması	5
Şekil 2.1. Malzemelerin tarihsel gelişimi	8
Şekil 2.2. Endüstri devrimi öncesinde malzeme alanında meydana gelen gelişmeler....	9
Şekil 2.3. Endüstri devriminin tarihsel gelişimi.....	10
Şekil 2.4. Tarih öncesi ahşap barınak	12
Şekil 2.5. Ahşap malzemenin geçmişten günümüze kullanım teknikleri örnekler.....	14
Şekil 2.6. Taş malzemenin mimaride kullanım alanları	16
Şekil 2.7. Betonun zaman içerisindeki gelişim çizelgesi	18
Şekil 2.8. Çelik malzemenin gelişim grafiği.....	21
Şekil 2.9. Alüminyum malzemenin gelişim grafiği	24
Şekil 2.10. Alüminyum malzemenin mimaride kullanımına örnekler	26
Şekil 2.11. Akıllı malzemelerin taksonomisi	36
Şekil 4.1. Fotokatalik ile kendi kendini temizleme mekanizma süreci.....	52
Şekil 4.2. Hidrofil yüzeyde fotokatalik davranışı	52
Şekil 4.3. Fotokatalik kaplamaların bina tipleri ve uygulamaları.....	53
Şekil 4.4. Fotokatalik bozunma yoluyla kendi kendini temizleyen cam	53
Şekil 4.5. Fotokatalizin sunduğu avantajlar	57
Şekil 4. 6. Kendi kendini iyileştirme mekanizmaları a) Kapsül bazlı yöntem b)Vasküler yöntem c) İçsel onarım yöntemi.....	58
Şekil 4.7. Termokromik pencere a)Sıcaklık geçiş sıcaklığının altında b)Sıcaklık geçiş sıcaklığının üstünde	68
Şekil 4.8. Termokromik cam katmanları	69
Şekil 4.9. Elektrokromik cam katmanları ve çalışma prensibi	72
Şekil 4.10. Elektrokromik cam	74

Şekil	Sayfa
Şekil 4.11. PDLC camın çalışma prensibi	76
Şekil 4.12. a)Granül silika aerojel b) Monolitik silika aerojel.....	80
Şekil 4.13. İki VIP arasında geçen termal köprü ve etkisini azaltacak önlemler.....	83
Şekil 4.14. VIP kullanımının duvar ve zemine ait yapı detayı	84
Şekil 4.15. Piezoelektrik sensörün şematik gösterimi	91
Şekil 4.16. X Ray zeminde enerji üretimi, X Ray zemin düzeneğinin katmanları	92
Şekil 4.17. Süper serin boyanın çalışma düzeneği.....	94



RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Taş malzemenin zamanla şekillenmesi	16
Resim 2.2. Coalbrookdale (Iron Bridge) köprüsü, İngiltere	20
Resim 2.3. Ditherington Flax Mill	21
Resim 2.4. Menier Çikolata Fabrikası	22
Resim 2.5. Prade Epicenter Mağazası.....	22
Resim 2.6. Alüminyum kapı, 1954 Alüminyum süsleme 1931	25
Resim 2.7. Saman ve çamurun birleşmesiyle meydana gelmiş kerpiç bloklar	28
Resim 2.8. Alüminyum kompozit panel cephe uygulaması	30
Resim 4.1. Lotus bitkisi ve yaprağının yüzey yapısı	47
Resim 4.2. Lotus yaprağı SEM fotoğrafı ve yüzey üzerinden damlanın uzaklaştırılması	47
Resim 4.3. Lotus etkili yüzeyler için kendi kendini temizleme mekanizması.....	48
Resim 4.4. Geleneksel boya (A-B-C-D) ve lotus etkili boya (E-F).....	50
Resim 4.5. a)Bakteri sporları ve organik biyomineral (kalsiyum laktat) b)Beton matrisi içine gömülü onarım maddesi	61
Resim 4.6. % 50 Sodyumsilikat ve % 50 yağ içeren mikrokapsül	62
Resim 4.7. Beton dökümünden önce şekil hafıza polimer tendomları ve vasküler ağ kurulumu	63
Resim 4.8. Bakteriyel iyileşme sonrası oluşan kalsiyum karbonat (kireç taşı) oluşumu	63
Resim 4.9. Saha deneme beton panelleri	64
Resim 4.10. PDLC camın uygulama örnekleri	77
Resim 4.11. Aerojelin cam ile kombinasyonu	79
Resim 4.12. a) VIP iç yapısı b)Dış görünüşü	82
Resim 4.13. Kaliforniya’da bir binanın çatısına kurulan süper serin paneller.....	94

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
°	Derece
°C	Santigrat Derece
%	Yüzde
CaCO ₃	Kalsiyum karbonat
C ₆ H ₁₀ CaO ₆	Kalsiyum laktat
cm	Santimetre
CO ₂	Karbondioksit
Fe ₃ O ₄	Magnetit
H ₂ O	Hidrojen
Kwh /m ²	Metrekareye Düşen Kilowatsaat
m	Metre
m ²	Metrekare
mm	Milimetre
µm	Nanometre
T	Sıcaklık
T _C	Geçiş sıcaklığı
TiO ₂	Titanyum oksit
VO ₂	Vanadium oksit
WO ₃	Tungstenoksit
W/m ²	Metrekareye düşen wat
Yy	Yüzyıl
ZnCl ₂	Çinko klorür

Kısaltmalar	Açıklamalar
EC	Elektrokromik
EPS	Extrude polistren
FDM	Faz değiştiren malzeme

Kısaltmalar**Açıklamalar**

IATA	International Air Transport Association
LOW-E	Düşük emisyonlu
LED	Işık yayan diyot
M4L	Materials for live
NASA	National Aeronautics and Space Administration
PC	Fotokromik
PDLC	Polymer Dispersed Liquid Crystal Device
PET	Polietilen tereftalat
PVB	Polivinil bütiral
PZT	Kurşun zirkonat titanat
RGB	Red green blue
SEM	Scanning electron microscope
SPD	Suspended Particle Device
ŞBA	Şekil bellek alaşımları
ŞHA	Şekil hafıza alaşımları
TC	Termokromik
UV	Ultraviyole
VIP	Vakumlu yalıtım panelleri
XPS	Ekstrüde Polistiren

1. GİRİŞ

İnsanlık tarihi boyunca her alanda gereksinim duyulan “malzeme” geçmişten günümüze zenginleşerek bilim ve teknolojinin ilerlemesine katkı sunmuş, insanoğlunun yaşam kalitesinin yükseltilmesini önemli oranda etkilemiştir.

Mimarlık ve malzeme arasındaki ilişki malzemenin gelişimi ile eş zamanlı şekillenmiş ve mimar malzemenin sunduğu olanaklar ile yapıtlarını şekillendirmişlerdir. Bu ilişki Sanayi Devrimine kadar oldukça yavaş ve basit bir gelişim göstermiştir. İnsanoğlu ilk olarak doğada bulduğu malzemeleri olduğu gibi kullanmış, zamanla basit araçlar geliştirmiş ve malzemeyi yeni yapma biçimleri ile şekillendirmiştir. Tuğla yapımı ile ilk yapı malzemesini üreten insanlık için uzun yıllar boyunca taş, toprak, ahşap, sazlık gibi malzemeler yaşamsal önem arz etmiştir. Çağlar boyu kullanılan bu malzemelerin işlenmesi, uygulanması ve tektoniğine dair “bilgi” ustadan çırağa aktarılarak malzemenin özellikleri, sınırlılıkları ve potansiyelleri net bir anlayışa ulaşmıştır.

Endüstri devrimi ile birlikte makinelerin icadı, yapma biçimine olan bakış açısında değişikliklere yol açmış ve malzemedan beklentileri de değiştirmiştir. Malzemeye yüklenen yeni anlamlar ile ham maddeler fiziksel ve kimyasal değişikliklerle yeni formlara bürünmüş ve malzeme çeşitliliği artmıştır. İnsanlığın hammadde ihtiyacı bu süreçten sonra zirveye ulaşmış mevcut kaynakların aşırı tüketimi beraberinde farklı sorunlar getirmiştir. 20. yüzyılın sonlarında, bilinçsiz malzeme/enerji kullanımı ile oluşan atık sorunu ve sera gazlarının etkisi ile çevre sorunları baş göstermiş, bu bağlamda ki küresel sorunları azaltmak için bir “bakış açısında” değişikliğe gidilmesinin gerekliliği de fark edilmiştir. Bu farkındalık yenilikçi ve yüksek performanslı malzeme anlayışını da beraberinde getirmiştir.

Teknolojinin 21. yy’daki hızlı gelişimi, yenilikçi ve yüksek performanslı malzeme çalışmalarını da hızlandırmış ve akıllı malzemelerin geliştirilmesi ve kullanım alanlarının yaygınlaşmasını sağlamıştır. Akıllı malzemeler; sadece yapım aşamasında gerekli problemleri çözen bir araç değil, kullanım süresi boyunca da faydalı ve nitelikli dönüşümler yaparak ortam şartlarına uyum sağlayan, uyarlanabilen malzemelerdir.

Mimarlık disiplininde malzemeye getirilen bu yeni tanım ile çevre şartlarıyla mücadele eden yapı anlayışı yerini çevre şartlarına uyum sağlayan yapı anlayışa bırakmıştır.

Malzeme bilimi alanında yaşanan gelişmeler sonucunda tüm tasarım alanlarında olduğu gibi mimarlık disiplininde de “malzemenin” rolü paradigmatik bir dönüşüm ve değişim geçirmektedir. Başlangıçta, var olan özellikleri ile tasarımlara biçim veren malzeme, gelinen bu aşamada tasarımın en önemli bileşenlerinden biri olmuştur. Tasarımcı artık malzeme ile tasarım yapmak ile kalmayıp, aynı zamanda malzemeyi de tasarlama fırsatı bulmuştur.

Zamanın gereksinimlerine cevap veren, kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılayan yapılar tasarlamak için bu teknolojilerin mimari çevre üzerindeki potansiyellerini anlamak büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, bu çalışma, malzeme bilimindeki gelişmelerin mimarlık disiplini üzerindeki etkilerine odaklanmaktadır. Bilim ve teknoloji alanındaki gelişmelerin malzeme biliminde yol açtığı değişimler neticesinde geliştirilen “akıllı malzemeler” son yıllarda mimarlık gündemine yerleşmiş olan “sürdürülebilirlik” kavramı çerçevesinde örnekler ışığında ele alınmıştır.

Araştırmanın amacı

Bu çalışmada “malzeme ve mimarlık ilişkisi” ele alınmış, malzeme bilimindeki devrimsel nitelikteki gelişmelerin mimarlık disiplini üzerindeki etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Özellikle malzemede alışlagelmiş anlayışın dışında ortaya konan akıllı malzemelerin mimarlıktaki işlevselliği irdelenmiştir. Bu malzemelerin tasarım-üretim-kullanım sürecinde yapılarda sergilediği performansların neler olabileceği konusunu örnekler ışığında incelenmiştir. Günümüzde kullanılan geleneksel yapı malzemelerine alternatif çözümler olabilecek “akıllı malzeme”ler kullanım amaçlarına göre sınıflandırılarak yapı endüstrisine olası katkıları tartışılmıştır.

Araştırma sorusu ve hipotezi

Araştırma “21. yy’da bilim ve teknoloji alanında yaşanan gelişmelerin malzeme biliminde ne gibi değişimlere sebep olduğu ve bu değişimlerin mimariyi şekillendirmede kullanılan malzemeler için ne gibi alternatif çözümler ve katkılar sağlayabileceği” sorusu etrafında

detaylandırılmıştır. Bu çerçevede “Malzeme bilimindeki gelişmeler ve özellikle akıllı malzemeler mimarlık alanında paradigmatic değişimlere yol açmaktadır.” hipotezi sorgulanmıştır. Çalışmanın temel araştırma sorusunun cevaplanabilmesi için yapılan alan yazın taraması ile sırasıyla şu alt araştırma soruları da araştırılmıştır.

- Geleneksel malzemelerin üstün ve zayıf yönleri nelerdir?
- Geleneksel malzemelerin mimarlıktaki kullanımı teknolojik gelişmelerle nasıl değişmiştir?
- Akıllı malzemeler geleneksel malzemelere göre ne gibi avantaj ve dezavantajlara sahiptirler?
- Akıllı malzemeler sahip oldukları özelliklere göre nasıl sınıflandırılabilir?
- Akıllı malzemelerin mimaride kullanılabileceği alanlar nelerdir?
- Mimaride kullanılan akıllı malzemelerin üstün ve zayıf yönleri nelerdir?
- Mimaride kullanılan akıllı malzemeler gösterdikleri performans seviyelerine göre nasıl sınıflandırılabilir?
- Mimaride kullanım alanları göz önünde bulundurulduğunda akıllı malzemelerin geleneksel malzemelere kıyasla performansları değerlendirilebilir mi?

Araştırmanın önemi

Bu araştırma bu yüzyılın üretim ihtiyaçlarını karşılayan yenilikçi malzemelerin mimarlık disiplinde üstlendiği rolleri ve sahip oldukları potansiyelleri görmek açısından değerlidir. Yüksek performans özelliklerine sahip akıllı malzemelerin mimarlığa getirdiği yeniliklerin incelenmesi, mimaride kullanılan akıllı malzeme örneklerinin sınıflandırılarak analiz edilmesi, alışlagelmiş yapı malzemelerine alternatif çözümlerin varlığının sorgulanıp belgelenmesi ve son gelişmelerin akademik bir bakış açısı ile literatüre aktarılması önemlidir.

Araştırmanın sınırlılıkları

Bu çalışma genel anlamda “malzeme bilimi” ve “mimarlık” çerçevesinde detaylandırılmış ve 21. yüzyılın yenilikçi ve yüksek performanslı özelliklere sahip “akıllı malzemeler” ile sınırlandırılmıştır. Kavramsal altyapının oluşturulmasında malzeme üzerine genel bir

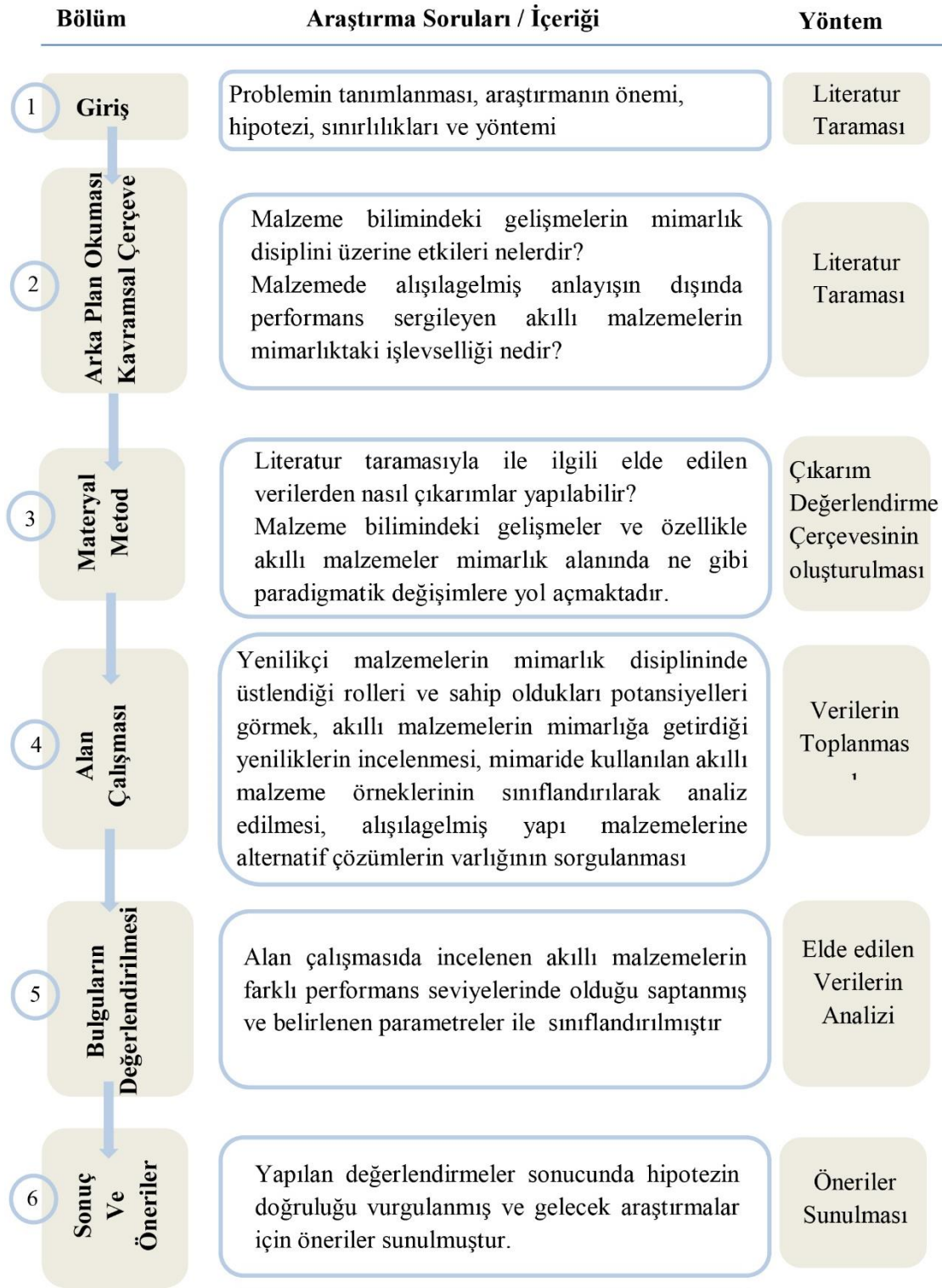
çerçevenin oluşması adına Addington ve Schodek (2002)'in *Smart Material and New Technologies* adlı kitabında akıllı ve ileri malzemeler için yapmış olduğu öneri sınıflandırma kullanılmıştır.

Araştırmanın Yöntemi

Çalışmada, konuya eleştirel bir bakış açısıyla yaklaşılmasını olanaklı kılması, konunun derinlemesine sorgulanmasını sağlayan bir yöntem olması ve veri toplama araçlarının çalışmaya esneklik kazandırması gibi sebeplerle yöntem olarak nitel bir araştırma yaklaşımı benimsenmiştir. Konu ile ilgili birincil ve ikincil kaynaklara ulaşılarak kuramsal bir çerçeve belirlenmiş, ardından malzeme konusunda yapılan araştırma makalelerinde ve malzeme üreticilerinin web sayfalarında yayınlanan uygulama örnekleri bir taksonomi ile irdelenmiştir.

Çalışma temel olarak 6 bölümden oluşmaktadır (Şekil 1.1).

- Birinci bölümde; araştırmanın amacı, önemi, hipotezi, sınırlılıkları ve yöntemi açıklanmış,
- İkinci bölümde; geçmişten günümüze yapı malzemeleri alanındaki gelişmeler incelenerek kavramsal bir çerçeve çizilmiş,
- Üçüncü bölümde; materyal ve metod detaylandırılmış,
- Dördüncü bölümde, mimarlıkta kullanılan akıllı malzemelere odaklanarak araştırma verileri toplanmış,
- Beşinci bölümde, verilerin değerlendirilmesi ile elde edilen bulgular tartışılmış,
- Altıncı bölümde ise, yapılan değerlendirmeler sonucunda araştırma sorusu cevaplanarak gelecekte yapılacak çalışmalar için öneriler sunulmuş ve çalışma tamamlanmıştır.



Şekil 1.1. Tez akış şeması



2. LİTERATÜR TARAMASI VE KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Yaşanılan çevre üzerindeki problemlere doğadaki potansiyellerden faydalanarak çözümler sunan akıllı malzemelerin mimarideki performanslarının sorgulanıp, değerlendirilmesi kapsamında başlatılan bu çalışmanın ilk aşaması hem malzeme gelişimi üzerine bir arka plan oluşturması, hem de akıllı malzemelerin entegre edildiği yapı malzemelerinin güncel durumunun anlaşılabilmesi amacıyla Addington ve Schodek “*Smart Materials and New Technologies*” adlı kitabında malzeme alanındaki güncel gelişmeleri dikkate alarak ileri ve akıllı malzemeler için yapmış olduğu öneri sınıflanmadan faydalanılarak, günümüzde yaygın olarak kullanılan yapı malzemeleri incelenmiştir. Bu malzemelerin özellikleri, kullanım ölçütleri ve alanları, avantaj ve dezavantajlarına yer verilerek malzemede gelecekte beklenen performansa değinilmiştir.

Ayrıca akıllı malzemelerin tanımı, türleri, kullanım alanları ile mimarlık ve akıllı malzeme ilişkisi incelenmiştir. Yapılan tüm bu araştırmalar tezin alan çalışması için bir altlık oluşturmuştur.

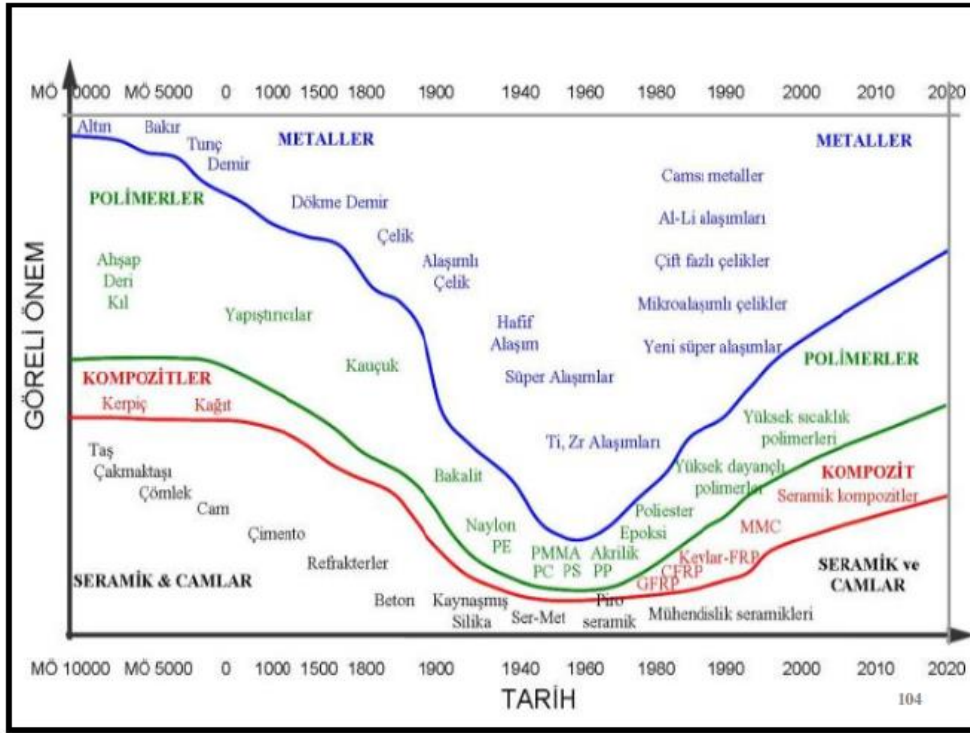
2.1. Malzeme Gelişimi Üzerine Bir Arka Plan Okuması

Dünyayı idrak ve inşa etmenin pek çok yolu, mimarlık-mühendislik pratikleri ve onu biçimlendiren eylemler, malzemeler çevresinde oluşmaktadır. Malzeme; insanlık tarihi boyunca her alanda gerek duyulan ve geçmişten günümüze zenginleşerek insanlığın konforunu arttıran bir değer olarak şekillenmiştir.

Tasavvur edilen her türlü yapının en önemli ögesi olan malzeme ve malzemenin çatkısını şekillendiren tektoniğidir. Bu nedenle malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyi bilinmesi, o malzemeye en uygun tektoniğin seçimi önemlidir. Bununla birlikte, bilimsel ve teknolojik gelişmeleri ile gelişen yenilikçi üretim biçimleri de malzemenin/malzeme kullanımının çeşitliliğini arttırmış ve malzemelerin tarihsel gelişimi de bu alanda geline aşamayı görebilmek için önemli bir arka plan oluşturmuştur.

Malzeme, medeniyet öncesi çağlardan beri devirlere ismini verecek derecede büyük öneme sahip olmuştur. Tarihsel olarak toplumların ilerlemesi, bu çağların gereksinimlerini

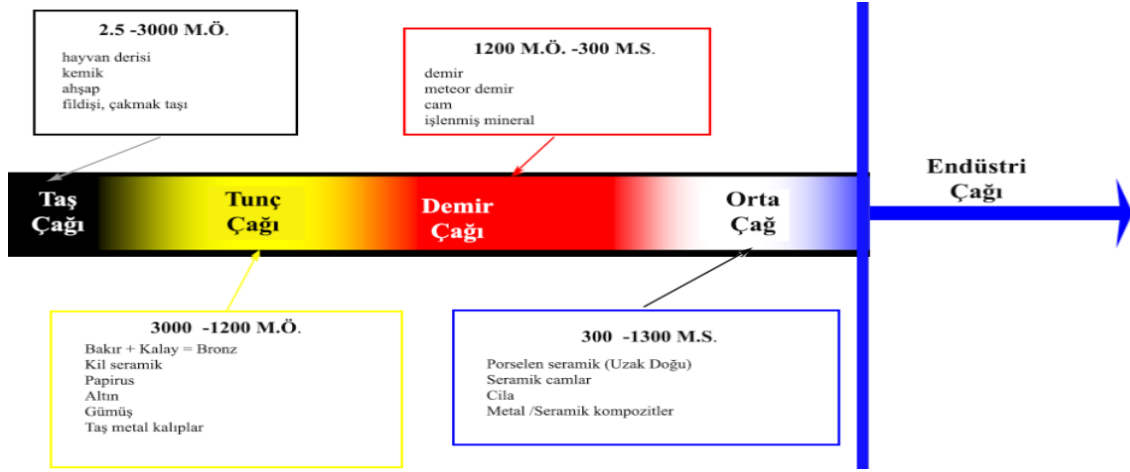
karşılama için geliştirilen malzemeler ile yakından ilişkilidir. Bu sebeple medeniyetler; Taş Devri, Bronz Çağı, Çelik ve Plastik Çağı gibi malzeme gelişiminin seviyesine göre adlandırılmıştır (Gupta, 2015:1). Malzemelerin tarihsel gelişimi Şekil 2.1’de gösterildiği gibi özetlenebilir.



Şekil 2.1. Malzemelerin tarihsel gelişimi (URL-1).

İnsanlık tarihinin en uzun devri olarak bilinen Taş Devri’nde insanlar doğada bulunan malzemeleri işlemeden, doğal haliyle kullanmışlardır. Zamanla taşı yontarak; çakmak taşı, kemik ve ağaçlardan yapılan kesici ve delici aletleri geliştirmişlerdir. M.Ö. 3000 yıllarında maden bakımından zengin cevherlerden metal üretme yaygınlaşmış ve Tunç Çağı başlamıştır. Maden devrinin son evresi olarak bilinen Demir Çağı, demir madeninin bulunması ile birçok alanda gelişim ve kolaylık sağlamıştır. Zamanla geliştirilen teknikler sayesinde doğal malzemeler (ahşap, taş gibi) şekillendirilmiş ve seramik üretimi başlamıştır (Bechthold ve Weaver, 2017). Şekil 2.2’de malzeme alanında tarih öncesi dönemlerde yaşanan gelişmeler gösterilmiştir.

Tarih evvelinden ilk çağa kadar olan zamanda doğal haliyle kullanılan malzemeler, orta çağda bir gelişme görülmezken, orta çağdan sanayi devrimine kadar doğal malzemenin farklı strüktür ve formlara bürünmesiyle kullanılmıştır.



Şekil 2.2. Endüstri Devrimi öncesinde malzeme alanında yaşanan gelişmeler (URL-2).

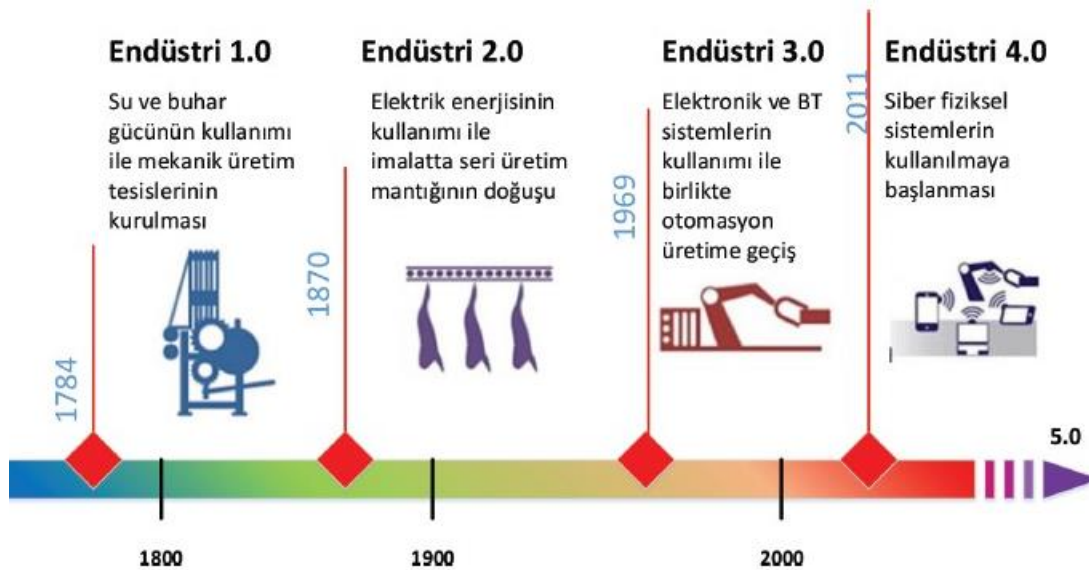
18. Yüzyılda Avrupa’da bilim ve teknik alanında gelişmelerin yaşanmasına öncü olan Endüstri Devrimi, James Watt’ın 1763’de buhar makinesini bulması ile başlamıştır (Vries, 2008). Buhar gibi yeni bir güç kaynağının kullanımı ve makineleşme sayesinde üretim yapısında ve ekonomide köklü değişimler meydana gelmiştir. Buharlı tren ve geminin icadı; demiryolu ve denizyolu ulaşımında kullanılması büyük kolaylıklar sağlamış ve ticaretin gelişmesine önemli derecede katkıda bulunulmuştur. Bu dönemdeki en önemli teknik gelişmelerden biride kaliteli ve yüksek miktarda çelik üretimini sağlayan yüksek fırınların geliştirilmesidir. Böylece yapı malzemeleri ve teknikleri çeşitlenmiş, malzeme teknolojisi gelişmiştir (Yurttaş, 2009).

Buhar makinesi, kömür, çelik ve tekstil sektörünün ön planda olduğu sanayinin ilk aşaması Birinci Sanayi Devrimi olarak adlandırılmıştır. 19. Yüzyılda elektrik enerjisinin, petrol, doğalgaz gibi akaryakıt kaynaklarının kullanımı, elektrikli ve benzinli motorların geliştirilmesi, otomobil, uçak ve benzeri araçların icadı gibi ilerlemeler İkinci Sanayi Devrimi olarak değerlendirilmiştir. Bu dönemde makinelerin kapasitelerinin arttırılması sonucu seri üretime geçilmiştir (Freeman ve Soete, 1997).

Üçüncü Sanayi Devrimi, 1970 yılından itibaren 2. Dünya Savaşı sonrası bilgisayar teknolojilerindeki gelişmelerin makine sistemine entegre edilmesi olmuştur. Dijital devrim olarak da adlandırılan bu dönemde bilgisayarların işlem gücünün hızla artması ile insan gücüne duyulan ihtiyaç azalmış, robotik endüstri baş göstermiştir. Sentetik malzemeler, bilgisayar teknolojisi, mikro-elektronik teknoloji, fiber optikler, tele-kombinasyon, biyo-genetik ve lazer teknolojisi bu dönemin kayda değer buluşları olmuştur (Kagermann,

Wahister ve Helbig, 2013:13-14). Bu dönemdeki en önemli gelişmelerden biri de kaynakların hızla tüketilmesi ve ekosistemdeki geri dönüşümsüz hasarların fark edilmesi sonucu “sürdürülebilirlik” kavramının gündeme gelmesidir. Her ne kadar nükleer enerji kullanımı bu dönemde ortaya çıkmış olsa da, yenilenebilir enerji kaynaklarının tercih edilmesi ve enerji tüketiminin teknolojik olanaklar ışığında minimuma indirilmesi sağlanmaya çalışılmıştır (Frieden, 2008). Bu gerçeklikle başa çıkmak için her geçen gün yeni stratejiler geliştirilmektedir.

Günümüzde ise, 2011 yılında ortaya atılan ve endüstri devrinin dördüncü fazı olarak nitelendirilen süreç yaşanmaktadır. Bilgi teknolojisinin şekillendirdiği üçüncü faz, yerini akıllı üretimlere, üç boyutlu yazıcılara ve otonom araçlara bırakmıştır. Bu dönemde makinaların insan gücüne gereksinim duymaksızın kendi kendini üretme, denetleme ve iyileştirme gibi otonomik süreçlere sahip sistemler olacağı düşünülmektedir. Bu vizyonun gerçekleşmesinin yakın gelecekte olacağı beklenmektedir (Witkowski, 2017:768). Şekil 2.3’de endüstri devriminin dört evresi özet olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Endüstri devriminin tarihsel gelişimi (Tunçel, S., Candan, Z., ve Satır, A. 2017).

Tüm bu gelişmeler bağlamında, “malzeme” alanında yaşanan gelişmelerdeki en önemli etken “teknoloji” olmuştur. Aslında teknoloji alanında kaydedilen bütün gelişmeler farklı alan ve disiplinlerde olsa bile temelinde kaydedilen köklü bir değişime (Sanayi Devrimi gibi) dayandırılmıştır. Malzeme alanındaki sıçrayış Sanayi Devrimi ile ivme kazanmış ve geliştirilen makinalar, bilgi teknolojileri sayesinde “malzeme” yeniden yorumlanmıştır.

Günümüzde geline bu aşamada “tasarım alanında malzeme biliminin rolü” bir dönüşüm geçirmektedir. Dijital tasarım ve üretim teknolojileri ile malzemenin “sadece yapım aşamasında gerekli problemleri çözen bir araç olmadığını” vurgulayan Bechthold ve Weaver (2017) aynı zamanda malzeme mekanizmalarının anlaşılması ve denetlenmesi ile kullanımı sırasında da işlevlerine yardımcı olacak faydalı ve nitelikli değişimler gerektiğinin altını çizmektedir. Bu düşünce zamanın çevresel sorunlarına çözüm olacak ‘akıllı malzeme’lerin gelişmesine ön ayak olmuştur. Addington ve Schodek “*Smart Materials and New Technologies*” adlı kitabında malzeme alanındaki güncel gelişmeleri dikkate alarak ileri ve akıllı malzemeler için öneri bir sınıflandırma yapmıştır (Çizelge 2.1.).

Çizelge 2.1. İleri ve akıllı malzemeler için öneri sınıflandırma (Addington ve Schodek, 2005:30)

Kategori	Malzemenin Temel Özelliği	Sistem Davranışı
Geleneksel Malzemeler Doğal Malzemeler İşlenmiş Malzemeler	Malzeme var olan özelliğini sergiler	Malzeme sınırsızdır ve performans özelliklerini sergiler.
Yüksek Performanslı Malzeme Kompozit Polimerler	Malzeme özel bir amaç için tasarlanır.	
Akıllı Malzemeler Nitelik Değiştiren Enerji Dönüştüren	Çeşitli uyaranlara akıllıca cevap vermek için tasarlanır.	Dış uyaran sensör ve aktör olarak cevap veren akıllı malzemelerdir.
Akıllı Birleşimler	Farklı konumda uyarana karşı verilen cevaplar	Çoklu taleplere karşı verilen kompleks davranışlar
Akıllı Çevre	Çevreler malzeme ve sistemlerin harekete geçtiği aktif davranışlar ve akıllı cevaplar tarafından tasarlanır.	Malzemenin özelliklerinin etkin hesaplamalı bir etki aracılığıyla birleşimi

Bu çalışmanın bir sonraki bölümünde, yapılan bu sınıflandırma üzerinden “geçmişten günümüze yapı malzemeleri” alanındaki gelişmeler irdelenmiş ve gelişen teknolojinin malzemeye kattığı yeniliklerden bahsedilmiştir.

2.2. Geleneksel Malzemeler

Bölgenin coğrafi konumuna göre değişiklik ve çeşitlilik gösteren, “yerel malzemeler” olarak da ifade edilebilecek geleneksel malzemeler, form ve fonksiyona bağlı olarak şekillendirilmiş malzemelerdir. Fakat küresel pazar, gelişen teknoloji ve ucuz ulaşım tasarımcılara çok daha geniş bir malzeme yelpazesinden seçim olanağı sunmuştur

(Christopher, 2011). Böylece geleneksel malzemeler de çeşitlilik göstermiş ve iki kategoride incelenmiştir.

- Doğal Malzemeler
- İşlenmiş Malzemeler

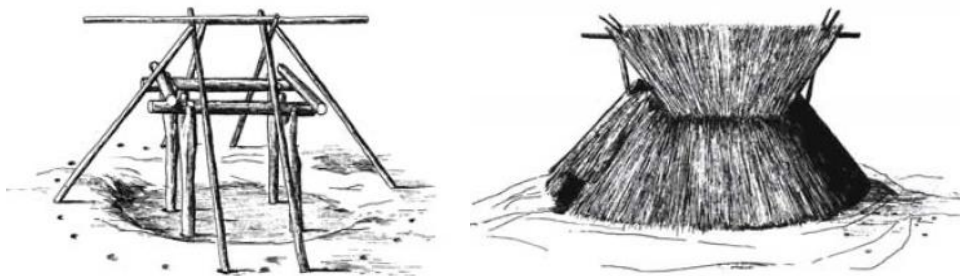
2.2.1. Doğal Malzemeler

Doğal malzeme, bitkilerden, hayvanlardan veya topraktan elde edilen bir üretim veya fiziksel maddedir. Bu malzemeler başta yapı sektörü olmak üzere birçok alanda kullanılmıştır (URL-3). Coğrafi konuma göre farklılık gösteren bu malzemeler; ahşap, taş, saman balya, toprak, kireç ve kenevir gibi çeşitlilik gösterebilir (Muazu ve Alibaba, 2017). Bu çalışmada ise doğal malzeme olarak alanında vazgeçilmez olan ve pek çok alanda kullanılan “ahşap” ve “taş” detaylı olarak ele alınmıştır.

Ahşap

Yaygın kullanım alanına sahip ahşap malzeme hemen hemen tüm dönemlere tanıklık etmiştir. Gelişen teknoloji ile her dönemde yeniden yorumlanabilen bu malzeme, ağacın kabuk altındaki kısmından elde edilmekte ve yüzleri aşkın türü ile geniş bir yelpaze sunmaktadır (Bozkurt, 1987).

Kullanımı çok eskilere dayanan ahşap malzeme, Paleolitik Çağ’ın ilk dönemlerinden beri insanların barınma ve çeşitli aletlerin üretiminde kullanılmıştır (Şekil 2.4). İlk başlarda doğada bulunduğu gibi kullanılan ahşap; bakır aletlerin geliştirilmesi ile yeniden bir anlam kazanmış ve kullanılan aletler sayesinde işlenerek çeşitli biçim ve boyutta üretilebilmiştir.



Şekil 2.4. Tarih öncesi ahşap barınak (Deplazes, 2005:107)

Zamanla geliştirilen teknikler ahşap malzemenin kullanım alanını genişletmiş ve özellikle endüstri alanında yaşanan gelişmeler ile birlikte yeni nitelikler kazanmıştır. Yeni teknolojiler kullanılarak yeniden yorumlanabilen ahşap, halen pek çok alanda yaygın ve etkin olarak kullanılmaktadır. Günümüzde, bina yapımından mobilyacılığa, üst yüzey kaplama işlerinden kâğıt yapımına, kontrplak, ahşap bazlı levha malzemelerin elde edilmesinden, suni ipeğe, fotoğraf filmlerinden patlayıcı maddelere ve daha birçok maddenin hammaddesine kadar çok farklı sektörde ve farklı amaçlarla kullanılmaktadır.

Mimarlık özelinde düşünüldüğünde ise, ahşabın binlerce yıldır çok yönlü ve kullanışlı bir yapı malzemesi olarak inşaat sektöründe var olduğu görülmektedir. İlk çağ insanının barınma gereksinimini sağlayan doğal yapı malzemesi zamanla saz, kamış gibi malzemelerle kendine dayanak bularak ahşap yığma ve karkas yapı sistemlerine geçiş sağlanmıştır. Endüstri devrimi sonrası malzeme alanında yaşanan gelişmelere paralel olarak ahşap esaslı kompozit malzemelerin geliştirilmesi ile hem mekanik hem de boyutsal sınırlandırmalar ortadan kaldırılmıştır. Özellikle plastik esaslı tutkalların ahşap ile uyumlu çalışması ahşap konstrüksiyonların oluşmasına olanak sağlamıştır. Böylece istenilen formun uygulanabilmesi ve geniş açıklığın geçilmesi sağlanarak, ahşap malzeme yeniden yorumlanmış ve kullanım alanı genişlemiştir (Birer ve Bostancıoğlu, 2004).

Şekil 2.5’da görülebileceği gibi günümüzde ahşabı sadece geleneksel bir yapı malzemesi olarak değerlendirmek doğru değildir. Bu doğal malzeme üzerine fiziksel ve kimyasal işlemler uygulanabilmekte ve çağdaş bir yapı malzemesi haline gelmektedir. Çevre üzerinde pozitif etkileri ve ekolojik değeri yüksek olan bu malzemenin bu kadar çok tercih edilmesinin nedenleri şunlardır (Dost ve Botsai, 1990) :

- Sağlıklı olması (mekandaki nem dengesini sağlaması)
- Yüksek ısı yalıtımına sahip olması
- Uzun süre kullanım imkanı sunarak ekonomik olması
- Isıya karşı genleşmemesi
- Ses izolasyonun yüksek olması
- Ekolojik ve çevre dostu olması (üretimi sırasında saf oksijen salması)
- Yangına karşı direncinin yüksek olması
- İmalatı sırasında yüksek teknoloji gerektirmemesi

- Yüksek taşıma kapasitesine sahip olması
- Kendi kendini temizleyen bir malzeme olması



Şekil 2.5. Ahşap malzemenin kullanım tekniklerine örnekler (URL-4)

Yangın dayanımının yüksek olmasına karşın kolay tutuşan ahşap, çabuk çürüme, olumsuz hava koşullarının etkisi ile çeşitli haşeratlar tarafından zarar görmesi ve su ve neme karşı dayanıksız olması dezavantajları arasında sayılmış, ancak gelişen modern teknoloji sayesinde malzemenin özellikleri iyileştirilmiştir. Bahsedilen bu zararların tamamen ya da kısmen engellenebilmesi mümkün olmuş ve ahşabı tahrip eden her türlü biyotik ve abiyotik zararlar geliştirilen uygun biçimde çeşitli kimyasalların ahşabın bünyesine emdirilmesi ile korunması amaçlanmıştır (Usta, 2004).

Sonuç olarak; ahşap, sahip olduğu pozitif özelliklerden dolayı, insanoğlunun vazgeçilmez bir parçası olmuş ve hayatın her alanında kendine yer edinmiştir. Tamamen doğal bir

malzeme olması sebebiyle, üretim, kullanım ve tekrar geri dönüştürme aşamalarında doğaya en az zarar veren ekolojik ve sürdürülebilir bir malzeme olmuştur. Bu malzemenin yoğun tüketimi ve olumsuz etkilerinden dolayı kullanımından vazgeçilmiş gibi görülse de geliştirilen mühendislik çözümleri sayesinde olumsuz etkileri ortadan kaldırılmıştır.

Taş

İnsanlık tarihi kadar eski olan taş, ilk çağlarda doğada bulunduğu gibi yada kabaca işlenerek kullanılmış, gelişen teknolojik imkanlara paralel olarak farklı biçim ve amaçlarda kullanılmaya başlanmıştır.

Taşların tarihsel süreçteki farklı özellikteki kullanımı dönemlere Yontma Taş Devri, Cilalı Taş Devri gibi adını vermiştir. Bir zanaat olarak Urartularda başlayan taş işleme tekniği medeniyetler boyunca devam etmiş ve barınak yapımından çakmak taşı üretimine, savaş ve av gereci olan balta yapımından tarım aletlerine, mahsulleri öğütmek için kullanılan değirmenlerden, dini ritüellere ve hatta ticari/sosyal hayatta iletişim aracı olarak (kitabeler, taş yazıtlar) pek çok alanda kullanılmıştır (Taşlıgil ve Şahin, 2016)

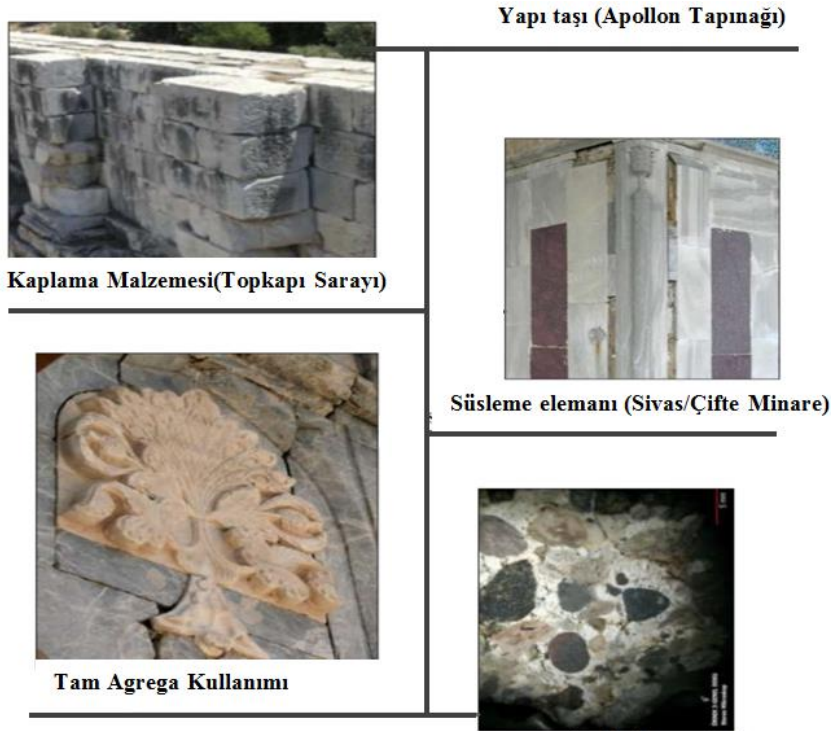
Taş, çeşitli minerallerin bir araya gelmesi ve çok miktarda birikmesi ile oluşan katı maddelere verilen genel bir isimdir. Oluşum şartlarına ve kökenlerine göre çeşitlilik gösteren bu taşların uygulama alanları belirlenirken öncelikli olarak fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin bilinmesi ve aşağıdaki verilere göre değerlendirilmesi yapılır (Dal, 2011).

- Homojenlik
- Sertlik
- Yoğunluk
- Geçirimsizlik
- Genleşme
- Yapışabilme kabiliyeti
- Basınç, eğilme, darbe ve aşınma dayanımı
- Renk ve koku

Taşın olumsuz hava koşullarına karşı dayanıklı olması, basınca dayanımının fazla olması ve doğada bol miktarda bulunması, belki de mimaride en çok kullanılan malzeme olmasını sağlamıştır. İlk insanın barınağından günümüze zamanla keşfedilen kullanımları ile zenginleşerek ulaşmıştır. M.Ö. 13. yy da Mısır'da alçı veya kireç harcı ile şekillendirilmiş bloklar şeklinde kullanmış ve Yunan uygarlığının en önemli merkezlerinden biri olan Miken Sarayı'nda çok az şekillendirilmiş taş bloklardan harçsız duvarlar inşa edilmiştir. Bağlama yöntemleri sayesinde, Yunan mabetlerinde, Roma hamamlarında açıklıkların geçilmesi için kullanılan kubbelerde kullanılmıştır. Geliştirilen teknolojik aletler sayesinde taş şekillendirilmiş ve parçalı elemanlar olarak neredeyse tüm yapılara girmiştir (Berge, 2009:110-111), (Resim 2.1).



Resim 2.1. Taş malzemenin zamanla şekillenmesi (Berge, 2009:111)



Şekil 2.6. Taş malzemenin mimaride kullanım alanları (Milli Eğitim Bakanlığı, 2013).

Selçuklu ve Osmanlı dönemindeki eserler taşın kullanımı açısından literatüre giren örneklere sahip olmuştur. “Taş”, yapıda strüktürel malzeme, kaplama malzemesi, süsleme ve agrega olarak çeşitli fonksiyonlarda ve seviyelerde kullanılmıştır (Şekil 2.6).

21. yy da daha çok kaplama, döşeme ve dekorasyon amaçlı kullanılan taş; yerine çelik, beton, cam, tuğla gibi yapı malzemelerinin tercih edilmiş olması ile önemini kaybetmiş gibi görünse de geçmişten bugüne ulaşan birçok yapıt ömürlerini taş malzemenin özelliklerine borçludur. Sonuç olarak doğal taş, insanoğlunun kullandığı en eski malzeme olarak günümüze ulaşmıştır. Gelişen teknolojik imkânlar, taşın da kullanım alanına yenilikler getirmiştir. Endüstri devrimi ile geliştirilen yeni malzemeler taşın kullanımını önemli derecede azaltsa da sahip olduğu birçok avantaj ile çevre ve insan sağlığı üzerindeki öneminden dolayı geleceğin malzemesi olarak değerlendirilmiştir.

2.2.2. İşlenmiş malzemeler

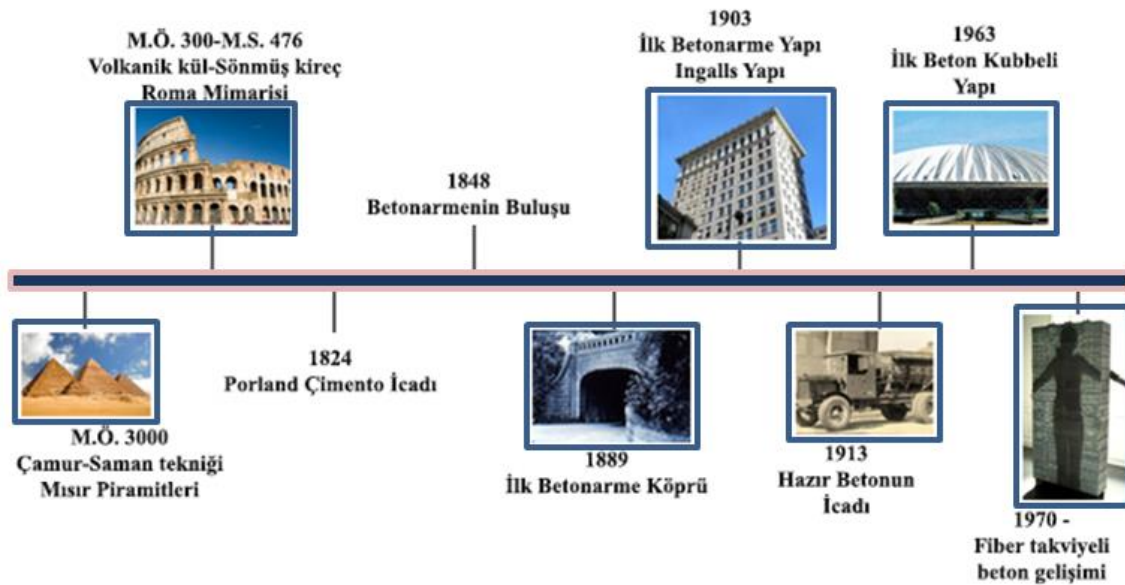
Ham maddenin çeşitli işlemler sonucu istenilen özellikte üretilmesi için geçirdiği katma değerli bir sürece verilen addır. Teknolojinin sunduğu imkanlar malzemeyi işleme imkanı sunmuş ve kullanma fırsatı vermiştir. Bu bağlamda,

- Beton
- Çelik
- Alüminyum incelenmiştir.

Beton

Beton, düşük maliyeti, bulunabilirliği, uzun süre dayanıklılığı ve zorlu hava şartlarına karşı sürdürülebilir olduğundan dünyadaki en eski ve en yaygın inşaat malzemesi kategorisinde değerlendirilmektedir (Li, 2011:1). Beton; farklı şekillerde biçimlendirilebilen çimento, agrega ve sudan oluşan sıvı bir karışımdır (Beall, 2004:2). Hacminin %75’ini agregalar - kum veya kırılmış kaya parçaları, geri dönüştürülmüş beton molozlar gibi- malzemeler meydana getirmektedir. Bağlayıcı görevi üstlenen çimento ise beton hacminin yaklaşık %7-14’ünü oluşturmaktadır (Tantawi, 2015).

Betonun ilk formunu 5000 yıl önce Mısırlıların piramitleri inşa etmek için kullandığını söylemek mümkündür. Romalılar Colosseum ve Pantheon gibi birçok mimari yapıtı volkanik küle sönmüş kireci katarak elde ettikleri ve “puzolan” ismini verdikleri, modern çimentoya çok yakın, bir malzeme ile yapmışlardır. Modern çimentonun icadı ise 1824 yılında İngiltere’de Joseph Aspdin tarafından öğütülmüş kireç taşı ve kilin fırınlanarak porland çimentonun elde edilmesi ile olmuştur (Newman ve Choo, 2003:4). 1848 yılında J.L.Lambot hidrolik kireç betonun içine demir çubukları ekleyerek bir tekne inşa etmiş ve güçlendirilmiş beton olan betonarmenin buluşunu gerçekleştirmiştir (Radic, Kindij ve Mandic, 2008:19). Bütün bu gelişmelerin ardından ilk betonarme köprü 1848 yılında San Francisco’ da ve ilk 16 katlı bina (Ingalls) 1903 yılında Chincinati’de inşa edilmiştir. 1913 yılında betonun merkezi bir tesiste karıştırılıp, daha sonra şantiyeye taşınması ile oluşan hazır beton fikri beton endüstrisinde önemli bir adım olarak literatüre girmiştir. 1963 yılında Assembly Hall olarak bilinen ilk beton kubbeli spor salonu Illinois Üniversite’sinde inşa edilmiştir. 1970’ lerde fiber takviyeli beton gelişimi ile betonun fiziksel dayanımı artırılmış ve esneklik kazandırılmıştır. (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Betonun zaman içerisindeki gelişim çizelgesi (URL- 5’ den uyarlanmıştır).

Betonun zaman içerisindeki gelişimi mimaride de devrim yaratmıştır. 20. Yüzyıl ortalarından itibaren geliştirilen katkı malzemeleri sayesinde yüksek performanslı beton üretilmiştir. Işığı geçiren, kendi kendini temizleyen, kendi kendine yerleşen, dokuma takviyeli betonlar gibi yenilikçi gelişmeler tasarımcıların ufkunu genişleterek yeni

buluşlara imza atılmasını sağlamıştır. Tüm dünyada betonun hızla yaygınlaşmasının altında yatan şöyle sıralanabilir (Li, 2011:12-14):

- Diğer malzemeler ile kıyaslandığında ekonomik olması
- Yüksek sıcaklığa ihtiyaç duymadan mukavemetini kazanması
- İstenilen kalıplarda farklı konfigürasyonlarda üretilebilmesi
- Çelik gibi malzemeler ile kıyaslandığında üretimi sırasında enerji tüketiminin az olması
- Suyu karşı direncinin yüksek olması
- Yüksek sıcaklığa karşı dayanıklı olması ve ısı depolayabilmesi
- Sanayi atıklarını tüketme yeteneği olması (agrega olarak kullanımı)
- Çelik takviyesi ile çalışabilme yeteneği
- Bakım maliyetlerinin düşük olması

Beton, diğer bağlayıcı malzemeler ile kıyaslandığında gerilme kuvvetinin düşük olması, ağırlığının mukavemetine göre yüksek oluşu, çözünen tuzlar içerebilmesi dezavantajları arasında sayılmıştır. Ancak bugün gelinen teknoloji sayesinde geliştirilen katkı maddeleri ile bu şartlar iyileştirilebilmiştir (Li, 2011:15)

Sonuç olarak, dünyanın en popüler yapı malzemesi olan beton, Romalıların 2000 yıl önce Collesium'u inşa etmesinden bu yana daha dayanıklı hale getirilmeye çalışılmıştır. Bugün gelinen aşamada ise yaşanan çevre problemlerine paralel olarak betonun dünya üzerindeki karbon ayak izini azaltmak için kendi kendini temizleyen, kendi kendine yerleşen, hafif beton gibi akıllı ve yenilikçi bir malzemeye dönüşmektedir.

Çelik

Demir-karbon(Fe-C) alaşımlarının kapsamlı tanımı olan çelik; yüksek sıcaklıkta yakılıp ergitilme işlemi sırasında ortaya çıkan ham demirin işlenmesi ve gerekli katkı maddelerinin katılması sonucu oluşan malzemeye verilen isimdir (Huyett, 2004:4). Yapılan işlemler sırasında demir cevherinin ve katkılarının kimyasal yapısı oluşan çeliğin niteliğini belirlemiş ve çeşitlilik sağlamıştır. Modern dünyanın en önemli ürünlerinden biridir. Yaşamın neredeyse her alanında söz sahibi olan bu malzeme, altyapıdan, ulaşım,

endüstriyel makinelerden inşaata, tüketici mallarından aksesuara ve daha pek çok alanda yerini bulmuştur (Gupta, 2017).

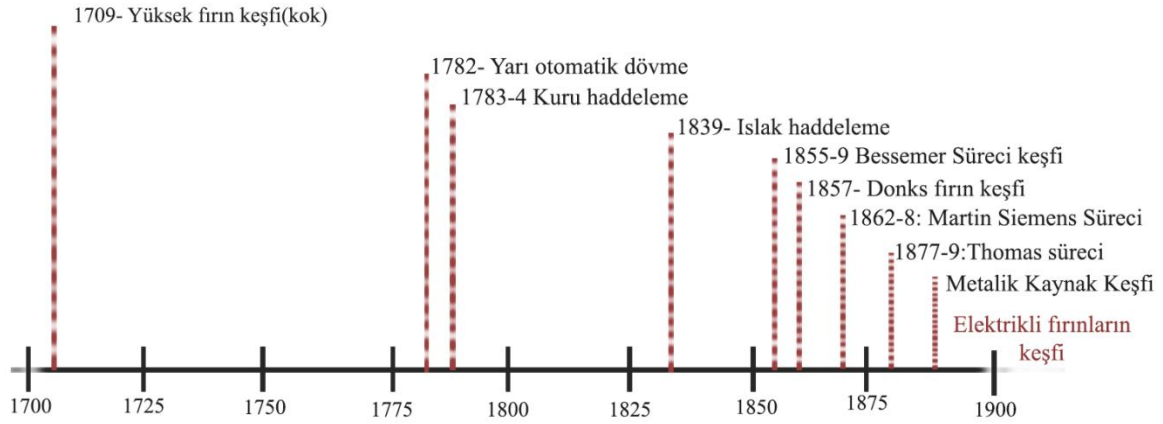
Tarihi yüzyıllar öncesine dayanan demirin kullanımı ilk başlarda alet ve silah yapımında olmuş ve çelik malzemenin çıkışına kadar birçok uygarlığın gelişmesine katkıda bulunmuştur (Spoerl, 2004). 18. yüzyıla gelindiğinde Sanayi Devrimi ile gelişen makineleri kullanan Abraham Darby, verimli yüksek bir fırın ile kok kömürünü yakıt olarak kullanarak demiri işlemeyi başarmıştır. Böylece dökme demir üretim teknolojisi geliştirilerek, çelik çağını başlatan büyük bir buluş olarak kayda geçmiştir (Cudny, 2017). Bu yöntemle inşa edilen ve literatüre giren ilk yapıt İngiltere’de Seven Nehri üzerindeki Coalbrookdale köprüsüdür (Resim 2.2)



Resim 2.2. Coalbrookdale (*Iron bridge*) köprüsü, İngiltere (Cundy, 2017)

Ancak Darby’in yöntemi ile üretilen demir çekme dayanımına karşı çok dayanıklı olmamış ve ince işçilik gerektiren durumlarda kullanılamamıştır. Aslında endüstri devrimini karakterize eden makine çağı, birçok buluşu beraberinde getirmesine rağmen, bu dönemde kaliteli ve ucuz çelik üretimi mümkün olmamıştır. Bu durum demir endüstrisinin geliştirilmesi için gerekli girişimlerin yapılmasını zorunlu kılmıştır. Bu aşamada Henry Cort yeni bir teknoloji geliştirmiş ve haddeleme olarak adlandırılan bu süreçte, sıvı metal karışımı eklenerek yürütülmüş ve iyi kalitede dövme çelik üretimi sağlanmıştır (Ferguson, 2007). Çelik üretiminde daha ileri bir gelişme 1856 yılında Henry Bessemer tarafından geliştirilmiş; tuğla kaplı yüksek fırında sıvı metala alttan hava püskürtülerek elementlerin yakılması sonucu homojen çelik sıvı elde edilerek ve seri çelik imalatı başlamıştır (Tylecote, 1992 aktaran Ferguson, 2007). 1865’de ikinci bir girişim olarak Simens ve

Martin açık hazneli fırınlar ile yüksek sıcaklıkta sıvı hale getirilen metallerden istenilmeyen malzemeler uzaklaştırılarak çelik elde etme yöntemini geliştirmiştir. Sanayi Devriminin ikinci dalgasında elektrik enerjisinin yaygın olarak kullanılmaya başlanması ile birlikte çelik üretiminde de elektrik ısısı kullanılmış ve günümüzde de bu sistem geliştirilerek uygulanmaya devam etmiştir (Spoerl, 2004). (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Çelik malzemenin gelişim grafiği (Bouw, 2009'dan uyarlanmıştır)

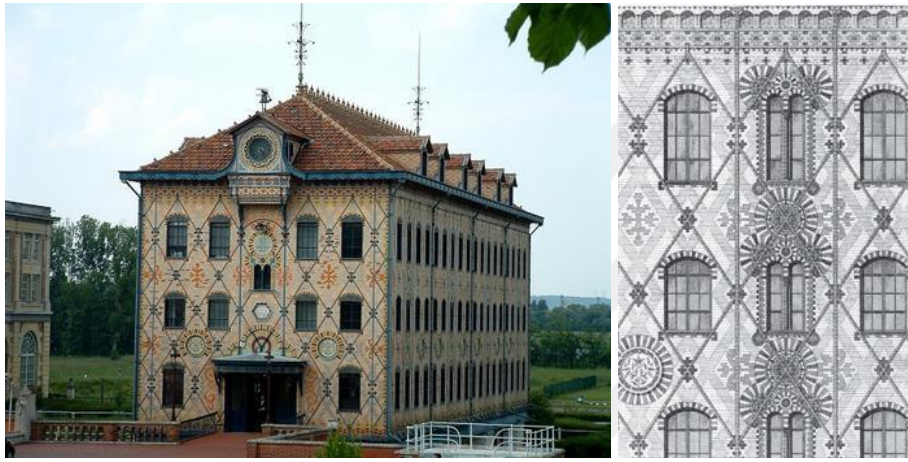
Tüm bu keşiflerinden ardından çeliğin seri üretimi dünyada devrim yaratmıştır. Demiryolları, petrol ve gaz boru hatları, rafineriler, elektrik santralleri, elektrik hatları, gökdelenler, asansörler, metrolar, köprüler, otomobiller, elektrikli ev aletleri, tarım aletleri, türbinler, savaş ve uçak gemileri, cerrahi aletler, vidalar ve akla gelebilecek daha pek çok alanda kullanılmaktadır (Spoerl, 2004).



Resim 2.3. Ditherington Flax Mill, 1797 (URL-6).

Çeliğin yapı malzemesi olarak kullanımı, çeliğim bulunması ile eş zamanlı olmuştur. İlk örnek 1797’ de İngiltere’de ahşap çatısı yanan bir değirmen binasının yeniden çelik strüktür kullanarak inşa edilmesidir (Resim 2.3).

Demir iskeletli yüksek yapıların ilk örneği olarak kabul edilen ve mimar Jules Saulnier tarafından 1871-72 yılları arasında Fransa’da inşa edilen Menier Çikolata Fabrikası çapraz kirişlerle kurulu üçgen kafes tabanlı modern taşıyıcı sistemlerin kullanımı ile mimaride yeni yeni bir dönemin habercisi olmuştur (Resim 2.4) (Deplazes, 2005).



Resim 2.4. Menier Çikolata Fabrikası, 1872 (Deplazes, 2005:114)

19. yüzyıl ortalarından beri pek çok demir alaşımı geliştirilmiş ancak uygulanabilir paslanmaz çelik uygulamaları 20. yüzyılda görülmeye başlanmıştır. Bina cephelerine kullanılmaya başlanması ile korozyona dayanıklı, uzun ömürlü binalar elde edilmiştir (Batdoo, 2008). Çeliğin en dikkat çekici uygulaması, mimarlıkta yeni bir paradigma olarak çığır açan gökdelenlerin yapımına katkıda bulunmasıdır (Resim 2.5).



Resim 2.5. Prada Epicenter Mağazası, Tokyo (J), (Deplazes, 2005:114)

21. yüzyıl mimarisinde çelik; ahşap zemin ve çerçevelerinin bağlantılarında, vidalarında, betonarme malzemenin içine gizlenmiş donatılarda, sıcak haddelenmiş geniş açıklı kirişlerde vb. hemen hemen bütün alanlarda kullanılmaktadır (Ochshorn, 2003). Bu kadar yaygın kullanılmasının gerekçeleri şöyle sıralanabilir (Bilgin, 2001):

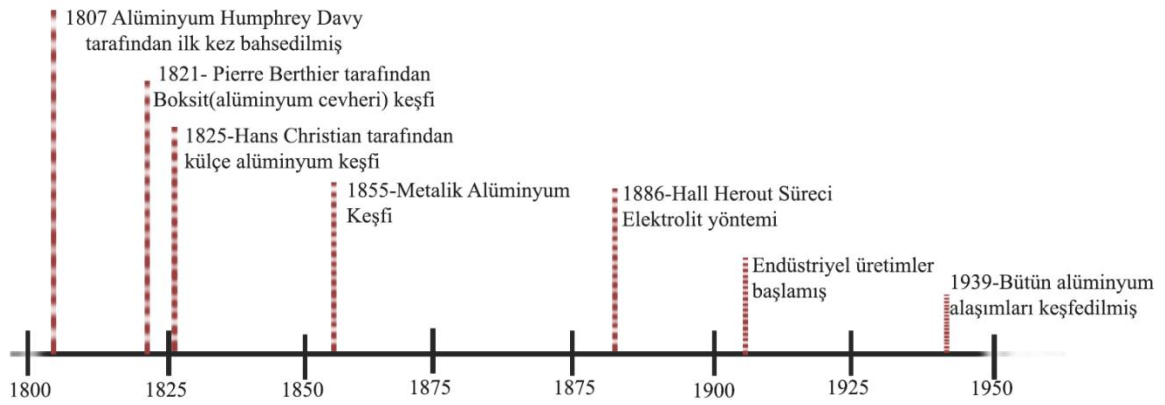
- Yüksek mukavemet oranına sahip olması,
- Homojen bir malzeme olması,
- Süneklik ve sismik direncinin yüksek olması,
- Fabrikasyon kolaylığı,
- Sökülüp, tekrar kullanıma uygun olması,
- Elastisite modülünün diğer malzemelere oranla yüksek olması,
- Pek çok yapı malzemesi ile kullanılabilmesi,
- Tasarım ve uygulama sırasında değişim sunması,
- Dönüşümlü bir malzeme olması,
- Çeşitli birleşim biçimlerine elverişli olması.

Çoğu sektörde olduğu gibi çelik sektörü büyük dönüşümler geçirmiş ve zamanla küresel bir pazar haline gelmiştir. Çelik üretiminin yoğun hammadde-enerji-atık tüketiminden dolayı ‘sürdürülebilir çelik’ kavramı gündeme gelmiş ve küresel rekabete karşı koymak için yenilikçi girişimlerde bulunulmuştur. Hedefler arasında kullanılan enerjiyi en aza indirmek, atıkları dönüştürmek ve en az düzeyde hammadde kullanmak bulunmaktadır. (Lucas ve Valdalhero, 2018:6)

Alüminyum

150 yıllık bir geçmişe sahip olan bu malzeme, yer kabuğunda hammaddesi en çok bulunan metalik element olma özelliğine sahiptir (Ferguson, 2007). Malzemenin varlığından ilk kez bahseden Humpry Davy, alüminyum elementini alümina tuzlarından ayırmanın mümkün olduğunu öngörmüştür. 1821 yılında Pierre Better tarafından boksit adı verilen sert, kırmızımsı, kil benzeri bir malzeme keşfedilmiş böylece en yaygın alüminyum cevheri bulunmuştur. Akabinde 1825 yılında potasyum amalgamın alüminyum klorür ile ısıtılmasıyla metalik alüminyum üretilmiş ve 1827 yılında Alman kimyager Wholer tarafından alüminyum külçe elde edilerek malzemenin hafifliği ve sünekliği kayda

geçmiştir (Müller, 2011:5-7). 1845' e kadar bu yeni malzemenin çoğu özelliği belirlenmiştir. 1855'e gelindiğinde Fransız kimyagerler sodyum kullanarak bir indirgeme işlemi ile metalik alüminyum elde etmiş ve endüstriyel anlamda ilk girişim yapılmıştır. 1886 yılında birbirinden habersiz Charles Martin Hall ve Paul Herout alüminyum üretmek için ucuz bir yöntem olan elektrolitik süreci geliştirilmiştir. Hall-Herout süreci olarak adlandırılan bu yöntem günümüzde de geçerliliğini yitirmemiş ve alüminyum endüstrisinin başlangıç tarihi olarak kayda geçmiştir (Şekil 2.9). Bu keşifler akabinde teknolojik yeniliklere teşvik etmiş ve alüminyum alaşımları büyük ölçekte kullanılmaya başlanılmıştır (Mazzoloni, 2003:2).



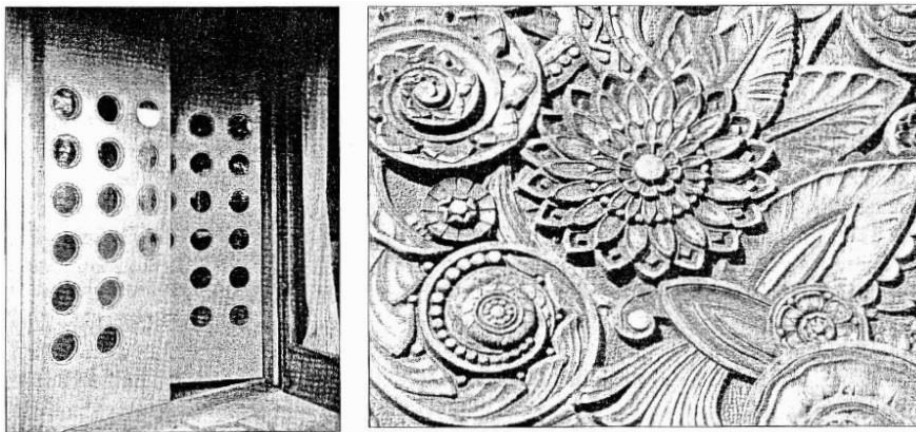
Şekil 2.9. Alüminyum malzemenin gelişim çizelgesi (Mazzoloni, 2003:2 uyarlanmıştır)

Bir mühendislik malzemesi olarak alüminyum sağladığı üstün özellikler nedeniyle, kullanımı her geçen gün artmış ve kendine yeni alanlarda yer edinmiştir. Müller (2011) *“Introduction to Structural Aluminium Design”* adlı kitabında alüminyumun en önemli özelliklerini ve kullanım alanlarını şöyle sıralamıştır (Müller, 2011:14-15):

- **Hafiflik:** Alüminyum ağırlığı çeliğin ağırlığının üçte biri kadardır. Bu özellik ulaşım endüstrisi ve yapı sektörü başta olmak üzere önemli bir etken olmuştur.
- **Korozyon direnci:** Havaya maruz kalan alüminyum korozyona karşı kendi koruyucu katmanını oluşturmuş ve yüksek korozyon direnci sağlamıştır. Direncin yetersiz olduğu durumlarda boya ya da yalıtkan bant uygulaması yapılarak iyileştirilmiştir. Bu üstün özelliğinden dolayı ulaşımdan sanayiye, inşaat endüstrisinden ev aletlerinin imalatına kadar birçok alanda tercih edilmiştir.
- **Fabrikasyon kolaylığı:** Alüminyum malzemenin yumuşaklığı nedeniyle çeşitli form ve biçimlerde imal edilebilmiş ve bükülme, kesme, çizilmeye karşı kolay işlenebilmiştir.

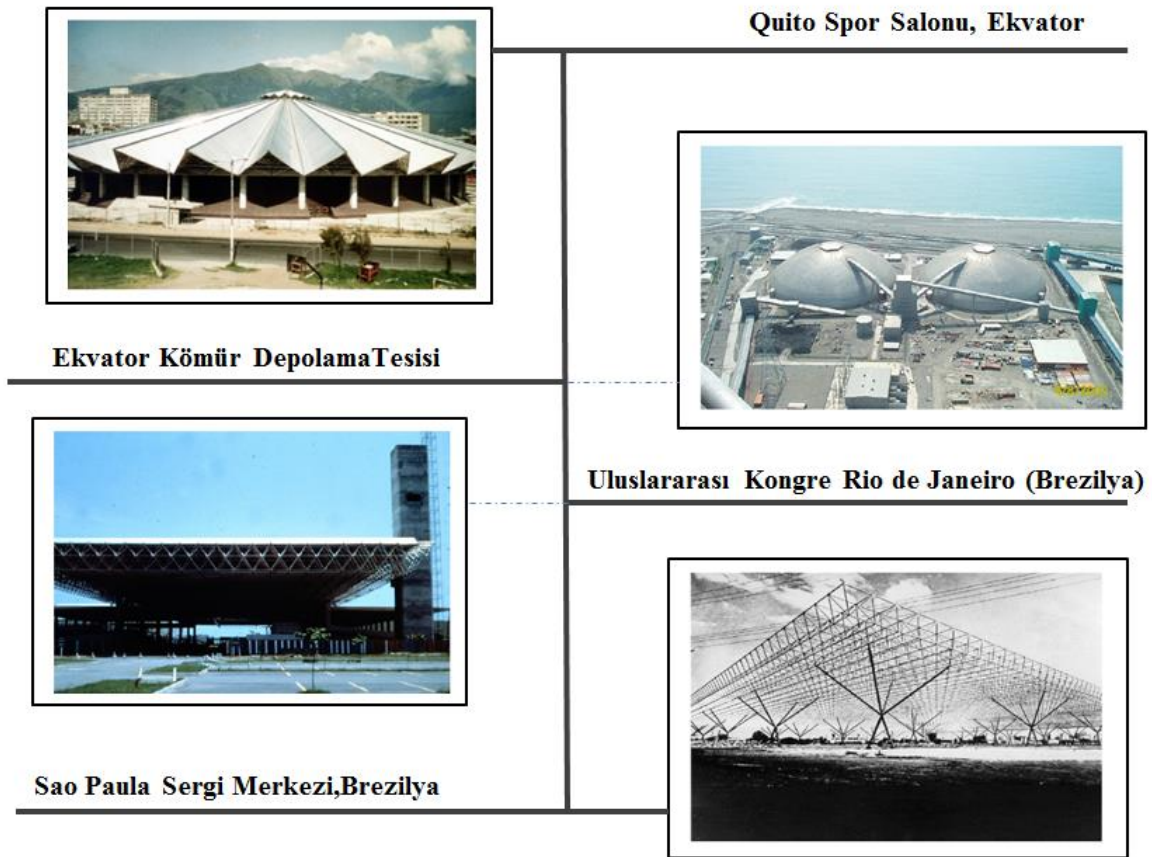
- Toksikolojik reaksiyona girmemesi: Alüminyum zehirsiz ve kokusuz bir malzemedir. Pürüzsüz metalik yüzey kolayca temizlenebilmiştir. Genellikle gıda kutuları ve paketlenme, mutfak eşyaları ve gıda endüstrisinde yaygın kullanılmıştır.
- Manyetik olmaması: Manyetik olmayan özneliği ile alüminyum manyetik pergellerde, antenlerde ve bilgisayar disklerinde kullanılmıştır.
- Elektrik iletkenliği: Alüminyum bir elektrik kondaktörü olarak güç iletim kabloları, trafo kondaktörleri ve elektrik ampulleri üzerinde kullanılmıştır.
- Isı iletkenliği: Alüminyum ve alaşımları ısıyı yaklaşık çeliğin üç katı kadar daha iyi iletmişlerdir. Bu özelliğinden dolayı; pişirme ekipmanları, klimalar, ısı eşanjörleri, motor parçaları ve güneş kolektörleri imalatında kullanılmıştır.
- Düşük sıcaklıkta kullanım: Çelikten farklı olarak, alüminyum düşük sıcaklıklarda gerilme direncini arttırmıştır. Böylece kalitesini korumuş, kırılma göstermemiştir.
- Yansıtıcılık: Alüminyum yüksek derecede ısı, ışık ve elektrik dalgalarını yansıtma özelliğine sahiptir. Bu özelliğinden dolayı aynalarda, ısı yansıtıcılarda, yalıtım, aydınlatma cihazları ve dalga kılavuzlarında kullanılmıştır.
- Geri dönüşüm: Düşük erime noktası nedeniyle alüminyum kolay ve ekonomik bir şekilde geri dönüşüme kazandırılmıştır. Bu yönüyle enerji ve kaynak tasarrufu açısından modern bir malzemedir.

Alüminyum malzemenin hafif, korozyona karşı direncinin yüksek olması ve kolay işlenebilirliği gibi özelliklerinden dolayı 20. yüzyıl mimarlarının arayışının bir ifadesi olmuştur. Resim 2.6' da görüldüğü üzere yeni formlar için elverişli olan bu malzemenin mimaride ilk kullanımı 1920'lerde dekoratif amaçlı olmuştur (Ashby, 1999:79).



Resim 2.6. Alüminyum kapı, 1954, Alüminyum Süsleme, 1931 (Ashby, 1999:79)

Modern bina endüstrisinde kullanımı hızla yaygınlaşmış; çatı kaplamadan giydirme cephelere, strüktürel elemanlardan doğrama elemanlarına, tavanlardan iç donanımlara kadar çok geniş bir uygulama alanına sahip olmuştur (Ashby, 1999:79). Bu malzemenin her iklim koşullarına uygun olması mimaride tercih sebebi olmuş ve kötü hava şartlarında özelliğini kaybetmemiştir. Isı yalıtım özelliğine sahip olmasından dolayı soğuk bölgelerde yaygın olarak kullanılmıştır. Mimari tasarım vizyonunun gerçekleşmesine olanak sağlayan bu malzeme 20. yüzyıl ortalarından beri gökdelenler ve köprü yapımında popüler bir malzeme olmuştur. (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Alüminyum malzemenin mimaride kullanımına örnekler (Mazzoloni, 2006)

İnsanlık tarihinin en yeni malzemelerinden olan alüminyum hafif olması, maliyetlerinin düşük olması, geri dönüşüme kazandırılabilmesi gibi sebeplerden giderek artan bir kullanım alanına sahip olmuştur ve birçok disiplin için vazgeçilmez bir malzeme kategorisine girmiştir. Ayrıca gelişmeye devam eden teknoloji alüminyum endüstrisinde de yeni buluşlara, yeni üretim metotlarına, yeni tasarımlara imza atacağı öngörülmektedir.

2.3. Yüksek Performanslı Malzemeler

Taş, demir, bakır çağı olarak adlandırılan daha önceki dönemler incelendiğinde, 20. Yüzyılı en iyi karakterize eden terim ‘mühendislik çağı’ olmuştur. Teknoloji alanında meydana gelen yenilikler ve buluşlar malzeme için büyük öneme sahip olmuştur. 19. yüzyıl Endüstri Devrimi ile birlikte malzemedeki büyük buluşlar zaman geçtikçe sınırlayıcı etken olmaya başlamıştır. Demir ve çelik blokların kullanımı yapılarda hafiflik arayışına yönlendirmiş, beton yapılar için dayanıklılık yeterli görülmemiştir. 20. yüzyıl boyunca mühendisler yeni yöntemler geliştirerek malzemelerin özelliklerini maksimize ederek analiz etmişlerdir. Geliştirilen yöntemle malzemeyi işlemişler ve katkı maddeleri ekleyerek performansları arttırılmıştır. Çelik ve cam yeniden şekillendirilmiş, uçak kanatları için metal kaplamalar oluşturulmuş, kalp kapakçıkları için plastikler üretilmiş, araçları için yeni kompozitler oluşturulmuştur (URL-7)

Malzemeyi test etmek, analizini yapmak ve tasarlamak büyük bir mühendislik girişimi olarak değerlendirilmiştir. Bilgisayar araçları ile yapılan analitik metotlar ayrıntılı bilgi veren görüntüleme ve simülasyon yöntemleri sayesinde devrim yaratmıştır. Metal alaşımları, kompozitler ve polimerler mühendislik üretimi olduğu için yüksek performanslı malzemeler olarak değerlendirilmiştir.

2.3.1. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler farklı özellikteki iki veya daha fazla maddeden oluşan malzeme anlamına gelmiştir (Vasiliev, 2001:9). Bu malzemelerin bir araya getirilmesindeki amaç tek başına sağlayamadıkları özeliğinin ortaya çıkarılmasıdır. Malzemeyi meydana getiren bileşenler genellikle özelliklerini koruyabilmiş ve mikro düzeyde homojen olmayı başarmışlardır.

Yeni özellikleriyle yeni malzemeler oluşturmak için birkaç bileşeni birleştirme fikri insanlık tarihi kadar eskidir. İnsanlar daha güçlü ve daha hafif nesneler üretmek için yıllardır kompozit malzeme üretmişlerdir. En eski insan yapımı olan kompozit malzeme evlerin yapımı için kullanılan saman ve çamurun birleştirilmesiyle meydana gelmiş kerpiç bloklar (Resim 2.7) olmuştur (Kaya, 2016). Modern kompozitlerin tarihi muhtemelen 1937’de cam elyafın bulunması ile başlamış ve dünya pazarına sunulmasıyla yaygın hale

gelmiştir (Upadhyaya, 2014). O zamandan beri kompozit malzemeler sık kullanılan mühendislik malzemeleri haline gelmiş, otomotiv parçaları, spor malzemeleri, uzay parçaları, tüketim malları, deniz ve petrol ürünleri, tıp alanında, inşaat ve yapı sektöründe, robot teknolojisinde gibi birçok alanda tasarlanmış ve üretilmiştir.



Resim 2.7. Saman ve çamurun birleştirilmesiyle meydana gelmiş kerpiç bloklar (URL-8),

Yapılarında çok fazla malzeme bulunduran kompozit malzemeler ile ilgili çeşitli sınıflandırmalar yapılmıştır. Mevcut kompozit malzemelerin çoğunda iki bileşen kullanılmıştır. Bu bileşenler; bağlayıcı veya matris ve bir takviye elemanından oluşmuştur. Takviye malzemesi, kompozit malzemenin mukavemetini ve yük taşıma kapasitesini arttırırken, matris malzeme kırılğan olabilen takviyenin deforme olmasını ve kopmasını engellemiştir (Upadhyaya, 2014, 95).

Kompozit malzemeler yüksek performans ve hafifliğe duyulan ihtiyaçlar için tasarlanmış ve üretilmiştir. Geleneksel malzemeler ile kıyaslandığında birçok avantaj sağlamışlardır. Bu avantajları Mazumdar, (2002:7) *Composites Manufacturing* adlı kitabında şu şekilde sıralamıştır.

- Modern kompozit malzemelerin en büyük avantajı hem hafif hem de mukavemetlerinin yüksek olmasıdır. Çoğu geleneksel malzeme ile kıyaslandığında en hafif malzemelerdir. Özellikle otomobil ve uçaklarda kompozitin hafifliği önemlidir. Çünkü daha az ağırlık, daha az yakıt verimliliği anlamına gelmiştir. Bir kompozit yapı aynı dayanıklılıktaki bir çelik yapının ağırlığının 1/4 'ü kadardır.
- Kompozit malzemeler parça entegrasyonu için imkân sağlamıştır. Farklı mekanik özelliklere, farklı kombinasyonlara sahip kompozit malzemeler üretilebilmiştir.

- Kompozit malzemelerin yorulma gücü (dayanıklılık sınırı) oldukça yüksektir. Çelik ve alüminyum alaşımları statik kuvvetlerin yaklaşık %50 sine kadar dayanıklılık gösterirken karbon kompozitler %90 a kadar dayanıklılık gösterebilmiştir.
- Kompozit malzemelerin dış yüzeyi plastik, korozyon, kimyasal direnç oluşturan bileşenlerle biçimlendirildiği için yüksek korozyon direncine sahip olmuşlardır.
- Kompozit malzemeler tasarım esnekliğine sahip malzemelerdir. Özel kontur ve görünüşe sahip kompleks parçaları metaller ile üretmek imkansızken, kompozit malzeme ile kaynak yapılmaksızın mümkün kılınmıştır. Böylece oluşan malzemenin üretim süresi kısaltılmış, maliyeti azalmış ve dayanıklılığı arttırılmıştır.
- Kompozit malzemelerin gürültü, titreşim ve sertlik özellikleri metallere göre daha iyidir. Bu özelliklerinden dolayı uçaktan golf kulüplerine kadar birçok alanda kullanılmıştır.
- Uygun tasarım ve üretim teknikleri kullanılarak maliyet etkin kompozit parçalar üretilmiştir. Ayrıca performans özelliklerini karşılamak için malzeme özelliklerini adapte eden tasarımlar sunulmuştur.
- Kompozit imalatı için gerekli olan araçların maliyeti düşük basınç ve sıcaklık gereksinimleri nedeniyle metalin imalatı için gerekli olandan daha az olduğu saptanmıştır.
- Kompozit malzemeler cam gibi şeffaf olmaları nedeniyle güneş kolektörü imalatında da kullanılmıştır.

Kompozit malzemelerinin birçok avantajının yanında dezavantajları da bulunmaktadır. Malzeme maliyeti çelik ve alüminyum ile kıyaslandığında nispeten daha yüksektir. Özellikle onarımı sırasında özel donanım gerektiren birçok durum ile karşılaşmıştır. Kompozit malzemenin yapılan herhangi bir müdahalede liflerin zarar görmesi de olası bir durum olmuştur. Onarılmadan önce çok iyi temizlenmeli ve sıcak kurulmaları gerekmektedir Ayrıca kompozit malzemenin nemi absorbe etmesi de kompozitin boyutunu ve özelliğini değiştirmesine sebep olmuştur. (Armstrong, Bevan ve Cole, 2005:3)

Birçok alanda yaygın olarak kullanılan kompozit malzemeler mimari alanda da kullanımı çok eskilere dayanmaktadır. İnsanoğlu ilk çağlardan beri kırılgan malzemelerin içerisine hayvansal ve bitkisel lifler koyarak, malzemenin mukavemetini arttırmaya çalışmışlardır. Bunun en iyi örneği çamurun içine saman karıştırılarak elde edilen kerpiçtir. Böylece

insanlar bu malzemeyle dayanıklı barınak yapma imkanı bulmuşlardır (Kaya, 2016). Kullanımı eskilere dayanan diğer kompozit malzemesi betondur. Beton agrega, çimento ve suyun karışımıdır. İyi bir basınç dayanımına sahip, ezilmeye karşı direnci yüksektir. Yakın zamanda betonun çekme ve eğilme karşı dayanımını arttırmak için içerisine çelik yerleştirilmiş ve bu donatıları içeren malzemeye betonarme denilmiştir. Modern kompozitin başlangıcı olarak kabul edilen fiberglas (cam elyafı) buluşu mimariye de çok yeni anlamlar yüklemiştir. Yalıtım malzemesi olarak kullanılmasının yanı sıra, birçok mimari kullanım alanı vardır. Malzemenin hafif, mukavemetinin yüksek ve kırılabilirliğinin düşük olması, çeşitli karmaşık şekillerle kalıplanması bu kadar yaygın kullanılmasının cevabı olmuştur. Ayrıca sert hava koşullarına karşı dayanıklı olması, korozyona uğramaması, bakımının kolay ve düşük ısı iletkenliğine sahip olması, beton veya geleneksel malzemeler ile karıştırılarak kullanılması diğer pozitif özellikleri arasında yer almıştır. Alüminyum plaklar arasına dolgu malzemesi preslenerek oluşturulan alüminyum kompozit malzemelerde pervaz, tente, korkuluk, dış cephe ve çatı kaplama malzemesi olarak kullanılmıştır (Resim 2.8). Bunun dışında mimaride yaygın olarak kullanılan diğer kompozitler çelik, magnezyum, mineral, polimer esaslı kompozit malzemelerdir (Quamar, 2011).



Resim 2.8. Alüminyum kompozit panel cephe uygulaması (URL- 9)

Kompozit malzemelerin gelişimi tasarım ve üretim teknolojileri kaynaklı bir gelişme gibi görünse de malzeme tarihinin en önemli gelişmelerinden biri olmuştur. Kompozit geleneksel malzemelerden farklı olarak belirli bir uygulamanın gerekliliklerini karşılamak için mekanik ve fiziksel özelliklere sahip çok fonksiyonlu malzemelerdir. Ayrıca çoğu

kompozit; aşınmaya, korozyona, yüksek sıcaklığa maruz kalmaya karşı büyük direnç gösteren özelliklerinden dolayı birçok sektörde kullanılmıştır.

2.3.2. Polimer malzemeler

Birçok parça anlamına gelen polimerler; monomer denilen küçük moleküllerin birbiri ardına dizilmesi ile oluşan uzun zincirli moleküllerdir. Genelde polimerler kristal ve amorf olmak üzere iki kısımdan oluşmuşlardır. Kristal bölge malzemeye sertlik ve kırılabilirlik sağlarken amorf bölge malzemeye tokluk vererek kırılabilirlik özelliğini azaltmıştır (Okay, 2003).

Ahşap, pamuk, deri, yün, lastik gibi bitki ve hayvanlardan elde edilen doğal olarak nitelendirilen polimerler yüzyıllarca kullanılmıştır. Ancak bu polimerlerin işleme şartlarının zor olması yeni bir arayışa sürüklemiş ve sentetik polimerler keşfedilmiştir. İlk sentetik polimer tarifi 1831’ de İsveçli bir bilim adamı Jakob Berzelius tarafından gliserin ve karbonik asitten poliesteri keşfederek tanımlanmıştır. Ayrıca doğal olan kauçuğa kükürt eklenerek bugün de yaygın olarak bulunan ‘vulkanize’ bulunmuştur. 1859 yılında polietilen üretilmiş, akabinde yarı sentetik polimer selüloz keşfedilmiştir. 1917 yılında X- ışınları sayesinde selülozun kimyasal yapısı bulunmuştur. Modern bilim araçları; bu gruptaki materyallerin moleküler yapısını tanımlamayı mümkün kılmıştı ve böylece küçük organik moleküllerden sentezlenen sayısızca polimerin gelişmesine olanak sağlamıştır. Makro moleküllerin varlığı 1924 yılında Hermann Staudinger tarafından öne sürülmüş ve polimer teknolojisine önemli bir adım kazandırmıştır. II. Dünya Savaşı sonrası polimer malzemelerde hızlı bir büyüme meydana gelmiş ve 1953 yılında Chevrolet Corvette plastiğin cam fiber kullanılarak güçlendirilmesi ile üretilmiştir. Son yıllarda yüksek ısı ve mekanik dayanıklılığına sahip polimer malzemeler bugün ulaştığı kullanım alanları ile hayatımızı kolaylaştıran malzemelerdir. Özellikle sentetik polimerlerin ucuz olması geleneksel malzemeye üstünlük sağlamış ve daha çok tercih edilme sebebi olmuştur. Hatta bazı uygulamalarda ahşap ve metal parçaların yerine uygun özelliklere sahip plastiklerle yer değiştirilmiştir (Osswald ve Menges, 2010:21-44).

Polimer malzemeler elde edilme yöntemlerine, yapılarına, bağ yapılarına, işleme şekillerine, sentez yöntemlerine göre çok çeşitli sınıflandırmalar yapılmıştır. Son kullanım yerlerine göre;

- Plastikler
- Kauçuklar
- Fiberler
- Kaplamalar
- Yapıştırıcılar

olarak sınıflandırılmıştır (Callister ve Retwisch, 2000:596-603).

Plastikler, yük altında bazı yapısal sertliklere sahip suni polimer malzemelerdir ve genellikle uygulamalarda kullanılmıştır. Çok çeşitli birleşim özelliklerine sahip bu malzemeler polimerlerin en geniş kullanım alanlarını oluşturmaktadır (Callister ve Retwisch, 2000: 596). Bu malzemelerin avantajları; kolay şekil verilmesi, ucuz olması, yüksek elastik kabiliyeti, hafif olması, kimyasal dayanıklılıkları, yüksek ışık geçirgenlikleri, boyanabilir gibi özelliklerinden dolayı çok tercih sebebi olmuştur. Düşük elastik modülleri, düşük termal dayanıklılıkları, UV ışınlarına karşı dayanıksız olması dezavantajları olarak sayılsa da, yapılan katkı maddeleri ile bu dezavantajlar giderilmektedir (Okay, 2003)

Polimer malzemeler sahip oldukları özelliklerden dolayı geniş bir yelpazede kullanım alanı sunmuş; tıpta, eczacılıkta, tekstil sanayisinde, ulaşım sektöründe, ambalaj sanayisinde, yapı sektöründe ve akla gelebilecek bütün alanlarda kullanılmıştır (Çakmaklı, Can ve Murat, 2015) Polimer malzemelerin inşaat sektöründe kullanımı çok yaygın olmuştur. Hafif oluşu, düşük elektrik ve ısı iletkenliğine sahip olması, çeşitli renk seçenekleri sunması, kimyasal maddelere karşı dayanıklılığı, yanmaması, su emme katsayısının düşük olması, kolay imalat ve işlenebilirliği çok fazla tercih edilmesinin sebepleridir. Yapılarda uygulama alanları; döşeme, pencereler, kaplama, yağmur suyu boruları, membranlar, contalar, camlar, yalıtım gibi daha birçok alanda uygulanmıştır.

Polimer malzemeler modern yaşam için kritik öneme sahip olmuştur. Bugün birçok teknolojinin gelişmesine olanak sağlamıştır. Özellikle hafif oluşu ve iyi yalıtım sağlaması birçok avantajı beraberinde getirmiştir. Kullanımının giderek artmasından dolayı Okay (2003) “*Polimerik Malzemelerin Bugünü ve Yarını*” adlı makalesinde polimerleri geleceğin geleneksel malzemeleri olarak değerlendirmiştir.

2.4. Akıllı Malzemeler

Ortalama 20 yıldan beri literatürde yer edinmiş; akıllı evler, akıllı araçlar, şekil hafızalı malzemeler, renklerini değiştiren boyalar, ışık yayan diyotlar, kendiliğinden montajlı yapılar, nanomalzemeler gibi kavramlar malzeme bilimi içerisinde yeni bir yaklaşım olmuştur. Özellikle artan küresel çevre problemlerine karşılık gelişen teknoloji ile birlikte yeni teknikler keşfedilmiş ve bu sorunlara bir çözüm olarak ortaya konmuştur. Yüksek mühendislik malzemesi olarak tabir edilen bu malzemeler, 21. yüzyılın teknolojik ihtiyaçlarına cevap veren bir yapıda geliştirilmiştir.

Takaki (1990) akıllı malzemeleri çevresel uyaranlara karşı tepki veren malzemeler olarak nitelemiş, NASA ise akıllı malzemeleri; bir uyaran verildiğinde bunlara yanıt verebilecek potansiyele sahip malzemeler olarak tanımlamışlardır (Addington and Schodek, 2002:29). Diğer bir deyişle; ışık, sıcaklık, elektrik vb. fiziksel ve kimyasal uyaranlara karşı şekil, renk ve iletkenlik gibi niteliklerini değiştirebilen özelliklere sahip malzemeler olarak yorumlamıştır(Ritter, 2007:8). İlk olarak akıllı malzemeler ‘çevrelerine cevap veren’ olarak tanımlanmış, ancak değişen zaman koşullarına paralel olarak bu malzemelerin anlamı genişlemiştir. Bugün malzeme tayfı içerisinde yerini alan bu malzemeler; üzerine gelen sinyali alan, ileten, dönüştüren sistemler olarak kayda geçmiştir. Malzemelere geniş bir perspektiften baktığımız zaman geleneksel malzemeler kullanım süreci boyunca niteliklerini koruması gerekmiştir. Aksi takdirde değişime uğraması malzemenin bozulduğu anlamına gelmiştir. Bu malzeme anlayışının aksine akıllı malzemelerin kullanım süresince faydalı olacak şekilde niteliklerini değiştirmesi beklenmiştir. Bu nedenle Orhon (2012) akıllı malzemeleri “tasarlanmış malzemeler” olarak değerlendirmiştir.

Akıllı malzemeler her ne kadar yeni bir malzeme olarak nitelendirilse de tarihte kısa bir geçmişe sahiptir. Bu malzemelerin ilk kaydı 1932’ de altın kadmiyum üzerinde yapılmıştır. 1938’ de faz değişimi pirinç(bakır-çinko) alaşımı üzerinde gözlemlenmiştir. 1962’ de Bohler ve arkadaşlarının Noval Ordinance laboratuvarında Nikel-Titanyumun şekil bellek alaşımı etkisine sahip bir sistem olduğu bulunmuş, birkaç yıl sonra beraberinde Nitinol’ün keşfine zemin hazırlamıştır. Nitinol’ün keşfinden sonra akıllı üretimler hızlanmaya başladıysa da, pahalı ve yabancı elementler içermesinden dolayı o dönemde çok tercih sebebi olmamıştır. 1980 ve 1990’lara gelindiğinde bir dizi şirket Nikel- Titanyum

malzemelerinin bileşenlerini sağlamaya başlamış ve başta tıbbi ürünler olmak üzere birçok ürün piyasaya sürülmüştür (Baldawi, 2015)

Akıllı malzemeler ve üretim süreçleri geniş bir yelpazede faydalar sunmuştur. Bunlar (Sherif, 2013);

- Üstün mukavemet, tokluk ve süneklilik
- Geliştirilmiş dayanıklılık ve uzun ömür
- Aşınma, korozyon, kimyasal ve dayanıksızlığa karşı artan direnç
- Yaşam döngüsü boyunca maliyet verimliliği
- Uygulama ve üretim kolaylığı
- Estetik ve çevresel uyumluluk
- Kendini teşhis etme, onarma gibi yeteneklere sahip olması

Akıllı malzemeler dış uyaranlara karşı çeşitli tepkiler verdiğinden dolayı birçok alanda uygulamasına rastlanmıştır. Akıllı malzemelerin uygulama amacı yeni bir üretim ile probleme mühendislik çözümü getirmeyi amaçlamıştır. Bu sistemlerin gelişimi tıbbi ve biyolojik alanlardan mekanik ve elektronik alanlara kadar birçok alanda çeşitlendirilmiştir. Akıllı malzemelerin kullanıldığı alanlar şöyledir:

- Tıp ve sağlık uygulamaları
- Tekstil üretimi
- Mimari ve yapı sektörü
- Havacılık ve savunma endüstrisi
- Uzay endüstrisi
- Otomotiv endüstrisi
- Nükleer endüstrisi
- Tüketim malları
- Biyolojik alanlar
- Bilgisayar ve robot teknolojisi

Bu malzemelerin en önemli özelliği bilim ve mühendislik alanlarının tümünü kapsamasıdır. Akıllı malzemeler, helikopter rotor kanatlarında şekil değişimi ve titreşimi önlemek için kullanılmıştır. Şekil bellek alaşım araçları denizaltındaki girdap dalgalarını

dağıtmak için geliştirilmiş ve benzer şekilde uçak kanatları için adaptif kontrol yüzeyleri bulunmuştur. Ayrıca mevcut araştırmalar sensör ve aktüatörlerin yerleştirilmesi için tasarım metotları akıllı malzemeler üzerinde yeni kontrol teknolojileri geliştirilmektedir (Kamila, 2013). Otomotiv sektöründe çatı panelleri üzerindeki titreşim sönümleme araçları gibi paneller üzerinde kontrol araçlarının kullanımı araştırılmaktadır. İnşaat mühendisliğinde depreme eğimli bölgeler üzerinde sallantıların üstesinden gelmek için aktif kompozit gibi malzemelerin kullanımı ile ilgili bir dizi proje yürütülmektedir (Schwartz, 2002). Tekstil endüstrisinde, faz değiştiren materyaller sayesinde; giysileri çevre şartlarına uyumlu hale getirmek için kullanılmış böylece kıyafeti giyen kişiyi yüksek sıcaklıktan, soğuktan, zararlı kimyasallardan, toksinlerden, radyasyondan korunabilmiştir (Coşkun ve Oğulata, 2008). Sağlık sektöründe; ortopedik ürünler, endodonti alanında kullanılan aletler, stentler, ortodontik diş telleri üzerinde akıllı uygulamalar geliştirilmiştir.

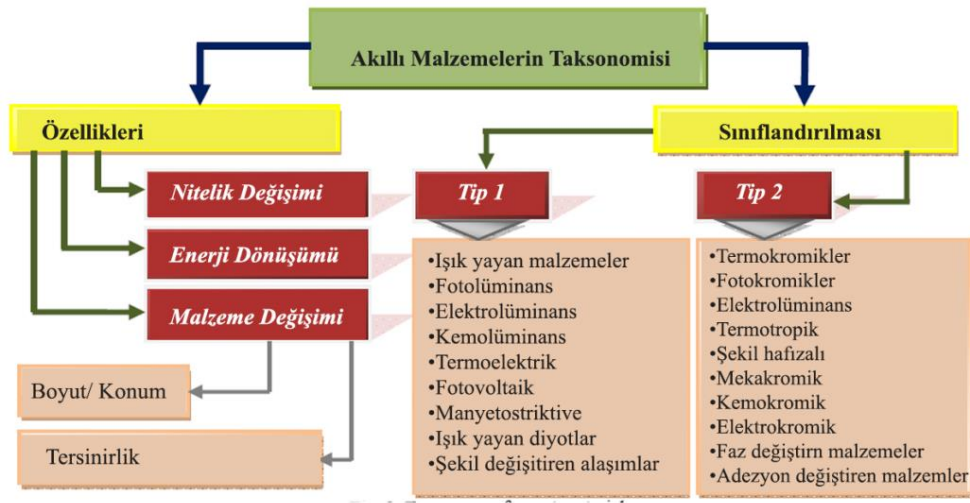
Akıllı malzemelerin büyük oranda uygulandığı alanlardan biride yapı endüstrisi ve mimari tasarım olmuş ve gerçek anlamda faydalar sağlamıştır. Özellikle giderek artan çevresel sorunlara karşılık sürdürülebilir mimari içinde uygulama alanları sunmuştur. Buradaki temel amaç; uygun akıllı malzeme seçimi ile yapıda faydalı değişimleri sağlayacak yapı bileşenlerinin kullanılmasıdır. Bu mimari yaklaşımla ortam şartlarıyla mücadele etmek yerine, ortam şartlarına ayak uyduran yapı anlayışı geliştirilmiştir (Orhon, 2013) Enerji ve malzeme akışını optimize ederek, yapının ömrünü uzatmada katkıda bulunulmuş ve yüksek mukavemetli, hafif yapıların oluşmasını mümkün kılmıştır. Mimaride uygulama alanları daha çok cephe sistemleri, aydınlatma, enerji ve yapı sistemleri üzerine kurulmuştur (Addington and Schodek, 2002:165-180). Kendi kendini temizleyen yapı elemanları, kirlilik yiyici betonlar, ısı depolayan cepheler, elektrik üreten rüzgar tüyleri, solar cephe sistemleri bu alanda yapılmış uygulamalara örnek olarak verilmiştir.

Akıllı malzemelerin sınıflandırılması

Akıllı malzemeler; değişik uyaran tepkisine göre özelliklerini dönüşümlü olarak değiştirebilmiştir. Bir malzemenin, molekülün, kompozitin ve sistemin akıllı malzeme olabilmesi için onu alışlagelmiş malzemelerden farklı kılan beş temel özelliğe sahip olması gerekmiştir. Bunlar (Addington and Schodek, 2002:8-9);

- Gerçek zamanlı olarak cevap verme,
- Birden fazla uyarana cevap verme,
- Kendi kendine harekete geçme,
- Alınan tepkileri ayırt etme,
- Cevap etkinleştirme özelliğidir.

Ritter, (2007) *Smart Materials in Architecture, Interior Design and Design* adlı kitabında bütün akıllı malzemelerin karakteristik özelliklerini üç grup altında toplamıştır (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. Akıllı malzemelerin taksonomisi (Abeer, 2017)

- Nitelik değişimi: Fiziksel, kimyasal, mekanik, manyetik, termal, optik, elektriksel bir değişimden sonra niteliğini değiştiren malzemelerdir. Fotokromikler, termokromikler, elektrokromikler gibi bütün renk değiştirebilen malzemeler bu sınıfta değerlendirilmiştir (Addington ve Schodek, 2002:80).
- Enerji dönüşümü: Faz değişimi sırasında malzemenin içyapısında meydana gelen değişim sonucu enerjinin bir formdan diğerine dönüşmesi olarak yorumlanmıştır. Bu duruma örnek; dışarıdan uygulanan basınç sonucunda elektrik üretebilen özelliklere sahip piezoelektrik malzemeler verilmiştir (Orhon, 2014)

- Malzeme değişimi

Tersinirlik: Çift yönlü olma özelliğine sahip bu malzemeler, nitelik değişimi veya enerji dönüşümü sonrası geçici özellik değiştiren ve tekrar eski hallerine dönebilen malzemelerdir. Elektrokromik malzemede uygulanan elektrik kuvveti kalktığında malzeme eski rengine dönmesi bu duruma örnek olarak verilmiştir (Addington ve Schodek, 2002:81).

Boyut: Malzemenin ayrı bir boyutta doğrudan çalışması, akıllı malzemeleri diğer malzemelerden ayıran en temel özelliğidir (Sadeghi, 2009: 27).

Akıllı malzemeleri ve malzeme sistemleri mevcut ortamdan gelen enerji uyaranlarına karşı bir sınıflandırma; Addington ve Schodek tarafından (2005) ” *Smart Materials and New Technologies* ” adlı kitabında davranışlarına göre iki grupta tetkik edilmiştir.

2.4.1.Nitelik değiştiren akıllı malzemeler

Bu malzemeler, herhangi bir harici kaynağa gerek duymaksızın, çevresel şartlar üzerindeki değişime yanıt veren malzemelerdir. Işık, sıcaklık, kimyasal ortam vb. uyaran etkisiyle renk, şekil, sertlik, iletkenlik, hal, faz gibi özelliklerinin mevcut duruma dönebilecek şekilde değiştirmesidir. Bu grup malzemelerin bazı uygulamaları Çizelge 2.2’de belirtilmiştir.

Çizelge 2.2. Nitelik değişimi yapan akıllı malzemeler (Addington and Schodek, 2002:82).

Akıllı Malzeme Türleri	Alıcı	Uyaran
Tip 1 Nitelik değişimi		
Termokromikler	Sıcaklık farkı	Renk değişimi
Fotokromikler	Radyasyon	Renk değişimi
Mekanokromikler	Deformasyon	Renk değişimi
Kemokromikler	Kimyasal Konstrasyon	Renk değişimi
Elektrokromikler	Elektrik potansiyel farkı	Renk değişimi
Sıvı kristaller	Elektrik potansiyel farkı	Renk değişimi
Asılı parçacıklar	Elektrik potansiyel farkı	Renk değişimi

Kromik malzemeler: Nitelik değişimine sebep olan enerji kaynağı tarafından tanımlanan bu malzemelerde renk değişimi meydana gelmektedir. Işığa maruz kaldığında renk değiştiren fotokromikler, sıcaklık farkından dolayı renk değiştiren termokromikler, bir kimyasal ortama maruz bırakıldığında renk değiştiren kemokromikler, bir kuvvet aracılığıyla uygulanan basınç sonucu renk değiştiren mekanokromikler, verilmiştir.

Şekil değiştiren malzemeler: En az iki farklı element içeren bu malzemeler, sıcaklığa bağlı olarak şekillerinde değişim meydana gelirken, çevresel uyaran ortadan kalktığında orijinal haline dönebilen malzemelerdir (Abeer, 2017).

Faz değiştiren akıllı malzemeler: Belirli bir sıcaklık aralığında bir fazdan başka bir faza (katı-sıvı, katı-gaz, sıvı-gaz, katı-katı) geçerken ortamdaki ısıyı soğurabilen ve depolayan, gerektiğinde ısıyı yayabilen malzemelerdir. ısı depolama yöntemidir Dönüşümlü olarak devam eden bu süreç, bozulma olmadan sınırsız sayıda meydana gelebilme imkanına sahiptir(Koşan ve Aktaş, 2018).

Adezyon değiştiren malzemeler: Işık, sıcaklık gibi çevresel uyarıcıya maruz kaldığında atom ya da molekülün özelliklerinin (absorbsiyon (yüzeye tutunma) ya da absorbsiyon (emme)) değiştirilmesidir. En yaygın kullanıma sahip titanyumdioksit, yüzeye tutunan kirletici malzemeleri ışık etkisi ile parçalayarak su ve karbondioksite dönüştürmüştür (Orhon, 2012).

2.4.2. Enerji dönüştüren akıllı malzemeler

Bu gruptaki malzemeler; dış kaynak vasıtasıyla aldıkları enerjiyi bir formdan diğer forma dönüştüren malzemelerdir. Malzeme biçiminde herhangi bir değişim meydana gelmezken, enerji değişime uğramıştır (Ogwu and Nzewi, 2016). Normalde kullanılamayacak enerji formları, ihtiyaç duyulan enerji formlarına dönüştürmüştür. Çizelge 2.3'te uygulamaları gösterilmiştir.

Işık yayan malzemeler: Görünür spektrumda(ışık) dış ortamdan alınan enerjiyi soğuyarak radyasyon enerjisine dönüştürmesi neticesinde ışık yaymasıdır. Bu malzemelere;

- ✓ Kemolüminesans (kimyasal reaksiyonlar)
- ✓ Fotolüminesans (radyasyon enerjisi)
- ✓ Elektrolüminesans (elektrik enerjisi) örnek olarak verilmiştir (Baldawi, 2015).

Fotovoltaik: Genellikle dış kaynak güneşten alınan enerjiyi elektrik enerjisine çeviren malzemelerdir.

Çizelge 2.3. Enerji Dönüşümü Yapan Akıllı Malzemeler (Addington and Schodek, 2002:82)

Akıllı Malzeme Türleri	Alıcı	Uyaran
Tip 2 Enerji Değişimi		
Elektolüminans	Elektrik potansiyel farkı	Işık
Fotolüminans	Radyasyon	Işık
Kemolüminans	Kimyasal konsantrasyon	Işık
Termolüminans	Sıcaklık farkı	Işık
Işık Yayan Diyotlar	Elektrik potansiyel farkı	Işık
Fotovoltaik	Radyasyon	Elektrik pot. farkı
Tip 2 Enerji Değişimi (Tersinir)		
Piezoelektrik	Deformasyon	Elektrik pot. farkı
Piroelektrik	Sıcaklık farkı	Elektrik pot. farkı
Termoelektrik	Sıcaklık farkı	Elektrik pot. farkı

Işık yayan diyotlar (LED): Elektrik enerjisini ışığa dönüştüren yarı iletken bir devre elemanıdır (Çil, 2008).

Piezoelektrik: Üzerlerine uygulanan mekanik, gerilme ve titreşim enerjisini elektrik potansiyeline dönüştürebilme yetisine sahip malzemelerdir (Chen ve diğerleri, 2019). Uygulanan kuvvet ile malzeme yapısındaki pozitif ve negatif yükler kutuplaşır ve potansiyel fark oluşur. Bunun sonucunda enerji üretilmiş olur (Aslan, Bilgin ve Erfidan, 2016).

Termoelektrik: İki yüzey arasında oluşan sıcaklık farkı ile meydana gelen potansiyel fark sonucu bir tarafı ısınırken diğer tarafı soğuyabilen malzemelerdir (Baldawi, 2015).

Şekil bellek alaşımları (ŞBA) Sıcaklığa bağlı olarak şekil değişikliğine uğradıktan sonra uygun sıcaklık ile ilk haline dönebilen ve ısıl değişimine karşı hassas alaşımlardır (Orhon, 2012).

Akıllı malzemelerin doğası gereği yüksek derecede multidisipliner bir alan çalışmasını gerektirmiştir. Fizik, kimya, mekanik, bilgisayar ve elektrik gibi temel bilimler alanından

başlayarak, bilim ve mühendislik uygulamalarını kapsamıştır. Bu malzemelerin bilimi çok hızlı ilerlemesine rağmen, mühendislik uygulamaları üzerinde akıllı yapıların uygulaması yavaş ilerlemiştir. Mevcut durum, giderek artan çevresel sorunlara karşı bütüncül bir yapılaşma imkanı sunmuş, en çok gelecek vaat eden yüksek derecede verimlilik sağlayan potansiyellere sahip malzemeler olarak yerini almıştır. Aslında herhangi bir yeni malzemenin bileşimini ve mikro yapısını anlamak ve kontrol etmek bu alandaki araştırmaların nihai hedefi olmuş ve akıllı malzeme üretiminin temel paradigması olarak değerlendirilmiştir.

2.5. Akıllı Sistemler (Birleşimler)

Akıllı malzemeler ve ileri teknolojiler bina sistemleri ile entegre edilmiş malzemelerdir. Tek başına düşünülemezler. Ancak bu malzemeler bir sistem veya bir yapıda inşa edildiğinde bir dizi girdiye yanıt verme imkanı yakalar. Sensörler, aktüatörler ve kontrol mekanizmaları, malzemenin mikro yapısının bir parçası haline geldiğinde akıllı hale gelebilirler (Abdullah ve Al-Alwan, 2019)

Ritter (2007), akıllı malzemelerin meydana getirdiği sistemleri mimari uygulamalar açısından davranışsal yönlerine göre kategorize etmiş ve bunları üç başlık altında toplamıştır.

- Yapısal Performans
- İklim ve Enerji Performansı
- Mimari (Fonksiyon ve Estetik) Performans

Akıllı malzemelerin bina sistemlerine entegre edilerek yapısal performansı optimize etmesi sürdürülebilir sağlıklı ve güvenilir bir yapı oluşturma imkanı sunmuştur. Ayrıca, yapılarda iklim ve enerji performansını optimize etmek ve gereksinim duyduğu enerjiyi yenilenebilir kaynaklardan sağlamak yaşanan dünyanın bir tercihi değil, gerekliliği olmuştur. Yapının çevre ile uyumunu tasavvur etmede büyük paya sahip olan mimari performans, yapının sadece kullanıcısıyla değil aynı zamanda çevresi ile hem fonksiyonel hem de estetik yönleriyle ilişkilendirilmektedir.

3. MATERYAL VE METOD

Bu bölüm nitel araştırmalar sonucu elde edilen literatür taramasındaki verilerin alan çalışmasında nasıl bir altlık oluşturduğunu göstermek amacıyla hazırlanmıştır. Tez altı bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde çalışmanın önemi, amacı, araştırma sorusu, hipotezi ve sınırlılıkları açıklanmıştır.

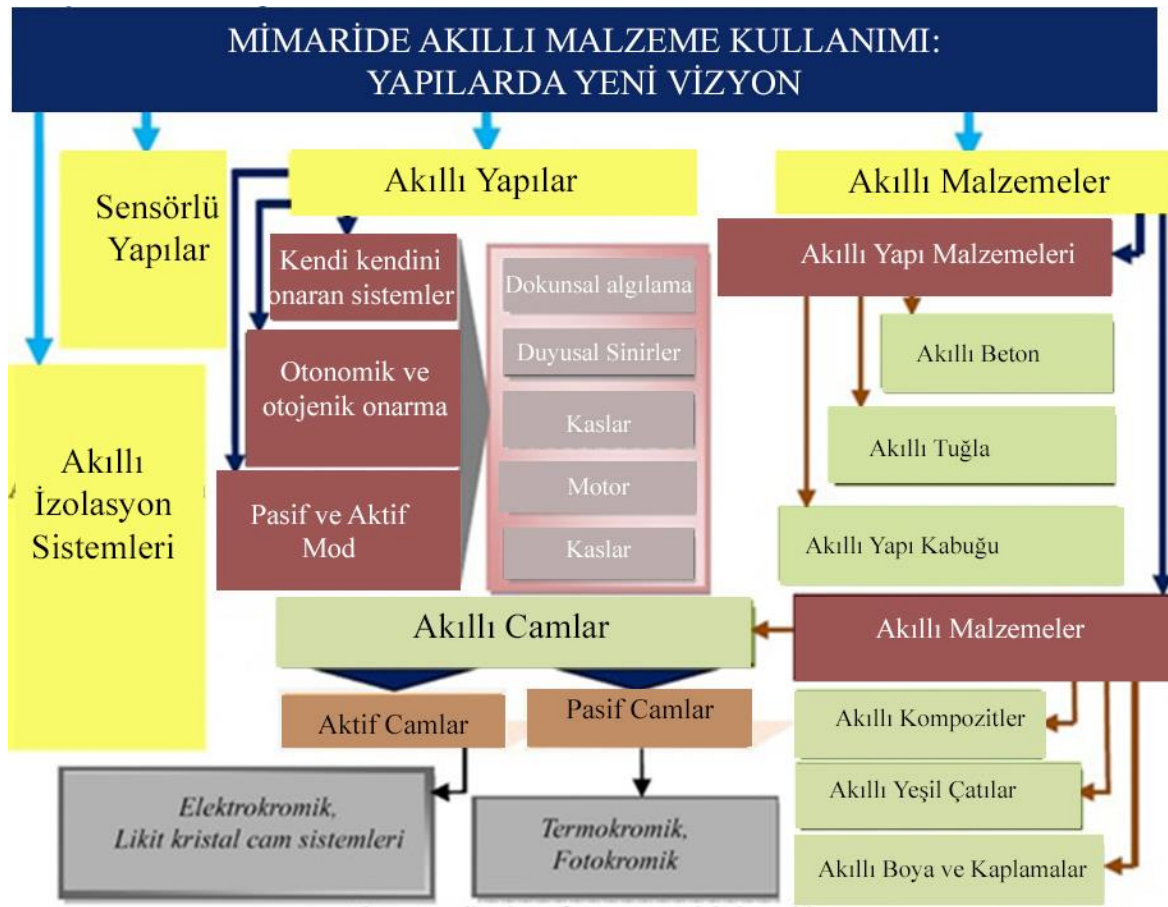
İkinci bölümde; yapı malzemelerinin güncel durumu incelenmeden önce malzeme biliminin nasıl bir gelişim gösterdiği, genel bir bakış açısı edinilmesi adına insanlık tarihinin en uzun dönemi olarak bilinen taş devrinden başlayıp, endüstri döneminin dördüncü fazı olarak tabir edilen günümüze kadar bir zaman çizelgesi üzerinde incelenmiştir. Genel çerçevenin detaylandırılmasında Çizelge 3.1’ de gösterildiği üzere Addington ve Schodek(2005)’ in “*Smart Materials and New Technologies*” adlı kitabında “akıllı ve ileri malzemeler” için yapmış olduğu öneri sınıflandırmadan yararlanılmıştır. Bu sınıflandırma kapsamında teknoloji ve yapı malzemelerinin karşılıklı etkileşimi sonucu ortaya çıkan potansiyeller hem mimari alanda hem de diğer disiplinler üzerinde geçirdiği dönüşümden bahsedilmiştir. Malzemelerin avantaj ve dezavantajlarına da yer verilerek gelecekte beklenen performanslar belirlenen ölçütler kapsamında irdelenmiş ve kuramsal çerçeve oluşturulmuştur.

Çizelge 3.1. Akıllı malzemeler için öneri sınıflandırma (Addington ve Schodek, 2005:30).

SINIFLANDIRMA	MALZEMENİN ÖZELLİĞİ
Geleneksel Malzemeler Doğal malzemeler (Taş, ahşap) İşlenmiş malzemeler (Çelik, alüminyum, beton)	Dış uyaranlara karşı sabit davranışlar sergiler ve malzeme var olan özelliğini sergiler.
Yüksek Performanslı Malzemeler Polimer, Kompozit	İki veya daha malzemeden oluşan bileşimler özel bir amaç için tasarlanır.
Akıllı Malzemeler Nitelik dönüştüren ve enerji dönüştüren malzemeler	Çeşitli uyaranlara karşı cevap vermek için tasarlanmış malzemelerdir.
Akıllı Sistemler Akıllı montajlar, polyvalent duvarlar	Uyaranlara veya kontrollere ilişkin hesaplama geliştirmelerine sahip cihaz veya sistemlere, akıllı malzemeler yerleştirilmiştir.
Akıllı Çevreler	Bütün ortamın içsel ve bilişsel olarak yönlendirilmiş tepki değişimleri, koşullar ve iç veya dış uyaranları kullanan akıllı cihazlar ve sistemlerden oluşur.

Çalışmanın sınırlılığı, yenilikçi ve yüksek performanslı özelliklere sahip ve çevreye uyum sağlayan malzemelerin, hem teknolojik alanındaki hızlı gelişmelere hemde endüstriyel alanındaki hızlı tüketime cevap olacak, geçmişten günümüze yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerine alternatif çözümler sunabilecek ptansiyellere sahip olduğu varsayımı ortaya atılmış ve tezin alan çalışması akıllı malzemeler alanında özelleşmiştir.

Çizelge 3.2. Mimaride akıllı malzeme kullanımı (Abeer, 2017)



Mimaride akıllı malzeme kullanımını; Abeer (2017), “*Smart materials innovative technologies in architecture: towards innovative design paradigm*” adlı makalesinde, yapı endüstrisinde mevcut sınırların ötesinde yenilikçi fikirleri dikkate alarak mikro ve makro ölçekte değerlendirilmiş ve uygulama alanları belirlenerek, sergiledikleri performanslara göre Çizelge 3.2’ de gösterildiği gibi sınıflandırmıştır. Dördüncü bölüm yapılan bu sınıflandırma temel alınarak akıllı malzemelerin sağladıkları faydaya göre gruplandırılarak beş başlık altında incelenmiştir. Belirlenen ölçütler doğrultusunda bu malzemeler; hangi sorun kaynaklı ortaya çıktığı, kullanım ölçütleri, potansiyel uygulamaları, entegre edilen yapı malzeme türü, yapıda kullanım alanları, sağladığı avantajlar, yapı malzemelerine

getirilen alternatif çözüm gibi konular; uygulanmış yada halen saha çalışması aşamasında olan örnekler ışığı altında analiz edilmiştir.

Çizelge 3.3. Potansiyel olarak uygulanabilir akıllı malzemelerle ilgili tipik bina sistemi tasarım ihtiyaçlarının haritalanması (Addington ve Schodek, 2005: 164).

BİNA SİSTEM İHTİYACI	SİSTEM ÖZELLİKLERİ	UYGULANABİLİR AKILLI MALZEME
Bina kabuğunda transfer olan güneş ışınımının kontrolü	Spektral soğurma / iletme kabuk malzemeleri	Asılı parçacık panelleri Sıvı kristal paneller Fotokromik, Elektrokromik
	Kabuk malzemelerinin göreceli konumu	Panjur veya panel sistemleri radyasyon (ışık) sensörleri fotovoltaik, fotoelektrik kontroller / aktüatörler şekil hafızalı alaşımlar
Bina kabuğunda transfer olan iletken ısının kontrolü	Bina kabuğunun ısı iletkenliği	Termotropik, faz değişimi malzemeler
İç ısının kontrolü	İç malzemelerin ısı kapasitesi	Faz değiştiren malzemeler
	Isı kaynağının konumu	Termoelektrik
	Lümen / watt enerji dönüştürmek	Fotolüminans, ışık yayan diyotlar
Enerji dağıtımı	Ortam enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek	Fotovoltaik, termoelektrikler, yakıt hücreleri
Aydınlatma sistemlerinin optimizasyonu	Gün ışığı algılama Aydınlık ölçümleri	Fotovoltaik, fotoelektrikler piroelektrikler
	Görenen boyut, konum ve kaynağın rengi	Işık yayan diyotlar (LED'ler), Elektrolüminesans
HVAC sistemlerinin optimizasyonu	Sıcaklık algılama Nem algılama Doluluk algılama CO2 ve kimyasal algılama	Termoelektrikler, piroelektrikler, biyosensörler, kimyasal sensörler,
	Kaynağın göreceli konumu	Termoelektrik, faz değiştiren malzemeler, ısı boruları
Yapısal sistemlerin kontrolü	Gerilme ve deformasyon izleme Çatlak izleme, Gerilme ve deformasyon kontrolü	Fiber optikler, piezoelektrikler, elektroeolojikler (ER'ler), manyetolojiler, şekil bellek alaşımları

Yenilikçi malzemeler adı altında ortaya konulan akıllı malzemeler ve ileri teknolojiler; bina sistemleri ile entegre edilmiş malzemelerdir. Addington ve Schodek (2005) bu malzemelerin amaca uygun karakteristik özelliklerini mimari uygulamalar tarafından

tanımlamış ve dört başlık altında toplamıştır. Çizelge 3.3' de gösterildiği üzere yapılardaki sistem ihtiyacı buna karşılık geliştirilen malzeme özellikleri ve potansiyel olarak uygulanabilir akıllı malzemeler gösterilmiştir.

- Cephe sistemleri
- Aydınlatma sistemleri
- Enerji sistemleri
- Yapısal sistemler

Ayrıca Ritter (2007), akıllı malzemelerin meydana getirdiği sistemleri mimari uygulamalar açısından davranışsal yönlerine göre kategorize etmiş ve bunları üç başlık altında toplamıştır.

- Yapısal Performans
- İklim ve Enerji Performansı
- Mimari (Fonksiyon ve Estetik) Performans

Edinilen tüm bu bilgiler ışığında; değerlendirme bölümünde, alan çalışmasında incelenen akıllı malzemelerin farklı performans seviyelerinde olduğu saptanmış ve belirlenen parametreler ile sınıflandırılmıştır. Bu parametreler doğrultusunda; akıllı malzeme türü, bina sistem ihtiyacı, akıllı malzemenin entegre edildiği yapı malzemesi ve yapı malzemesinin olumsuz özelliği belirtilerek alternatif çözüm sunulmuştur. Ayrıca akıllı malzeme ile yapı malzemesinin birleştirilmesi sonucu ortaya çıkan akıllı sistemler belirlenmiştir.

4. AKILLI MALZEMELERİN MİMARİDE KULLANIMI

Teknoloji alanında meydana gelen yenilikler ve buluşlar; yüksek performanslı malzemelerin tasarımına olanak sunan akıllı malzeme anlayışının gelişimini sağlamıştır. Mimari tasarımın en önemli girdilerinden olan malzeme; getirilen bu anlayış ile yeniden yorumlanmıştır. Uyarlanabilir yetenekleri ve entegre tasarımları sayesinde performansları sürekli aktif olarak izlenebilen ve optimize edilebilen bu malzemeler ile bina tasarımı “çevresel uyarıcılara yanıt veren” anlayışa bürünmüştür.

Akıllı malzemeler ile ilgili çeşitli sınıflandırmalar yapılmıştır. Bazı kaynaklar atomik yapılarına göre bazı kaynaklar işlevsel özelliklerine göre sınıflandırma yapmıştır. Addington ve Schodek (2005) akıllı malzemeleri davranışlarına göre iki kategoride incelemiştir: “Nitelik değiştiren” ve “Enerji dönüştüren” akıllı malzemeler. Nitelik değiştiren akıllı malzemeler çevresel koşullar üzerindeki değişime cevap veren malzemelerdir. Enerji dönüştüren malzemeler ise harici kaynaktan aldıkları enerjiyi bir formdan diğerine çeviren malzemelerdir (Addington ve Schodek, 2005:82). Ritter (2007) ise akıllı malzemeleri sıcaklık, ışık, elektrik ve manyetik gibi uyaranlara cevap veren olarak nitelendirmiş ve buradan yola çıkarak üç grup da incelemiştir. Özellik değiştiren, enerji dönüşümü ve malzeme değişimi yapan akıllı malzemeler (bkz Şekil 2.11) (Ritter, 2007:45).

Akıllı malzemelere dayalı ileri teknolojilerin uygulanması sürdürülebilir yapı anlayışına önemli ölçüde katkıda bulunmuştur. Bu teknolojilerin sunduğu birçok avantaj özellikle yeni ve mevcut binaların güçlendirilmesinde geniş bir tasarım imkanı sunmaktadır. Mimaride akıllı malzeme kullanımı mikro ve makro ölçekte değerlendirilmiş ve yapı eleman ve bileşimlerinde uygulama alanları belirlenmiştir (bkz Çizelge 3.2).

Bu bölümde tez çalışması kapsamında yapılan alan çalışmasına ait verilere yer verilmiştir. Öncelikle mimaride son yıllarda kullanılmaya başlanan akıllı malzemeler; alanında öncü çalışmaları bulunan Ritter (2005) ile Addington ve Schodek (2005)’in yaptıkları sınıflandırmadan yola çıkarak halihazırda “kullanımda” olan ve “mimaride uygulanabilirliği” açısından mevcut literatür analiz edilmiştir. Yapılan bu analiz sonucu mimaride kullanılan akıllı malzemeler;

- Kendi kendini temizleyen malzemeler
- Kendi kendini onaran malzemeler
- Akıllı camlar (Kromik malzemeler)
- Yüksek yalıtım sağlayan malzemeler
- Diğer akıllı malzemeler

başlıkları altında gruplandırılmıştır. Neden bu malzemelere gereksinim duyulduğu ve hangi özellikleri nedeniyle bu işlevi gerçekleştirebildikleri örnekler ışığında açıklanmıştır. Söz konusu malzemelerin avantaj ve dezavantajlarına yer verilerek mimarlığa getirdiği yenilikleri değerlendirme yapabilmek için bir altlık oluşturulmuştur.

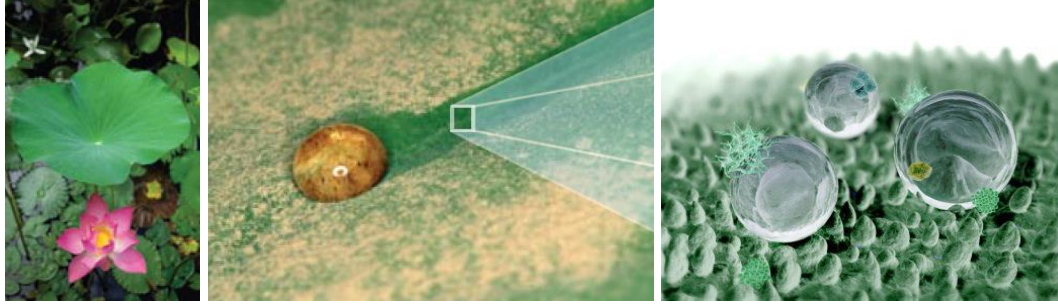
4.1. Kendi Kendini Temizleyen Malzemeler

Kentlerin büyümesi, endüstrinin gelişmesi her geçen gün, enerji tüketimini arttırmakta, hava kalitesinin ve çevrenin bozulmasına neden olmaktadır. Özellikle artan sera gazları, endüstriyel atıklar, fosil yakıtların yakılması gibi etkiler sonucu artık çevresel kirliliğinin küresel boyutlara ulaştığını ortaya koymaktadır. Bu kirlilik insan ve canlı organizmalar üzerinde sağlık problemlerine yol açtığı gibi yapıların estetik görünümünü bozan ve yapısal zararlar da meydana getirebilen ciddi bir unsur haline gelmektedir. Yapı sektöründe yaşanan bu problemlere çözüm olabilecek, çevre dostu alternatif malzeme arayışları sonucunda yenilikçi bir teknoloji ortaya konulmuştur. Kendi kendini temizleyen malzemeler olarak adlandırılan bu teknoloji iki kategoride değerlendirilmiştir: Lotus etkisi (*hidrofobi*) ve fotokataliz (*hidrofil*). Her iki malzeme de suyun etkisi sayesinde kendilerini temizlemektedirler (Parkin and Palgrave, 2004).

4.1.1. Lotus etkisi ile kendi kendini temizleyen malzemeler

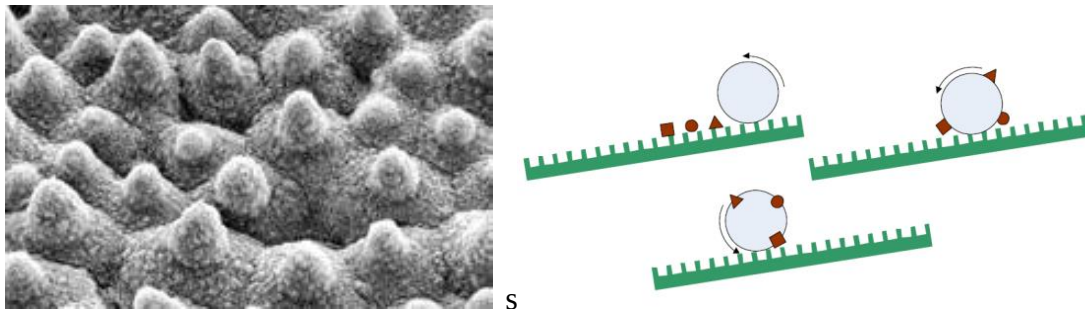
Adını kendi kendini temizleme özelliği olan lotus bitkisinden alan, yaprağın nano yapısının fizikokimyasal özelliklerini taşıyan ve bugün yapı sektöründen tekstile, otomotivden uçak teknolojilerine kadar birçok alanda kullanımına rastlanan doğadan teknolojiye aktarılan bir uygulamadır (Demir, Özdoğan ve Seventekin, 2006).

Lotus yaprağı yüzeyinin çözünmeyen bir polimer ve mumlardan meydana gelen kütikula adı verilen ince bir tabaka ile kaplı olduğu görülmüş (Resim 4.1) ve 1970’lerde botanikçi Willhelm Barthlott tarafından keşfedilmiştir (Leydecker, 2008).



Resim 4.1. Lotus bitkisi ve yaprağının yüzey yapısı (Peter, 2008)

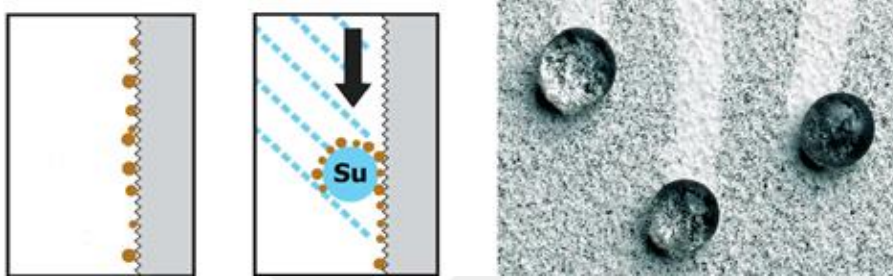
Hidrofobi ya da süper hidrofobi olarak bilinen bu özellik bitkiye yüksek bir su iticilik kabiliyeti sağlamaktadır. Ayrıca kir ve mikroorganizmalar ile yaprağın yüzeyi arasındaki çekim kuvvetinin az olması, yüzeyin su ile teması sonucunda oluşan küçük damlacıklar yaprak üzerinden Resim 4.2’de görüldüğü gibi kir ve mikroorganizmalara da yapışıp yuvarlanarak ilerlemektedir. Kendi kendini temizlemek olarak adlandırılan bu etki lotus yaprağının temiz kalmasını sağlayıp kirlenmeye karşı direncini arttırmaktadır. Sistemin etkin çalışabilmesi ve suyun yaprak yüzeyine tutunması sağlayacak alanı oluşturmaması için yaprak yüzeyine gelen su ile yüzey arasındaki açı 120° ’yi geçmemelidir (Demir ve diğerleri, 2006).



Resim 4.2. Lotus yaprağı SEM fotoğrafı ve yüzey üzerinden damlanın uzaklaştırılması (Demir ve diğerleri, 2006).

Bu biyolojik mekanizmanın taklit edilmesi ve teknolojiye aktarılması “Lotus Etkisi” (*Lotus Effect*) adıyla 1998 yılında biolog Barthlott ve Neinhuis tarafından gerçekleştirilmiş ve ticari patenti alınmıştır (Parkin ve Palgrave, 2004).

Doğadan edinilen tüm bu bilgiler nanoteknoloji ve doğru tasarımın bir araya getirilmesi ile yapay lotus yüzeylerin oluşmasına olanak sunmaktadır. Bu buluş mimaride yapı dış cephelerinde kendi kendini temizleyen yüzeylerin oluşmasını sağlamaktadır. Oluşturulan mekanizmanın kendi kendini temizlemesi için yağmur suyuna ihtiyaç duymasından dolayı açık yüzeylerde kullanılmaktadır (Resim 4.3). Lotus etkisi kullanılan ilk üretim günümüzde de yaygın olarak kullanılan silikon reçine esaslı dış cephe boyalarıdır. Bu boyanın içerisinde bulunan silikon esaslı nano-parçacıklar lotus yaprağının yüzeyindeki mikro yapılandırmayı oluşturarak lotus etkisi yaratmaktadır (Barthlott ve diğerleri, 2007).



Resim 4.3. Lotus etkili yüzeyler için kendini temizleme mekanizması (Orhon, 2014).

Mimaride lotus etkili boya kullanımı artarak devam etmektedir. Ara Pacis Müzesi ve ilginç bir forma ev sahipliği yapan Luminart Binası bu malzemenin kullanıldığı yapılara örnek olarak verilmiştir.

Çizelge 4.1. Ara Pacis Müzesi (Leydecker, 2008:62).

ARA PACIS MÜZESİ		
Yer	Roma, İtalya	
İşlev	Müze	
Tasarım	RichardMeier&Partners	
Yapım yılı	2006	
Akıllı Malzeme	Lotusan, kendini temizleyen boya	
Kullanım Alanı	Dış Cephe Boyası	

M.Ö. Roma'nın en önemli imparatorlarından olan Ara Pacis Augustus adına yapılan sunak yapısı, bugün modern bir müze yapısı içerisinde yer almaktadır (Çizelge 4.1). Önemli bir

arkeolojik alana ev sahipliği yapan müze cam duvarlar ve çatı içerisine alınan ışıqla tarihi yapıyı ön plana çıkarmaktadır (Brebbia, 2011: 582).

Büyük traverten bloklarının kullanıldığı yapı, beyaz renk ile boyanmıştır. Beyaz renk kullanımını mimarisinde tipik hale getiren mimar Richard Meier, Roma şehrinin havasının çok kirli olmasından dolayı cephede beyaz rengi kirlenmekten korumak üzere kendi kendini temizleyen özellikli lotusan boya kullanılmıştır (Leydecker, 2008:62).

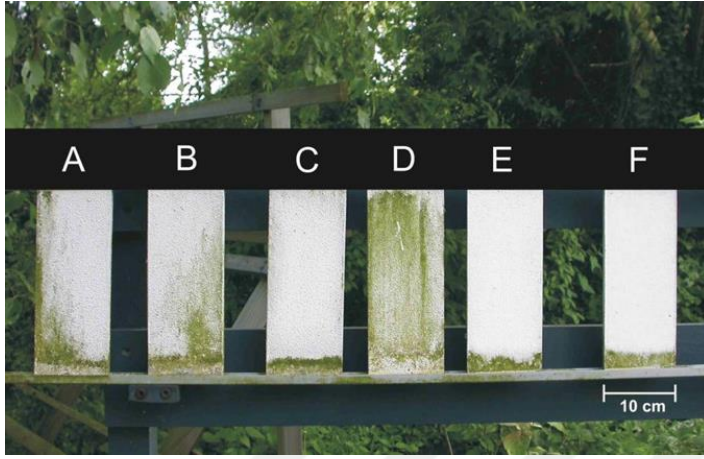
Monolitik bir kubik düzenleme içerisinde abartılı bir forma sahip olan binanın dış cepheleri beyaz renk ile boyanmıştır (Çizelge 4.2). Saf beyaz yüzeylerin yoğunluğu lotus etkili cephe kaplaması yardımıyla kire karşı koruma sağlanmıştır. Nano ölçekte pürüzlü yüzeye sahip olan cepheler yağmur suyu sayesinde kir ve mikroorganizmaların arındırılmasına katkıda bulunmuştur. Bu özellik hiçbir yenileme gerektirmeden beş yıl boyunca kendi kendini temizleme fonksiyonunu devam ettirmektedir (Leydecker, 2008:65).

Çizelge 4.2. Luminart Binası (Leydecker, 2008:65)

LUMİNART BİNASI		
Yer	Pula, Hırvatistan	
İşlev	Ticari Bina	
Tasarım	Rusan Architecture	
Yapım yılı	2006	
Akıllı Malzeme	Lotusan, kendini temizleyen boya	
Kullanım Alanı	Dış Cephe Boyası	

Birçok bilimsel çalışma bina cephelerinde, çatı kiremitlerinde, beton ve hatta cam üzerinde yaşayan bakteri, mantar ve alglerin ürettikleri organik ve inorganik asitlerin yapı üzerinde ciddi hasarlara sebep olduğunu göstermektedir. Bu biyolojik bozunmayı önlemek için mikroorganizmaları kontrol eden veya öldürücü etkisi olan “biyosit” adında bir kimyasal madde geliştirilmiş ve yapı malzemelerine eklenerek bu maruziyet ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır. Bu bağlamda kendi kendini temizleyen yüzeylerde yapılan bazı bilimsel

çalışmalarda lotus etkisinin yapılar üzerinde biyolojik bozulmayı azaltıp azaltmadığı test edilmiştir. Resim 4.4’de görüldüğü gibi örnek duvarlarda geleneksel boya (A-D) ve lotus etkili boya kullanılmış ve test numularının sahadaki sonuçlarını görmek için yüzeylerin mikroorganizma istilasına yatkınlıkları karşılaştırılmıştır. Altı yıllık çalışmanın sonucunda lotus etkili yüzeylerin çok az yeşil alg ile kaplandığı saptanmıştır (Barthlott ve diğerleri, 2007).



Resim 4.4. Geleneksel boya (A-B-C- D) ve lotus etkili boya (E-F) (Barthlott ve diğerleri, 2007)

Cephelerdeki boya kullanımının dışında çatı kiremitlerinde, camlarda ve bazı nesneler üzerinde su geçirmezlik sağlayan spreylere de üretilmiştir (URL-10). Lotus etkili kaplamaların kullanılmasının bir dizi potansiyel uygulaması ve bununla ilişkili faydaları aşağıda açıklanmıştır (Barthlott ve diğerleri, 2007; Colins, Hossain ve Safuiddin, 2018):

- Lotus etkili kendi kendini temizleyen yüzeyler; enerji, su ve temizlik malzemelerinden tasarruf sağladığı için sürdürülebilir ve çevre dostu bir uygulamadır. Ayrıca temizlik malzemelerin çevreye verdiği kimyasal zararın da önüne geçilmiştir.
- Yapıların dış duvarlarına veya cephelerine uygulanan lotus etkili kaplama ile yüksek su iticiliği sayesinde su emiliminden kaynaklanan nem oranı en aza indirilmiş ve tozsuz bir yüzeyin elde edilmesi sağlanmıştır. Aynı zamanda bu tür bir kaplama küf ve yosunların barınmasına karşı dayanıklıdır.
- Zemin kaplama malzemelerinde kullanımı dayanıklılık sağlar. Suyun nüfuzu birçok döşeme malzemesine zarar verebilmektedir. Lotus etkili kaplamalar sayesinde döşemeler üzerinde suyun nüfuzu azaltılmış ve uzun ömürlü olması sağlanmıştır.

- Lotus etkili kaplamaların çatılarda kullanımı yağmur ve kar suyunun drenajını hızlandırmış, yosun ve bakteri üretimini minimuma indirerek binaların sağlığını iyileştirmiştir. Ayrıca çatıda su birikintisinin neden olduğu hidrostatik basınç azaltılmıştır.
- Lotus etkili kaplamalar süper hidrofobik özellik sayesinde korozyona karşı dirençlerini arttırmak için metal ve alaşım yüzeylerine korozyon bariyeri olarak uygulanabilmektedir.

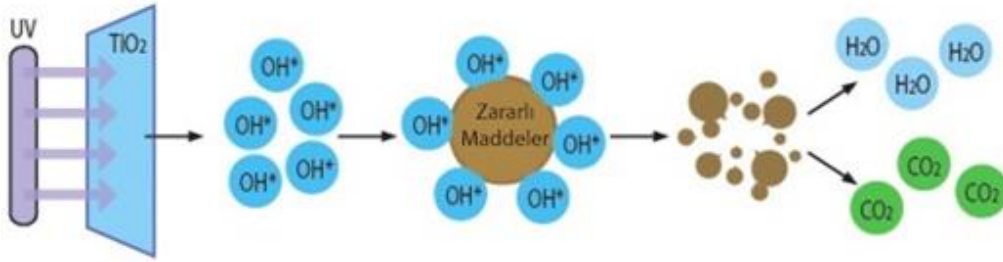
4.1.2. Fotokataliz ile kendini temizleyen yüzeyler

Fotokataliz ile kendi kendini temizleme işlevi, yapı endüstrisinde en yaygın kullanılan nanoteknoloji ürünüdür (Leydecker, 2008: 72). Fotosentez reaksiyonlarının yapı malzemeleri üzerinde gerçekleştirilmesinden dolayı yapay fotosentez olarak da adlandırılmıştır (Yüksel, 2010: 6). Lotus etkili yüzeylerin aksine hidrofil (su seven) özelliğe sahip olan bu yüzeyler üzerine tutunan kirletici maddeleri güneş ya da UV ışınları altında parçalayarak tamamen zararsız olan H_2O ve CO_2 'e dönüşümlerini sağlamaktadır (Bolte, 2009).

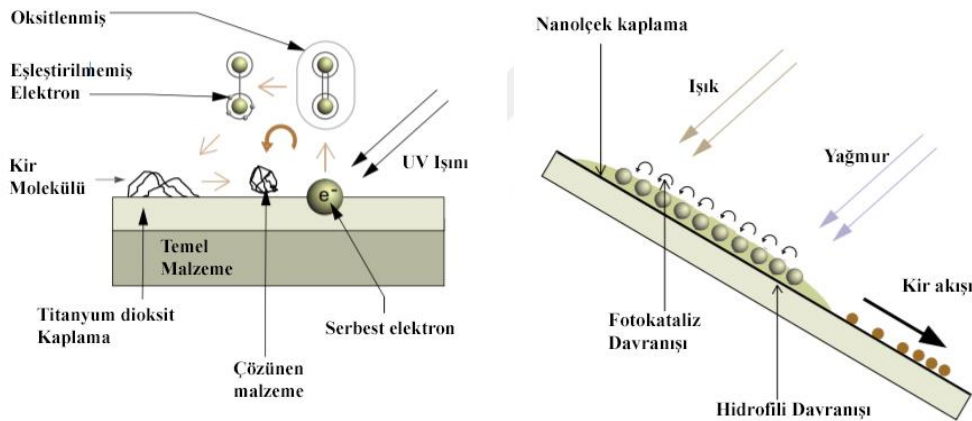
Fotokataliz; bir katalik aracılığı ile ışık enerjisini kimyasal enerjiye transferini sağlayan, kinetik hızı düşük bir tepkimenin fotonlar aracılığıyla sağlanan enerji ile reaksiyonu hızlandırma işlemidir. Fotokatalik, güneş ya da herhangi bir ışık kaynağında bulunan UV ışığı ile aktive edilebilirler. Şekil 4.1'de görüldüğü gibi atmosferdeki oksidasyon sürecini hızlandıran bu madde hava kaynaklı yüzey üzerinde biriken birçok organik maddenin ayrışmasını sağlamaktadır (Yüksel, 2010: 5). Fotokatalik olarak bilinen ve günümüzde yaygın olarak kullanılan malzeme Titanyum dioksit (TiO_2) olarak bilinmektedir. TiO_2 'nin yaygın olarak kullanılmasının nedeni diğer katalik maddelere nispeten daha ucuz ve güvenilir olması ve UV ışınlarına karşı aktivitesinin yüksek olması gibi özelliklerden kaynaklanmaktadır (Orhon, 2014).

Fotokataliz kullanarak kendi kendini temizleyen yüzeyler 1967 yılında Tokyo Üniversitesi'nden Akira Fujishima tarafından keşfedilmiştir. Honda-Fujishima olarak da bilinen bu keşif 1994 yılında piyasaya sunulmuş ve kullanımı tüm dünyada yaygınlaşmıştır. Fotokatalik özelliğe sahip TiO_2 yüzeylerinin hidrofilik (su sever) özelliğe sahip olduğu sonradan keşfedilmiş ve bu buluş kendini temizleyen cam teknolojilerinin öncüsü

olmuştur. Şekil 4.2’te gösterildiği gibi hidrofilik yüzeylerde suyun damlacıklar halinde toplanmasından ziyade bir film tabakası gibi dağılması yüzeyin enerjisini arttırmakta ve TiO_2 ile kaplı yüzey günışığında UV ışığı altında fotokataliz sonrasında ayrıştırılan kirlenici parçacıkları yağmur sonrası etkin bir biçimde kendini temizleme sağlamaktadır (Leydecker, 2008:73).



Şekil 4.1. Fotokatalitik ile kendi kendini temizleme mekanizması süreci (URL2)



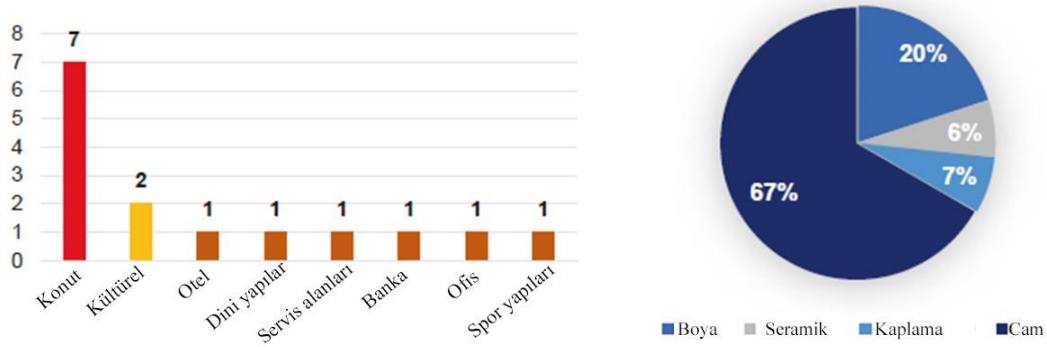
Şekil 4.2. Hidrofilik yüzeyde fotokatalitik davranışı (Ashby, Ferreira ve Schodek, 2009:410)

TiO_2 'nin kullanım alanlarının her geçen gün artmasına rağmen, sadece UV ışığı ile aktivite edilmesi onun uygulamalardaki kullanımını kısıtlamaktadır. Bu sebeple TiO_2 'yi gün ışığında fotoaktif hale getirmek için araştırmalar yapılmaktadır. TiO_2 içerisine katılan çinko, demir, bor gibi elementler ile fotokatalitik aktivitesi artırılmaya çalışılmıştır (Şam, 2007: 4).

Fotokatalitik sistemlerinin yüzey kaplamalarında kendi kendini temizleme işlevi dışında; bakteri ve virüsleri parçalayarak yok etme, koku giderme, hava temizleme, iç mekan hava

kalitesini arttırma ve su kirliliği kontrolü sağlama özelliklerine de sahiptir (Ashby, Ferreira ve Schodek, 2009:410).

Fotokatalik malzemelerin uygulama alanları yapı sektöründe de geniş yer tutmaktadır. Şekil 4.6' da görüldüğü üzere özellikle tüm bina tiplerinde esas olarak yapı cephelerinde cam, boya, seramik ve membran kaplamaları ile birlikte uygulanmaktadır (Syahig, 2019: 298).



Şekil 4.3. Fotokatalik kaplamaların bina tipleri ve uygulamaları (Syahig, 2019: 298)

Japonya'da *hidroTECT®* adıyla patent alan ve cam, seramik, metal gibi malzemelerin TiO_2 bazlı nano seviyedeki partiküllerle kaplanmış, fotokatalik bozunma yoluyla kendini kir ve tozdan uzak tutan kendi kendini temizleyen yüzeyler üretilmiştir. Bu yüzeylerde temizlenme süreci iki aşamada gerçekleştirilir (Şekil 4.4). İlk aşama, fotokatalitik kaplamalar yabancı maddelerin oksitlenmesine yardımcı olan UV ışığı ile kimyasal reaksiyonun gerçekleşmesini sağlar ve organik kirleri parçalar. İkinci aşamada ise yüzey yağmura maruz kaldığında, hidrofili etki ile yağmur suyu büyük damlacıklar olmadan film levhası gibi yayılarak ince bir tabaka oluşturur. Bu su tabakası gevşemiş kir partiküllerini yüzeyden uzaklaştırır (Ashby, Ferreira ve Schodek, 2009:414).



Şekil 4.4. Fotokatalik bozunma yoluyla kendi kendini temizleyen cam (Leydecker, 2008: 73)

Çizelge 4.3. Brive-la-Gaillarde Hastanesi (URL-11)

BRIVE LA GAÏLLARDE HASTANESİ		
Yer	Brive-la-Gaillarde, Fransa	
İşlev	Hastane	
Tasarım	Espagno Milani Architectes Associes	
Yapım yılı	2012	
Akıllı Malzeme	Fotokatalik Cam	
Kullanım Alanı	Dış Cam Cephe	

Fransa’ daki Brive-la-Gaillarde hastanesi hem cephe kalitesinin iyileştirilmesi adına hem de kendini temizleyen cam sistemlerinin entegre edildiği bir yenileme projesidir (Çizelge 4.3). 1976 yılında inşa edilen bina 2012 yılında mimari stüdyo Emaa tarafından Maniere & Mas tasarım şirketi ile işbirliği içinde yeniden tasarlanmıştır. Hastane merkezinin ana arterini kaplayan güneydoğu ve güneybatı cephelerine çift cidarlı sistem eklenerek, yapının bulunduğu alanın çevre koşullarına uygun termal ve akustik iyileştirme için dıştan havalandırmalı bir kalkan oluşturmak hedeflemiştir. Çift cidarlı cephe sayesinde tüm seviyelerde bir metre kalınlığında köprüler kurulmuştur. Dış cam, bina boyunca bir tampon alan oluşturan termal bariyer sağlamaktadır. Bu alan kışın sera etkisi ve yazın baca etkisiyle havalandırma ihtiyacını karşılamaktadır. Aynı zamanda cephe kendi kendini temizleme özelliğine sahiptir ve gerekli yağmur suyunun cam yüzeyine ulaşması için güneşlik profili ters bir eğimle yerleştirilmiş, cephe ve güneşlik sacı arasındaki boşluk yağmur suyunun akışına izin vermiştir (Curcis, 2018).

Monte Verde, Wienerberg’de şehrin dinamik kentsel gelişimini ve rolünü yansıtan yüksek katlı bir konut projesidir (URL 12). Çevrede gri olan yüksek katlı binaların aksine, tüm cephe özel tasarlanmış mavi-yeşil seramik plakalarla kaplanmıştır (Çizelge 4.4). TiO_2 ile sırlanmış *hidroprotect®* yüzey seramik plakalarına şeffaf bir sıvı olarak sprey ile uygulanmış ve daha sonra fırınlanmıştır. Fotokatalik kaplama ile cephede kendi kendini temizleme özelliği kazandırılmıştır. Ayrıca, kaplama yüzeyindeki serbest elektronlar tarafından üretilen aktif oksijen nedeniyle hava temizleme etkiside vardır (Ritter, 2007:100). Yapılan

araştırmalara göre 1000 m² fotokatalik ile kaplı cephenin hava temizleme etkisi 70 orta boy ağaç ile eşit olduğu saptanmıştır. 6800 m² fotokatalik seramik cephe kaplamasına sahip olan Monte Verde 476 ağacın eşdeğeri niteliğindedir (Ritter, 2007:100).

Çizelge 4.4. Monte Verde Binası (URL-12)

MONTE VERDE BİNASI		
Yer	Wienerberg, Viana, Avusturya	
İşlev	Konut	
Tasarım	Albert Winner, AN_Architects	
Yapım yılı	2004	
Akıllı Malzeme	Fotokatalik Seramik	
Kullanım Alanı	Dış Seramik Cephe	

Dünyadaki en büyük inşaat malzemesi gruplarından birini oluşturan beton ve çimento esaslı kompozitlerin niteliklerini geliştirmek ve daha çevre dostu hale getirmek için gayret gösterilmektedir. Ergonomik ve uygulamada piyasada mevcut bir çözüm haline gelen “kendi kendini temizleyen” beton, bu bağlamda geliştirilen malzemelerden biri olmuştur. Bu malzemelerdeki etken metot fotokatalizörlerin kullanımıdır. Yarı iletken malzeme olan TiO₂, organik, biyolojik maddeleri ve kirleticileri parçalayarak malzemeyi çevreye faydalı ve iyi bir tesire sahip moleküller haline dönüştürmektedir. Çünkü, ışıktan gelen enerji, TiO₂’nin yüzeyinde dağılan elektronların yük ayrımını oluşturmaya sebep olmakta ve reaksiyon sonucu organik bileşiklerin ayrışması gerçekleşmektedir. Bahsi geçen bu betonda bir diğer önemli avantaj ise, beyaz renginin güneşi yansıtmasından dolayı, ısı kazanımlarını arttırarak, binaların soğutma yüklerini azaltmayı başarmıştır (Konarzewska, 2017).

Fotokatalik betona sahip en ünlü yapılardan biri yapımı 2003 yılında tamamlanmış Jubilee Kilisesi’dir. Yükselen yapı, ödüllü uluslararası mimari firma Richard Meier & Partners mimarları tarafından tasarlanmıştır (Çizelge 4.5). Yapının cephelerinde, beyaz kırılmış Carreca mermerinin fotokatalik çimento ile harmanlandığı 256 prefabrika beton blok kullanılmıştır (Ashby ve diğerleri, 2009:416). Mimari prestij ve sembolik öneme sahip

olan bu beton bloklar, sadece dayanıklılıkta yüksek performans göstermemekte, aynı zamanda kendi kendini temizleme özelliği sayesinde daima beyaz rengini koruyarak ve estetik görünümünü korumaktadır (TX Active Technical Report, 2008). Ayrıca havadaki azot oksit ve uçucu organik bileşiklerin azaltılmasına yardımcı olmasından dolayı “havayı temizleyici” ve “kirlilik yiyici” beton olarak da tabir edilmektedir (Leydecker, 2008:115).

Çizelge 4.5. Jubilee Kilisesi (Leydecker, 2008:115)

JUBİLEE KİLİSESİ		
Yer	Roma, İtalya	
İşlev	Kilise	
Tasarım	Richard Meier & Partners	
Yapım yılı	2003	
Akıllı Malzeme	TX Millenium, TX Aktif, Fotokatalitik çimento	
Kullanım Alanı	Yapı Kabuğu (Prekast Beton)	

Fotokatalik çimento kullanımına örnek bir diğer yapı, Stüdyo Nemesi ve partnerleri tarafından tasarlanan bu yapı, dünyanın en büyük problemlerinden olan kirlilik ile mücadele etmek için yaratıcı çözümler bulmuşlardır. Eşsiz ve orijinal geometrik dokuya sahip olan yapı kabuğu yaklaşık 9000 m²'lik cephede 900 panelden oluşan biyo-dinamik çimento endüstrisinden *Italcementi*® tarafından gerçekleştirilmiştir. Beton, geleneksel çimentonun TiO₂ ile karışımından oluşmaktadır (Çizelge 4.6). Bu karışım dumanın ana bileşeni olan azot oksit parçalanmasını sağlayıp hem kendisinin hem de havanın temizlenmesine katkı sunmuştur. Ayrıca beton karışımında agrega olarak geri dönüştürülmüş mermer ve granit kullanılması, fotovoltaik bir cam tavana sahip olması yapının diğer sürdürülebilir özelliklerindendir (URL 14).

Çizelge 4.6. Italy Pavilion – Milan Expo 2015 (URL-13)

ITALY PAVILION- MILAN EXPO 2015		
Yer	Milano, İtalya	
İşlev	Sergi Salonu	
Tasarım	Studio Nemesi & Partners	
Yapım yılı	2015	
Akıllı Malzeme	TX Millenium, TX Aktif, Fotokatalitik çimento	
Kullanım Alanı	Yapı Kabuğu (Prekast Beton)	

Verilen bu örneklerle ek olarak, kendi kendini temizleyen malzemeler, binaların orijinal estetik görünümünü neredeyse hiç çaba harcamadan ve çok düşük maliyetle sürdürme olasılığı nedeniyle tarihi binaların korunması alanında geniş bir kabul görmüştür. Yapıların cephe malzemelerine TiO_2 bazlı ürünlerin uygulanması, yüzeylerinin zamanla temiz kalmasına izin vermekle kalmaz, aynı zamanda küf oluşumunun ana nedenleri arasında olan fototropik bakteri büyümesi riskini en aza indirir (Andalora ve diğerleri, 2016).



Şekil 4.5. Fotokatalizin sunduğu avantajlar (Benedix, Dehn ve Orgass, 2000:163)

Fotokatalizin hem teknolojik hem ekonomik önemi nanoteknolojideki gelişmelerle güçlü bir şekilde büyük ölçüde artmıştır. TiO_2 gibi fotokatalitik kaplamaların kendi kendini temizlemesinin yanında (Şekil 4.5);

- Yüzey üzerine tutunan bakteri hücrelerini hem öldürmesi hem ayrıştırması açısından antibakteriyel etkisi,
- Havadaki kirli bileşiklerin azaltılması veya ortadan kaldırılması açısından hava temizleme etkisi,
- Güneşin UV ışınları fotokatalist ile reaksiyona girerek sudaki zararlı maddeleri zararsız hale getirerek su arıtma etkisi

gibi çevresel problemleri azaltacak faydalar sunmaktadır (Benedix, Dehn ve Orgass, 2000:163).

Kendi kendini temizleyen malzemeler, yüksek performanslı cephe sistemlerinin oluşturulması için mevcut malzemelerin işlenmesi ve entegre edilmesini sağlayarak geniş bir yenilik yelpazesi sunmaktadır. Bu tür nanokaplamaların yapılarda kullanılması;

- Cephelerin sürekli temiz kalmasını sağlayarak estetik görünümüne katkı sağlaması
 - Uzun vadede bakım maliyetlerinin düşürülmesi
 - Çevrenin kirlilik seviyesini kayda değer ölçüde azaltması ve
 - Hava kalitesinin iyileşmesi, dolayısıyla yaşam kalitesini önemli ölçüde artırması
- gibi olumlu etkilerinin olduğu söylenebilir.

4.2. Kendi Kendini İyileştiren Malzemeler

Yapay malzemelerin kullanım süresi boyunca yapısal bütünlüklerini geri kazanabilmesi artık bir yanılsama değildir. Binalardaki çatlaklar kendi kendine kapanabilir ve araba gövdelerindeki çizikler orijinal parlak görünümünü kendiliğinden kazanabilir. Neredeyse tüm malzemelerde zamanla hasar ve bozunma meydana gelebilmektedir. Malzeme durumunda meydana gelen bu yapısal bozunma uzun sürede ciddi zararlara neden olan mikro çatlak ve kusurlara yol açmaktadır. Oluşan mikro hasara cevap veren otomatik olarak onarım mekanizmasının başlatılması yoluyla bozunmaya karşı koyan kendi kendini iyileştiren malzemeler; malzemenin güvenilirliğini ve ömrünü arttırmak için vazgeçilmez hale gelmiştir (Ghosh, 2009:1). Kendi kendini iyileştiren malzemeler, herhangi bir dış müdahale olmadan kendiliğinden hasarları iyileştirebilen malzemeler olarak tanımlanmıştır (Madara ve diğerleri, 2018).

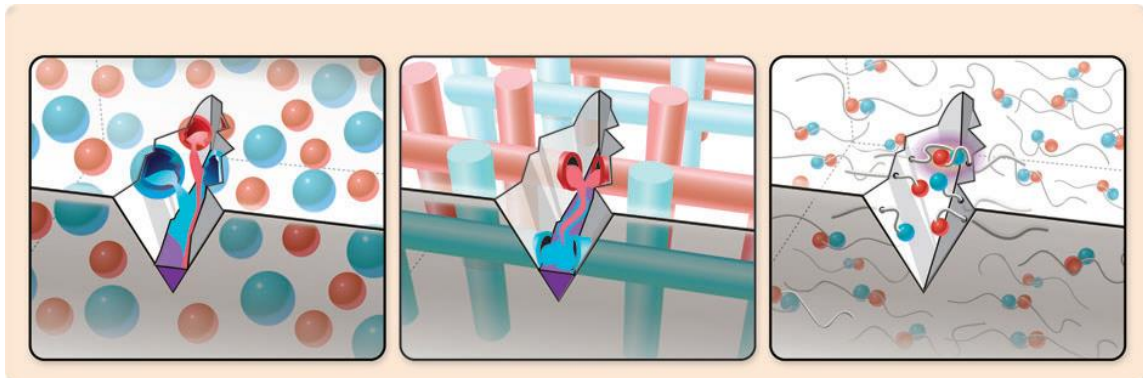
Kendi kendini iyileştiren malzemelerin en yaygın türü polimerler olmakla birlikte, metaller (alaşımlar), seramikler ve çimento bazlı malzemelerde dahil olmak üzere tüm malzeme

gruplarını içermektedir (Ghosh, 2009:2). Her bir malzemenin kendini iyileştirme mekanizması farklıdır. İyileştirme mekanizmaları için çeşitli tasarım stratejileri geliştirilmiştir. Bu stratejiler genel olarak üç ana başlık altında incelenmiştir (Blaizsik ve diğerleri, 2010).

Kapsül bazlı yöntem: Malzeme içerisine gömülü olan mikro kapsüller, onarım maddesi (*healing agent*) içermektedir. Hasar oluşumu esnasında mikro kapsüller parçalanır. Onarım maddesi hasar bölgesine salınır ve malzeme içerisinde bulunan katalizör ile arasında reaksiyon meydana gelir. Tepkime sonucunda hasar onarılmış olur. Bu yöntem sadece tekil bir iyileşme olanağı sunmaktadır (Şekil 4.6.a).

Vasküler yöntem: Onarım maddesi farklı seviyelerdeki birbirine bağlı kanallar ya da lifler içerisinde muhafaza edilmektedir. Malzemede meydana gelen hasar sonucunda onarım maddesi salınır ve kanalların hasar görmemiş fakat ağa bağlı bir bölgesinden doldurma işlemi gerçekleştirilerek çatlak onarılmış olur. Bu yöntem birden fazla iyileşme imkanı sunmaktadır (Şekil 46.b).

İçsel (Intrinsic) onarım yöntemi: Bu yöntemin çalışma mekanizması diğerlerinden farklıdır. Diğerlerinde malzeme içerisinde bulunan onarım maddesi yerini bir dış uyarana (sıcaklık, ışın, mekanik, kimyasal vb.) bırakır. Meydana gelen hasar sonucunda dış uyaran ile kimyasal bağlar oluşturarak kendi kendini iyileştirme mekanizması sağlanmaktadır (Şekil 4.6.c).



Şekil 4.6. Kendi kendini iyileştirme mekanizmaları a. Kapsül bazlı yöntem b. Vasküler yöntem c. İçsel onarım yöntemi (Blaizsik ve diğerleri, 2010).

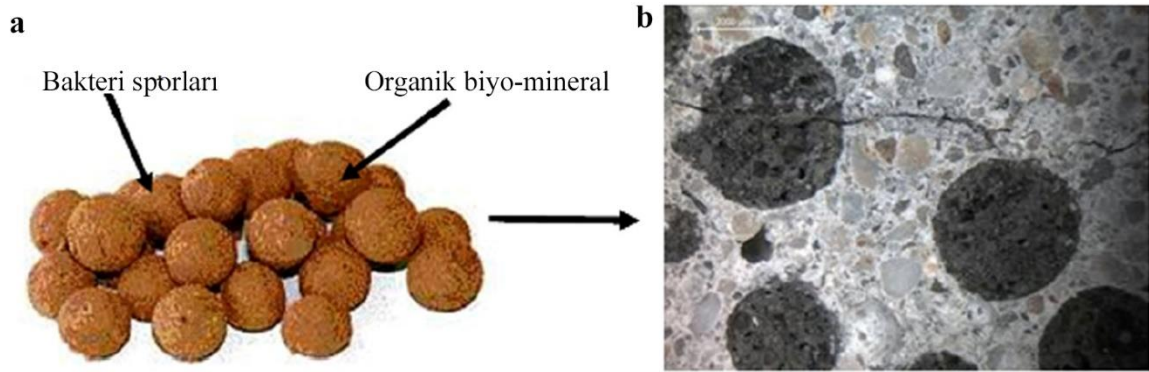
Kendi kendini iyileştiren malzemelerin uygulaması gelecekte tüm endüstriyel alanlarda beklenmektedir. Bugüne kadar geliştirilen uygulamalar ağırlıklı olarak otomotiv, havacılık ve inşaat sektöründe olmuştur. Ancak, bu malzemelerin geldiği nokta ürün geliştirme ya da laboratuvar uygulaması seviyesindedir, henüz pazarlama seviyesinde mevcut değildir (Ghosk, 2017:24).

Kendi kendini onaran malzemelerin yapı endüstri segmentinde birçok uygulamasının olacağı beklenmektedir. Özellikle dünyada en çok kullanılan inşaat malzemesi olan beton ile ilgili çalışmaların yakın zamanda piyasaya sürülmesi öngörülmektedir (Alhalabi ve Dopudja, 2017).

Birçok beton yapıda çatlak oluşumu (yarı kırılğan bir malzeme olmasından dolayı) tipik bir olgudur. Daha büyük çatlaklar yapısal bütünlük için tehdit oluştururken, mikro seviyedeki çatlaklar matris geçirgenliğini arttırdığı için dayanıklılık sorunlarına yol açmaktadır. Betonun düzenli olarak bakım ve onarımı hem çok pahalıdır hem de bazı durumlarda mümkün değildir (Jonkers, 2011). Bütün bu problemlere yanıt olarak malzemenin dayanıklılığını arttırmak ve onarım maliyetini azaltmak adına; yapı teknolojisinde kendi kendini iyileştirme özelliğinin geliştirmesine artan eğilimler çok yönlü özelliklere ve yüksek sürdürülebilirliğe sahip akıllı malzemelerin ortaya çıkışına sebep olmuştur (Sarkar ve diğerleri, 2013). Betondaki çatlakları kendi kendine onarmanın yapay yoluna ilk olarak 1994 yılında başlanılmıştır. Ana yöntem olarak mikro kapsül içine gömülü olan bir “onarıcı madde” yerleştirilmiştir. Çatlakların oluşumu sırasında kırılan kapsüllerin içerisinden serbest bırakılan onarıcı madde sayesinde çatlak tamir edilmektedir (Nishiwaki ve diğerleri, 2006). Ancak son zamanlarda betondaki çatlakları tamir etmek adına Delft Üniversitesi ve Cardiff Üniversitesi tarafından daha etkili mekanizmalara sahip araştırmalar ortaya konmuştur (Ghosh, 2009:144).

Delft Teknoloji Üniversitesi 2005 yılında yeni nesil kendi kendini iyileştiren beton geliştirmek adına çeşitli katkı maddelerinin işlevselliğini incelemek için bir girişim başlatmıştır (Ghosh, 2009:152). Biyolog Henk Jonkers ve beton alanında çalışmaları bulunan Eric Schlangen öncülüğünde başlatılan bu girişimde bakteri kullanılarak beton yapıların kendilerini tamir etme potansiyelleri araştırılmıştır. Biyo-beton olarak da bilinen bu çalışmada suda çözülebilen özelliklere sahip *bacillus* bakterileri ve bakteriler için uygun bir besin kaynağı biyo-kimyasal katkı maddesi olan kalsiyum laktat mikrokapsüllere

gömülerek beton içerisine yerleştirilmiştir (Resim 4.5) (Çekic, Korkmaz ve Stein, 2016:10). Betonda çatlak meydana geldiği zaman, su çatlağın içerisine sızarak kapsül içerisinde uykuda olan bakterilerin aktif hale gelmesini sağlamıştır. Kalsiyum laktat ($C_6H_{10}CaO_6$) ile beslenen bu bakteriler kısa sürede çimlenir ve çoğalan bakteriler kalsiyum karbonat (kireç taşı- $CaCO_3$) oluşumuna neden olmakta ve kireç taşı, biyo-çimento gibi davranarak çatlakların kapatılmasını sağlamaktadır (Jonkers ve diğerleri, 2010). Ayrıca Bath Üniversitesi Biyoloji Bölümünden Dr. Richard Kooper bu durumun (bakterilerin kireç taşı üretirken ortamdaki oksijeni kullanmasından dolayı) çelik korozyonunu da önlediğini söylemiştir (Alhadabi ve Dopudja, 2017). Sonuç olarak; betonun kendini iyileştirme kapasitesine bakteriyel yaklaşımın bir katkı potansiyeline sahip olduğunu söylemek mümkündür. Ayrıca yakın zamanda büyük ölçekte uzun vadeli uygulanabilirliği ve uygun maliyetle üretiminin pazarlanması beklenmektedir (Jonkers, 2011).



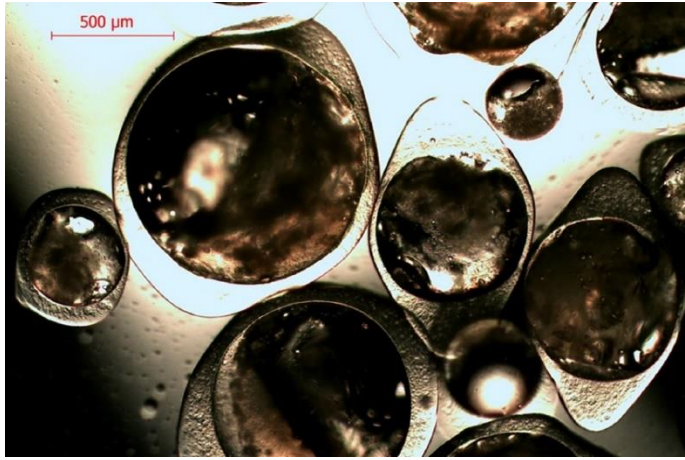
Resim 4.5. a. Bakteri sporları ve organik biyo-mineral (kalsiyum laktat) b. Beton matrisi içine gömülü onarım maddesi (bakteri ve kalsiyum laktat) (Jonkers, 2011)

Betondaki çatlakları tamir etmek adına geliştirilen bir diğer çalışma Cardiff Üniversitesi önderliğinde Cambridge ve Bath Üniversiteleri ile işbirliği içerisinde bir grup araştırmacı tarafından İngiltere’ de gerçekleştirilmiştir. Materials for Live (M4L) adı verilen proje takımı çimentolu malzemeler için bir dizi disiplinler arası teknoloji kullanarak çok ölçekli kendi kendini iyileştirme sistemlerinin gelişmesine öncülük etmiştir. Dört ayrı teknolojinin kullanıldığı bu sistemde (Davies ve diğerleri, 2016);

- Mikro kapsül
- Şekil hafıza polimerleri
- Bakteriyel yaklaşım
- Vasküler ağlar

üzerinden kombinasyonlar denenerek bir sistem geliştirilmeye çalışılmıştır.

Üniversitelerin her biri farklı kendi kendini iyileştirme tekniklerinin geliştirilmesine öncülük etmiştir. Cambridge Üniversitesi araştırmacıları sodyum silikat (Na_2SiO_3) gibi mineral iyileştirici mikro kapsüllerin geliştirilmesi ve betona dahil edilmesi çalışmasına odaklanmıştır (Resim 4.6). Betonda bir hasar meydana geldiği zaman mikro kapsül parçalanır ve içerisinde gömülü olan onarıcı madde salınır ve çatlak kapanır (Davies ve diğerleri, 2018).



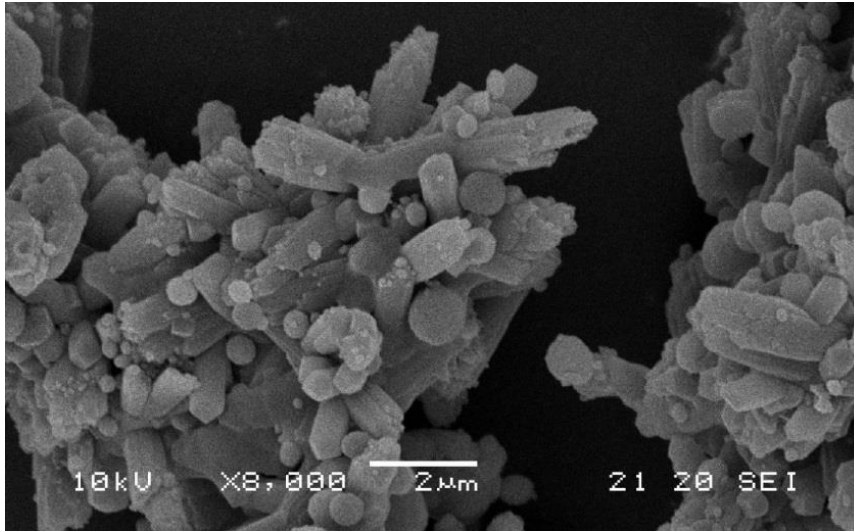
Resim 4.6. % 50 sodyum silikat ve % 50 yağ içeren mikro kapsül (Davies ve diğerleri, 2016).

Cardiff Üniversitesi'nde beton yapılarıdaki çatlakları kapatmak için şekil hafıza polimerleri kullanarak da bir teknik geliştirilmiştir. Bu çalışmayı betonda sıkılaştırıcı bir basınç oluşturmak için çatlak boyutunu azaltan ve otojen iyileştirmeyi arttıran madde polietilen tereftalat (PET) şeritlerinin kullanımı üzerine izlemiştir. Bir çatlak meydana geldiği zaman ısı veya ısıtma yoluyla çatlak içerisindeki şekil belleği polimerleri aktive edilir. Bir gerilme kuvveti meydana gelir, çatlak kendiliğinden kapanır ve otojen iyileşme gerçekleşmeye başlar (Alhadabi ve Dopudja, 2017). Cardiff Üniversitesi tarafından geliştirilen diğer bir teknik ise vasküler (damar) ağlardır. Beton yapılarıya yerleştirilen küçük çaplı kanallardan oluşan bu ağlar; bir hasar meydana geldiği zaman iyileştirici maddeyi basınç etkisi altında pompalayarak onarım sağlanmış olur. Ayrıca iyileştirici maddenin hasar bölgesine göç etmesini sağlamak için, ağlar çatlama en duyarlı bölgeye yerleştirilmiştir (Davies ve diğerleri, 2018). Resim 4.7'de beton dökümünden önce şekil hafıza polimer tendonları (*shape memory polymer tendons*) ve vasküler ağın bir arada kombinasyonu verilmiştir.



Resim 4.7. Beton dökümünden önce şekil hafıza polimer tendonları ve vasküler ağ kurulumu (Davies ve diğerleri, 2018).

Son olarak Bath Üniversitesi tarafından geliştirilen teknik ile beton içerisine yerleştirilen bakteri kapsülleri ve bakterilerin hayatta kalabilmesi için uygun besin kaynağı sayesinde Resim 4.8’ de gösterildiği gibi kireç taşı üreterek çatlakları kapatmayı hedeflenmiştir (Alhadabi ve Dopudja, 2017).



Resim 4.8. Bakteriyel iyileşme sonrası oluşan kalsiyum karbonat (kireç taşı) oluşumu (Davies ve diğerleri, 2016)

M4L proje takımı laboratuvar uygulamasından sonra, sonuçları sahada test etmek ve izlemek amacıyla Güney Galler Vadisindeki bir alanda yukarıda bahsedilen tüm teknikler

kullanılarak büyük ölçekli beton yapılar üzerinde kendi kendini iyileştirme tekniklerinden farklı kombinasyonların uygulandığı beş ayrı numune hazırlanmıştır (Resim 4.9).



Resim 4.9. Saha deneme beton panelleri (Davies ve diğ., 2016)

Deneme yapısındaki her panel belirli bir kendi kendini iyileştirme tekniğini veya tekniklerin kombinasyonunu test etmek için kullanılmıştır. Bu teknikler Çizelge 4.7’de detaylandırılmıştır.

Çizelge 4.7.Deneme beton panelleri ve iyileştirme mekanizmaları (Davies ve diğerleri, 2018)

PANEL	İYİLEŞTİRME TEKNİĞİ
A	Sodyum silikat içerikli mikrokapsül
B	Şekil değiştiren polimer ve vasküler ağ
C	Kapsül içerisine gömülü bakteri ve vasküler ağ
D	Kontrol paneli (C 40/50 Betonarme)
E	Vasküler ağ

Her biri farklı teknoloji içeren beş duvar paneli üzerinde araştırmacılar tarafından çatlak oluşumunu sağlayacak ortam hazırlanmış ve bu teknolojilerin çatlakları iyileştirmede ne kadar etkili olduğu saptanmıştır (Çizelge 4.8). Paneller üzerine yapılan yüklemeler çatlak oluşumunu sağlamış ve beton içerisine yerleştirilen farklı kombinasyondaki onarım maddelerinin çatlakları onarma kabiliyetleri ölçülmüştür (Davies ve diğerleri, 2018).

Çizelge 4.8. Beton üzerinde hasar meydana gelmesi sonucu çatlak genişliklerinin karşılaştırılması (Davies ve diğerleri, 2018)

Panel	A	B	C	D	E
SONUÇ					
Ort. Çatlak genişliği (pik yüklemesi)(mm)	0.35	0.37	0.33	0.41	0.43
Ort. Çatlak genişliği (onarım sonrası)(mm)	0.11	0.09	0.06	0.16	0.10
Ort. Çatlak genişliği (6. ayda)(mm)	0.10	0.07	0.07	0.12	0.23
Ort. Çatlak genişliği (6.ayda pik yüklemesi)(mm)	0.41	0.30	*	0.42	0.57
Ort. Çatlak genişliği (6. Ayda onarım sonrası)(mm)	0.16	0.12	*	0.23	0.28
Pik yüklemesi: Beton panellere en yüksek seciyede güç yüklemesine maruz bırakılmasıdır. (*) 6. Aydan sonra bu panele yükleme yapılmadı.					

M4L proje takımı kendi kendini iyileştiren beton denemelerinde dört ayrı teknolojiyi tam ölçekli bir yapı sahasında uygulama açısından başarılı olmuştur. Fiziksel uygulamanın basit bir süreç olduğunu göstermiştir. Ayrıca bu çalışmada tekniklerin nasıl geliştirilmesi ve uygulamaların yaygın hale gelmesini sağlayacak bir dizi tespitler de gözlemlenmiştir (Davies ve diğerleri, 2018).

Kendini iyileştiren beton ile ilgili halen devam etmekte olan araştırmalar mevcuttur. Yapılan tüm bu çalışmalar göz önünde bulundurulduğunda kendini iyileştiren betonun avantajları şu şekilde sıralanmıştır (Ghodke ve Mote, 2018):

- Geleneksel beton ile kıyaslandığında kendini iyileştiren betonun; başlangıç maliyetleri yüksek olsa da, uzun vadede bakım masraflarını minimuma indirdiği için çok daha fazla kazanç sağlamaktadır.
- Beton için çatlak vazgeçilmez bir olgudur. Bu çatlaklar beton içerisine sıvı ve nem girişini sağlamaktadır. Kendini iyileştiren beton en kısa sürede bu problemi minimuma indirmekte ve sıvı, nem girişini engellemektedir. Bu durum betonun mukavemetini arttıran ve betonarme içerisinde bulunan çelik donatıların korozyonunu engelleyen akıllı bir uygulamadır.
- Betonun mukavemetinin arttırılması hem yapının güvenilirliğini arttırmış, hem de ömrünü uzatmıştır.
- Çimento endüstrisi karbondioksit (CO₂) üreticilerinin ana iki üreticisinden biridir. Kendini iyileştiren beton kullanımı CO₂ kullanımını azaltacağından çevre dostu bir uygulamadır.

- Ayrıca bu malzemelerin kullanımı, yapının ömrünü uzattığından dolayı, mimarlara daha esnek tasarım olanakları (mevcut ve gelecekteki olası ihtiyaçları dikkate alan) sunmuştur.

4.3. Akıllı Camlar

21. yy’ da akıllı teknolojilerin geliştirilmesi ile özellikle binalarda aşırı enerji yüklerinin azaltılmasına ve bununla ilgili enerji verimliliğinin iyileştirilmesi adına araştırmalar kayda geçmiştir. Özellikle bina cephelerinde yüksek miktarda enerji kaybına duyarlı cam ve pencerelerin kullanımı modern mimarinin gereklilikleri ile her geçen gün artmaktadır. Bu durum çevre dostu ve sürdürülebilir kaynaklara olan talebin artmasına sebep olmakta ve statik yapısıyla bildiğimiz camlar yerini çevre değişkenlerine yanıt veren akıllı camlara bırakmaktadır. Yüksek performanslı özelliklere sahip bu camlar yapılarda pencereler, kapılar, ışıklıklar, bölmeler, açılır tavanlar, güneşlikler ve pek çok yapı bileşeninde kullanılmaktadır (Sottile, 2008).

Yüksek teknolojik çözümler ile cephe sistemlerinde dinamik kontrol imkanı sağlayan “akıllı camlar” değişen çevresel etkiler (ısı, ışık, elektriksel alan gibi) karşısında renk ve optik özelliklerini değiştirebilen cam sistemleri olarak tanımlanmaktadır (Tavil, 2004). Kromik malzemeler olarak da bilinen akıllı camlar çalışma modlarına göre iki kategoride incelenebilir. Kendi kendini düzenleyen pasif sistemler ve kullanıcı ihtiyacına göre ayarlanabilen aktif sistemler (Casini, 2015).

4.3.1. Pasif dinamik sistemler

Herhangi bir elektrik uyarı gerektirmeyen pasif dinamik sistemler, ışık (fotokromik cam) veya ısı (termokromik ve termotropik) gibi doğal uyarılara yanıt vermektedir (Bahlol, 2011).

Fotokromik cam sistemleri: Işığa maruz kaldığında renklerini tersine çevrilebilir şekilde değiştirebilen bileşenlerdir (Ritter, 2007:73). Optik camın içerisine yerleştirilen gümüş klorür, bromür vb. gümüş halojenürler ışık altındaki reaksiyonları sonucunda çok küçük taneli atomlara parçalanırlar ve ışığı soğurur, cam rengi değişir. Işık etkisi (UV) ortadan

kalktığında malzeme saydam ve renksiz haline geri dönebilmektedir (Addington ve Schodek, 2005:86).

Fotokromik malzemelerin en yaygın bilinen uygulamalarından biri 20 yılı aşkın süredir piyasada yer edinmiş kendinden renklendirilmiş güneş gözlükleridir (Ritter, 2007:75). Mimaride kullanımı ise güneş enerjisi kazancını kontrol etmek ve parlaklığını azaltmak için cephe uygulamalarında ve çeşitli pencerelerde kullanılmaktadır (Addington ve Schodek, 2005:86). Söz konusu malzemenin çalışma prensibi cam üzerine gelen ışığın yoğunluğuna göre değişmektedir. Işık miktarının artması cam renginin koyulaşmasına, yutuculuğunun artmasına neden olurken, ışığın azalması ise geçirgenlik değerinin değişmesine ve ısı emme düzeyinin artmasına sebep olmaktadır. Bu durum hava sıcaklığının düşük olduğu güneşli günlerde bünyesinde barındırdığı ısıyı ortama bırakarak güneş enerjisi kazancı elde etmektedir. Hava sıcaklığının yüksek olduğu günlerde ise güneş ışığını yansıtmamaktadır (Altınok, 2011).

Fotokromik pencerelerin kullanımı, camda fotokromik malzemenin homojen bir dispersiyonun elde edilememesi, zamanla tersinirlik kaybı gibi teknik ve süreçle ilgili sorunlar nedeniyle sınırlı olmuş ve henüz ticari olarak piyasada mevcut duruma getirilememiştir. Fotokromik tabaka boyutunun stabilitesinin artırılması, üretim maliyetinin azaltılması ve döngü sayısının uzatılmasına ilişkin yapılan deneysel çalışmalar bu teknik zorlukları çözmek için mevcuttur (Ferrara ve Bengisu, 2014:14).

Fotokromik malzemelerin avantajı ek bir enerji gereksinimine ihtiyaç duymadan gün ışığına göre cam rengini değiştirmesidir. Dezavantajı ise;

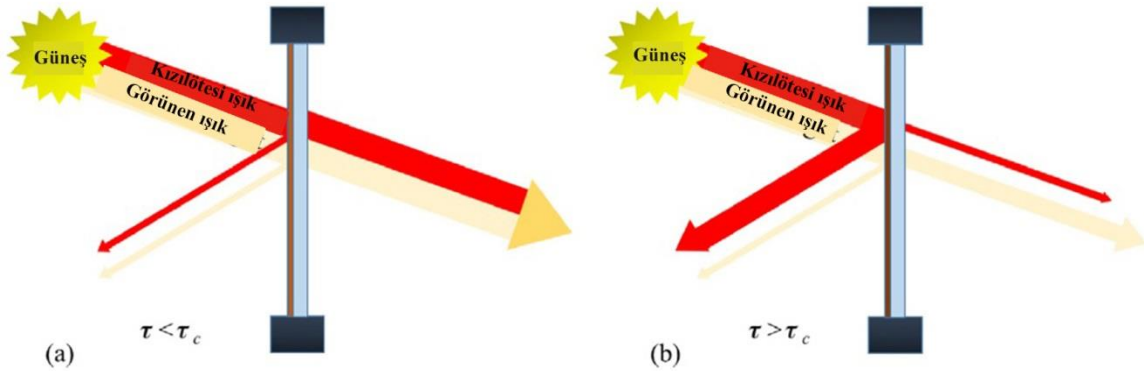
- Isıya karşı hassasiyetlerinin fazla olmasından dolayı dayanıklı değildir ve uzun süreli kullanıma uygun değildir.
- Bu kaplamaların üretiminin çok özel teknoloji gerektirmesi ve maliyetinin pahalı olmasıdır.
- Kullanıcı tarafından kontrol edilememesidir.

Termokromik cam sistemleri: Sıcaklık değişimlerinden dolayı renk ve optik özelliklerini değiştirme yetisine sahip malzemelerdir. Ortam sıcaklığı aracılığıyla tersinir bir tepkime sağlayan malzeme sayesinde cam şeffaflığını otomatik olarak ayarlayabilmektedir (Ritter,

2007:80). Güneş ışığından gelen ısıyı kullanan bu camlar, güneş ışığı ne kadar yoğun ise o kadar koyu, ne kadar az ise o kadar saydam bir hal almaktadır.

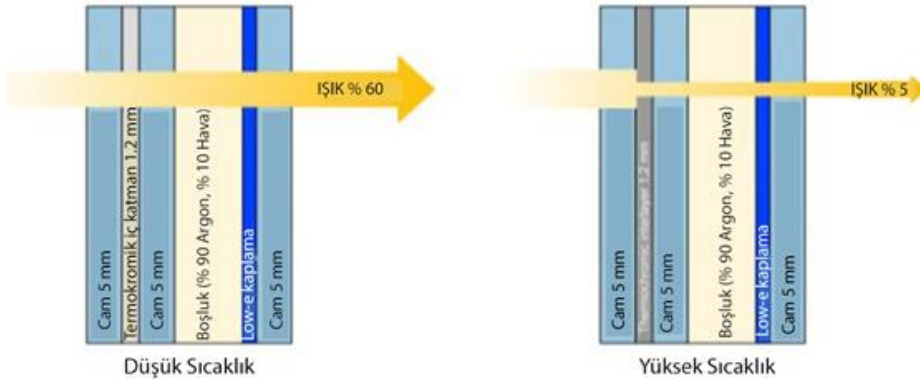
Birçok organik ve inorganik (ince filmler, metal oksitler, aerogel gibi) esaslı bileşenlerde termokromik (TC) özellikler görülebilir. Fe_3O_4 , FeSi_2 , NbO_2 , NiS , Ti_2O_3 , Ti_4O_7 , Ti_5O , V_2O_3 ve VO_2 gibi bazı metal bileşiklerin termokromik özelliklere sahip olduğu saptanmıştır (Anderson ve diğerleri, 2016). Bunlardan en çok bilinen TC kaplama malzemesi vanadiumoksittir (VO_2). VO_2 düşük sıcaklıkta şeffaf yarı iletken durumdan yüksek sıcaklıklarda kızılötesi radyasyona izin vererek opak metalik duruma geçmesinden dolayı akıllı camlar için potansiyel bir malzeme olarak kabul edilmiştir. Ayrıca VO_2 'nin tamamlayıcı elementlerle karıştırılması da mümkündür (Zhang ve diğerleri, 2011).

TC kaplamalar genellikle oda sıcaklığında soğuk durum olarak tanımlanan monoklinik fazdadır. Sıcaklık arttığında ve kritik değere ulaştığında TC malzeme sıcak durum olarak tanımlanan rutil faza geçer. Metal-yarı iletken geçişi olan bu durum kızılötesi ışıyımını yansıtır. Böylece ışık geçirgenliğini ve ısı kazanımını kontrol ederek yapının enerji tasarrufu artırılabilir (Kamalisarvestani, Mekhilef ve Saidur, 2013).



Şekil 4.7. Termokromik pencere a) Sıcaklık geçiş sıcaklığının altında b) Sıcaklık geçiş sıcaklığının üstünde (Ramakrishna ve diğerleri, 2017)

Termokromik cam, Şekil 4.7’de gösterildiği üzere cam paneller arasına yerleştirilen termokromik malzeme sayesinde ısıya maruz kaldığında yansıma ve iletim özelliklerini değiştirerek istenmeyen güneş ısı kazancını azaltan termokromik tabakalardan oluşmaktadır (Şekil4.8) (Arslan ve Eren, 2014).



Şekil 4.8. Termokromik cam katmanları (Casini, 2014)

Termokromik camlarla ilgili birçok kaplama ve laminasyon teknolojisi geliştirilmiştir. Geliştirilen bu teknolojiler içerisinde en umut verici potansiyele sahip çözüm 2010 yılında piyasada ilk kez üretilen 1.2 mm kalınlığındaki polivinil bütiral (PVB) plastik filminin termokromik malzeme içerisine mühürlenmesidir. PVB, güvenlik ve akustik açısından yüksek değerlere sahip cam üretiminde çoğunlukla tercih edilen bir malzeme olmasından dolayı, TC üretiminde daha düşük maliyette daha kaliteli bir ürün elde etmek adına iyi bir entegrasyon sağlamaktadır (Casini, 2014). Ayrıca VO_2 performansını arttırmak için farklı güçlendirici özelliklere sahip bileşenler ($ZnCl_2$, flor ve tungsten gibi) VO_2 tabanlı filme eklenerek termokromik özelliklerinin arttırıp arttırmadığı araştırılmıştır. Diğer yaklaşımlar ise daha çok sıcaklığa bağlı olarak malzemedeki fazların bir aradaki varlığını inceleyen termokromik sistemlerin yapısal özellikleri üzerinde odaklanmıştır (Imbert, Larson ve Jahra, 2019). Termokromik malzemelerin mimaride ilk uygulamaları arasında 1988’de Alman sanatçı Sigmar Polke tarafından Paris’ de Modern Sanat Müzesi’nin termokromik boya ile kaplanmış duvarıdır (Çizelg 4.9). Sıcaklığa duyarlı renk değiştiren boya, geniş bir alana sahip dışbükey kavisli duvar sıvı kristallerden ve sentetik bağlayıcıdan meydana gelmektedir. Güneşin günlük hareketini göstermek amacıyla üç farklı sıvı kristal kullanımı sayesinde üç farklı sıcaklık aralığında renk değiştirmektedir. Renk tayfı (soğuktan sığağa) siyah, mor, kırmızı, sarı, yeşil, mavi ve turkuaza doğru değişmektedir (Ritter, 2007:85).

TC malzemelerin en geniş kullanım alanı ise, binalara giren ışık miktarını otonom olarak düzenlemek, enerji kazancını arttırmak ve parlamayı engellemek amacıyla cam yüzeylerde kullanımı önemli bir araç olmuştur (Ritter, 2007:85).

Çizelge 4.9. Modern Sanat Müzesi (Ritter, 2007:86)

MODERN SANAT MÜZESİ, PARİS		
Yer	Paris, Fransa	
İşlev	Müze	
Tasarım	Sigmar Polke, Almanya	
Yapım yılı	1988	
Akıllı Malzeme	Termokromik Boya	
Kullanım Alanı	İç duvar	

Çizelge 4.10. NDIS Avustralya (URL-16)

NDIS AVUSTRALYA		
Yer	Geelong, Avustralya	
İşlev	Hükümet Binası	
Tasarım	Woods Bagot	
Yapım yılı	2019	
Akıllı Malzeme	Termokromik cam	
Kullanım Alanı	Dış cephe	

Ayrıca Kokogiannakais ve diğerleri (2014) gerçek ölçekli modeller üzerinde sıcak ve soğuk iklimlerde termokromik cam malzemenin potansiyel enerji tasarrufunu simulasyon programı üzerinden incelemiştir. Yapılan araştırma sonucunda böyle bir malzemenin kullanılan klasik cama kıyasla yaklaşık % 30 enerji tasarrufu sağlayarak binadaki soğutma yüklerini azalttığı ortaya konmuştur.

Ferrara ve Bengisu “*Materials that Change Color Smart Materials, Intelligent Design*” adlı kitabında termokromik malzemelerin avantaj ve dezavantajlarını şu şekilde belirtmiştir (Ferrara ve Bengisu, 2014:24):

- Termokromik cam teknolojisinin esas avantajı bir bina içerisindeki ısı kazanımının kontrol edilmesi ve dış ortamdaki ışık seviyesine göre iç mekandaki aşırı ısınma sorunlarını azaltmaktır.
- Termal yüklerin azaltılmasından dolayı optimum iklim koşulları ve iç konfor sağlamaktadır.
- Enerji tüketimi olmadan doğal ışığın kontrolünde opaklığını değiştirebilmektedir.
- Diğer kromojenik malzemeler ile kıyaslandığında;
 - Kısa sürede tepki verip, kendi kendini düzenlemeleri
 - Otonom modda soğutma ve havalandırma yüklerini azaltmaları
 - İçeriye giren ısı miktarını düzenleyerek aşırı ısınma probleminin önüne geçer ve böylece enerjiye katkı sağlaması
 - Şeffaf durumunun yanı sıra ışığı opak halinde de sabit ve düzgün bir şekilde yaymaları
 - Bina inşaatı sırasında uygulaması kolay, maliyeti düşük ve uzun ömürlü olması olarak sıralanmıştır.

Dezavantajları ise;

- Asla tamamen şeffaf değildir. Bundan dolayı kışın faydalı güneş ışınlarını engeller.
- Kullanıcı tarafından kontrol edilemez.
- Termokromik cam tasarımında kullanılan polimerik filmler UV ışınları nedeniyle zamanla sararma gösterebilirler.

Öte yandan termokromik cam kullanımı, seçilen diğer camlara kıyasla görsel konfor koşullarını iyileştirmektedir. Bu metodolojik çerçeve ve çok amaçlı analiz, termokromik camların binalara entegrasyonu ve özellikle malzeme niteliklerinin sadece enerji kullanımı üzerinde değil, aynı zamanda görsel ve termal konfor koşulları üzerindeki etkileri araştırmaya teşvik etmektedir (Giovannini ve diğerleri, 2018).

4.3.2. Aktif dinamik sistemler

Her biri kendine özgü üretim gereksinimleri gerektiren üç ana tip aktif akıllı cam teknolojisi vardır. Bunlar elektrokromik (EC), askıda tanecikli (SPD) ve likit kristal (PDLC) sistemleridir. Yapı endüstrisinde yaygın olarak;

- Elektrokromik cam sistemleri

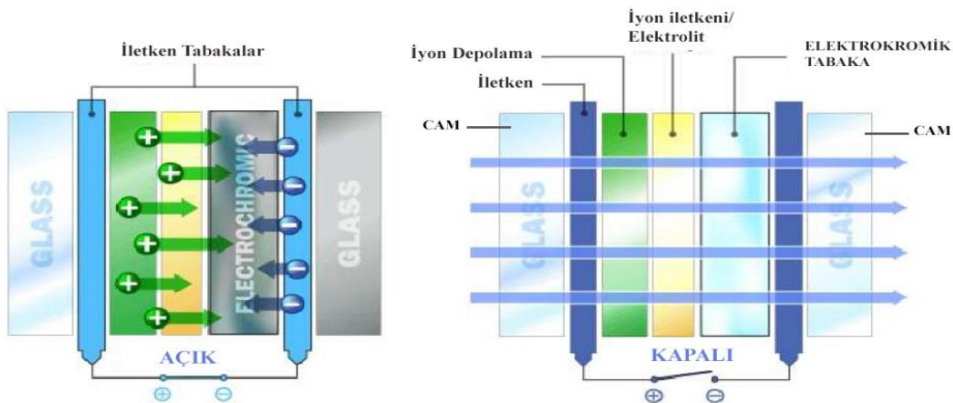
- Likit kristal cam sistemleri

kullanılmaktadır.

Elektrokromik cam sistemleri: Optik özelliklerini değiştirebilen, kromik olarak adlandırılan malzeme ailesinin en geniş parçasıdır (Baloukas, 2012:51). Elektrokromik malzemeler, voltaja tepki olarak elektron ve iyonları tersinir değişimi sayesinde ışık iletim özelliklerini değiştiren ve cam üzerindeki ışık ve ısı miktarını kontrol edebilme imkanı sağlayan sistemlerdir (Kienzl, 2002:87).

Elektrokromik cam sistemleri beş katmanlı film tabakasından meydana gelmiştir. Şekil 4.9'de; aktif bir elektrokromik tabaka, karşı elektrot tabakası, iki elektrot arasında iyon ileten bir elektrolit, iki şeffaf iletkenler ve cam yüzeyler içeren tipik bir elektrokromik cam tabakalarını gösterilmiştir (Park ve diğerleri, 2019). Elektrokromik tabaka; iki şeffaf elektrik iletkenleri arasına sıkıştırılmış ince metalik kaplamadan meydana gelmektedir. En yaygın kullanılan elektrokromik tabaka lityum nikel oksit (LiNiO_5) ile birleştirilen Tungstenoksittir (WO_3) (Kienzl, 2002:87).

Elektrokromik camın çalışma prensibinde şeffaf elektrik iletkenleri arasına bir voltaj uygulandığı zaman reaksiyon meydana gelmekte ve iyonların elektrolit üzerindeki hareketi camın optik özelliklerini değiştirmektedir (Fasi,2013:26). Akım arttırıldığında küçük iyonlar (proton ve lityum iyonları gibi) karşı elektrottan elektrolite doğru hareket eder ve elektrokromik tabaka içine dağılır. Böylece cam berrak durumdan renkli duruma geçiş yapar. Akım azaltıldığında ise iyonlar elektrokromik tabakadan karşı elektrota saklanır ve cam berrak durumuna geçiş yapar (Park ve diğerleri, 2019).



Şekil 4.9. Elektrokromik cam katmanları ve çalışma prensibi (Munshi, 2012:8)

Diğer kromojenik malzemeler ile kıyaslandığında EC malzemeler enerji etkinlik ve kullanıcı konforu açısından yüksek potansiyele sahiptir. Kendiliğinden opaklaşan gözlük camı kullanımı ile bilinen fotokromik camlar kullanıcının süreç üzerinde hiçbir kontrolünün olmaması ve güneş ısı kazançlarına karşı duyarsız olması onların kullanım alanını kısıtlamaktadır. Ayrıca ısıya karşı duyarlı olan termokromik camlar da gün ışığı geçirgenliğini yeterli seviyede sağlayamaması onun sınırlılıklarındandır (Tavil, 2004). EC malzemeler ise (Baloukas, 2012:51-52);

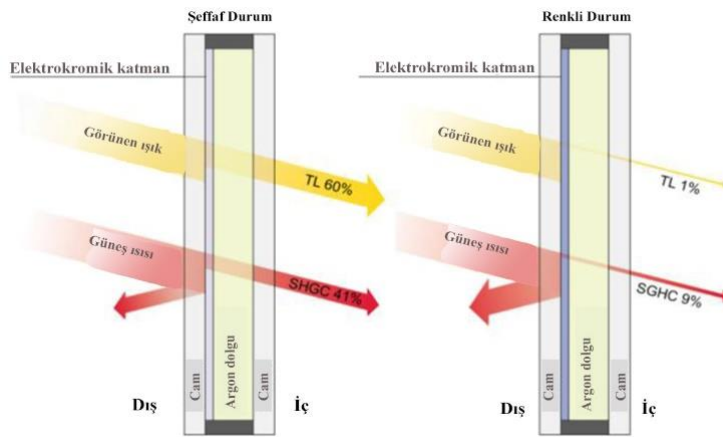
- Optik özelliklerini düşük voltaj uygulamalarında bile kolayca tersine çevirebilmekte ve dinamik bir filtre görevi üstlenmektedir.
- Kullanıcı tarafından veya otomatik olarak kontrol imkanı sunmaktadır.
- Cihazlar renkli ve berrak görünüşleri arasında önemli bir bozulma yaşamadan binlerce kez kullanılabilir.
- EC cihazlar bir bellek etkisi (*memory effect*) sunarlar. Böylece uygulanan güç (elektrik akımı) kaldırıldığında bir süre renklerini korurlar.
- Renklendirme kontrol edilebilir ve cihaz istenilen renk seviyesine göre çeşitli aşamalarda durdurulabilir.

EC camların kontrol stratejileri kullanıcı tarafından doğrudan bir dimmer ya da uzaktan kontrol edilen bir cihaz aracılığıyla veya belirli etmenlere bağlı fotoseller aracılığıyla dolaylı olarak kontrol imkanı sunmaktadır. Bu etmenler; dış ortam sıcaklığı, gün ışığı seviyesi, güneş ışınım şiddeti, soğutma yükü olarak sıralanabilir (Tavil, 2004; Karlsson ve diğerleri, 2000).

Piyasada mevcut EC camlar kullanılan malzemeye bağlı olarak (en yaygın kullanılan WO_3 şeffaflıktan mavi renge geçiş yapar) yeşil ve mavi renklindedir. Şeffaflık derecesi tamamen kapalı olma durumunda bile şeffaf veya renkli olabilirler. Işık geçirgenliği şeffaf durumunda %60' dan opak durumda %1' e düşer (Şekil 4.10) (Casini, 2014).

Akıllı camlarda elektrokromik cihazların kullanımı; ısı ve ışık geçirgenliğini kontrol etme fırsatı sunarak binalarda enerji tüketiminden tasarruf sağlaması, camın spektral özelliklerini sürekli değişen çevre koşullarına uyarlamasına imkan sunarak termal ve optik özelliklerini ayarlaması, farklı alanlara uyarlanabilmesi ve tüm bunları yaparken çok az

enerji harcaması yapı sektörü için kaçınılmaz hale getirmiş ve bu alanda pek çok çalışma yapılmıştır (Pehlivan ve Tepehan, 2007). Ayr ve diğerleri (2020) “*Smart Electrochromic Windows to Enhance Building Energy Efficiency and Visual Comfort*” adlı makalesinde yapılan bu çalışmaları derlenmiş ve analiz etmiştir. 2010’da Piccola yaptığı çalışmada soğutma yüklerinin hakim olduğu bir iklimde (Messina, İtalya) 4mm kalınlığındaki düz bir cam ile EC cam kullanımını kıyaslamış ve batı yönü için %50, güney yönü için %60 enerji tasarrufu sağlandığını ortaya koymuştur. Sibillo ve diğerleri (2012) yaptığı çalışmada ise EC katmanının low-e kaplama içeren çift veya üç katlı cam teknolojisi ile birleştirilmesi maksimum seviyede termal performans gösterdiğini saptamıştır. Cannavale ve diğerleri (2018) yenilikçi bir kromojenik teknolojisi olan katı hal (*solid state*) EC cihazlarının bina ile entegrasyonunu EnergyPlus adlı bilgisayar programı üzerinde gerçekleştirilen simülasyonlar aracılığıyla ortaya koymuştur. EC teknolojisi; EC cam, seçici cam ve şeffaf cam ile iklimsel verileri de dahil etmek için farklı yerlerde (Londra, Roma, Aswan) karşılaştırılmıştır. Burada sunulan EC teknolojisi ile 40 kWh/ m²’ye varan yıllık enerji tasarrufuyla hepsinden daha iyi bir performans sağladığı rapor edilmiştir (Ayr ve diğerleri, 2020).



Şekil 4.10. Elektrokromik cam (Casini, 2014)

EC camlar genellikle dış cephe tasarımında ve çatıda tavan penceresi olarak kullanılmaktadır. Dış cephe tasarımına örnek Bowie State Üniversitesi, çatıda tavan penceresi olarak kullanımına Iata Executive Ofis Binası örnek olarak seçilmiştir.

Bowie State Üniversitesi’nin Doğa Bilimleri, Matematik ve Sağlık Bilimleri binalarının dış cepheleri yaklaşık 25000 ft² (2322.576 m²) alan EC cam ile kaplanmıştır. Güneş ışığının

dinamik kontrolü sayesinde görsel konforu optimize etmekte ve binadaki enerji talebini azalmaya yardımcı olmaktadır. Hem kullanıcının isteğine göre hem de otomatik olarak renklendirme yapma fırsatı da sunmaktadır. Bina LEED sertifikasına sahiptir (Çizelge 4.11) (URL-17).

Çizelge 4.11. Bowie State Üniversitesi (URL-17)

BOWIE STATE ÜNİVERSİTESİ		
Yer	ABD	
İşlev	Eğitim Binası	
Tasarım	Perkins&Will	
Yapım yılı	2017	
Akıllı Malzeme	ECCamSageGlass®	
Kullanım Alanı	Dış Cephe Kabuğu	

Çizelge 4.12. Iata Executive Ofis (URL 18)

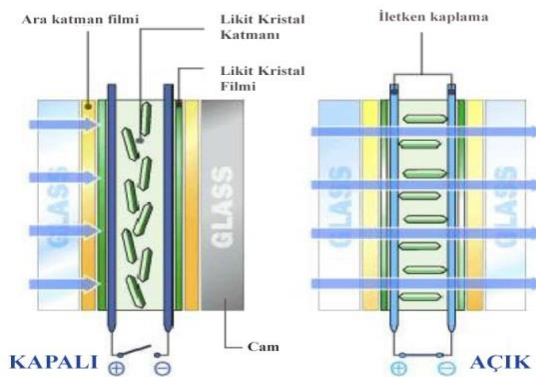
IATA EXECUTIVE OFİS		
Yer	İsviçre	
İşlev	Ofis	
Tasarım	BIFFSA (çatı tasarımı)	
Yapım yılı	2017	
Akıllı Malzeme	EC Cam SageGlass®	
Kullanım Alanı	Çatı penceresi	

Uluslararası Hava Taşımacılığı (IATA) yönetim merkezi, İsviçre’deki Cenevre Havaalanı’nın yanında yer almaktadır. 1989 yılında inşa edilen bina çatıdan gelen büyük su sızıntısı, tavan penceresinden yoğun ışık alması ve kullanıcıların yaz sıcağından rahatsız olması gibi nedenlerden yeniden inşasına karar verildi. Binanın merkezinde yer alan çatı penceresi beş kata doğal ışık sağlamaktadır. Tüm bu problemleri çözmek için çeşitli

alternatifler ortaya kondu ve simülasyon programı aracılığıyla karşılaştırma yapılmıştır. Sonuç olarak EC (SageGlass®) üçlü cam uygulamasına karar verildi. EC üçlü cam uygulaması ile binanın soğutma yükü % 60 azaldı ve çalışanların konfor düzeyini önemli ölçüde arttırdığı görülmüştür. Ayrıca binanın sıcaklığını daha esnek bir şekilde kontrol etme imkanı sunmuştur (Çizelge 4.12) (URL 18).

EC camlar, geleneksel gölgeleme sistemleri ile karşılaştırıldığında “gerçek zamanlı bir adaptasyon” sağlamaktadır. Yüksek maliyetinden dolayı piyasada beklenen yayılmayı bulamayan EC camlar; kullanıcılar için sağladığı görsel konfor, bina enerji yüklerinin azaltılması ve diğer geleneksel gölgelendirme sistemlerinin bakım maliyetlerinin ortadan kaldırılması gibi nedenlerden dolayı uzun vadede fayda sağlamaktadır. Ayrıca bu camların renkli durumdayken opaklık derecesinin artırılması, anahtarlama süresinin kısaltılması, kontrol kademelerinin istenilen düzeyde ayarlanabilmesi gibi teknolojik çalışmalar devam etmektedir (Erdemli, 2018:56).

Likit kristal sistemleri (PDLC): İlk olarak kol saati üretiminde kullanılan bu teknoloji gelişmiş cam endüstrisinde de uygulanmaya başlamıştır. Elektrik akımına tepki veren Polimer Dispersiyonlu Sıvı Kristal (PDLC) film, bir çift şeffaf iletken tabaka arasında kapsüllenmektedir. PDLC camın çalışma prensibi şekilde de gösterildiği üzere elektrik akımı uygulandığı zaman PDLC tabakası içerisinde bulunan sıvı kristalleri polarize etmekte ve belirli bir şekilde hizalanmasına izin vererek ışığın geçmesine olanak sağlamaktadır. Elektrik akımı kaldırıldığında ise, kristaller rastgele düzenlenmekte ve camın ışık geçirmesini engellediği için yarı saydam (buzlu cam) bir hal almaktadır (Şekil 4.11). Bu tür camların dezavantajı camın şeffaf olması için sürekli bir elektrik kaynağına ihtiyaç duymasıdır (Casini, 2014).



Şekil 4.11. PDLC camın çalışma prensibi (Manandhar, 2014:8)

PDLC cam sistemleri mimarlar için esnek tasarım olanakları sunmaktadır. Ofislerde; konferans odaları, gizlilik gerektiren çalışma bölmeleri otellerde; banyo, mağaza ve restoran alanlarında, hastanelerde; yoğun bakım üniteleri, ameliyathaneler, hasta bakım odaları gibi alanlarında opak görüntü ile bir bariyer oluşturarak görsel geçirgenlik istenilen düzeyde ayarlanabilmektedir (Manav, Kutlu ve Küçükdoğu, 2009). Dış cephelerde saydamlığın elektrik ile kontrolü ses ve ısı izolasyonu gibi fonksiyonları bir araya getirerek özelleştirilmiş çift cam üretimine olanak sağlamaktadır. Ayrıca dış cepheler, vitrinler, fuar alanları için projeksiyon perdesi olarak kullanılabilmekte ve reklam alanı sunmaktadır (Resim 4.10)(URL 19).



Resim 4.10. PDLC camın uygulama örnekleri (URL-20)

Sonuç olarak, çalışması için çok düşük miktarda güç gerektiren aktif akıllı cam kullanımı yakın gelecekte sürdürülebilirlik amacıyla bina cephe tasarımında önemli rol oynayacağı açıktır. Yapılan çalışmalar sonucunda akıllı cam teknolojilerinin bina gereksinimlerinin optimizasyonu açısından yeni olanaklar sunduğu ortaya konmuştur (Tavil, 2004). Işık anında ve hassas kontrolü, soğutma ve aydınlatma maliyetlerinde enerji tasarrufu, parlamayı ve göz yorgunluğunu azaltan optik özellikler, görüşü engellemeden geniş ışık iletim aralığı, bina karbon emisyonlarını azaltması, zararlı UV ışınlarına karşı koruma, düşük çalışma voltajı, uzun ömürlülük vb. sağladığı olanaklar arasında sıralanabilir (Sottile, 2008). Ayrıca tüm bu bilgilerin yanında kullanılacak cam türünün belirlenmesinde binanın içinde bulunduğu gerçek koşullar (fonksiyon, konum, iklimsel özellikler vb.) değerlendirilmeli ve bilinçli bir tercih yapılması gerekmektedir.

4.4. Yüksek Yalıtım Sağlayan Malzemeler

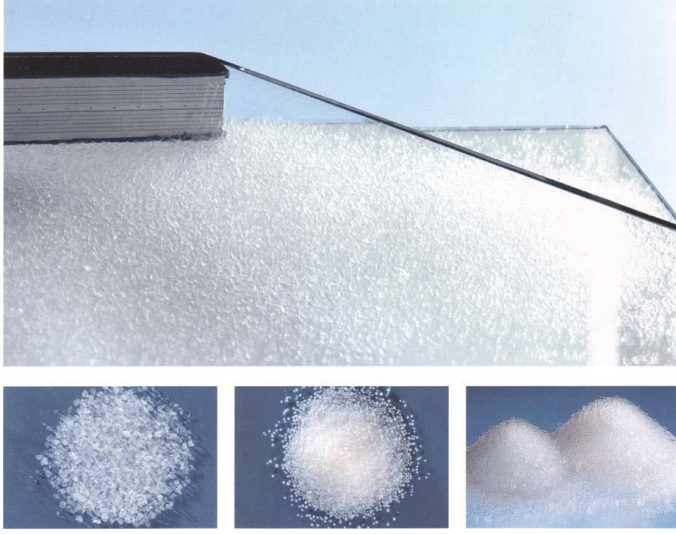
Gelişen teknoloji ile birlikte dünyada her geçen gün enerjiye olan talep artmakta ve kaynakların tüketilmesi problemi ile karşı karşıya kalınmaktadır. Bu problem enerji tasarrufu konusunu farklı platformlarda gündeme getirmektedir. Özellikle dünyada toplam enerji tüketiminin büyük bir kısmından sorumlu olan yapı sektöründeki yenilikler büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda bina enerji performansı açısından değerlendirildiğinde yalıtım malzemeleri önemi tartışılmazdır. Enerji tüketiminin optimize edilmesi, ısıl konforun sağlanması ve çevre korunması amacıyla kullanılan yalıtım malzemeleri son dönemlerde kayda değer alternatif türler sunmaktadır.

Günümüzde yaygın olarak kullanılan poliüretan, polistren (EPS), extrude polistren (XPS) gibi geleneksel yalıtım malzemeleri termal iletkenliklere sahip olmasına karşın olumsuz çevresel etkenlere sahip malzemelerdir. Bu malzemelerin üretiminde sınırlı olan kaynakların tüketilmesi, yüksek oluşum enerjisine sahip olması, beraberinde meydana getirdiği çevre kirliliği, ciddi sağlık problemlerine yol açması, yangın durumunda ortaya çıkan tehlikeler (açığa çıkan zararlı gazlar vb.) olumsuz özellikleridir. Bu bağlamda gelişen teknolojik olanaklar kullanılarak geleneksel yalıtım malzemelerine alternatif olarak ısıl iletkenliği oldukça düşük olan yüksek performanslı yalıtım malzemeleri geliştirilmiştir. Bu malzemeler 3 grupta ele alınmıştır:

- Aerojel
- Vakumlu yalıtım panelleri
- Faz değiştiren malzemeler

4.4.1. Aerojel

Katı madde içerisindeki sıvı bileşenin hava ile yer değiştirmesi olarak tanımlanan aerojel, nano gözenekli bir katıdır (Resim 4.11). Dünyanın en hafif malzemesi olarak kayda geçen bu malzemelerin % 98-99' u havadan oluşmaktadır. İlk olarak 1931 yılında Steven Kistler tarafından keşfedilmiştir. Donmuş veya mavi duman olarak da adlandırılan bu malzeme çok hafif ve yüksek derecede yalıtkan malzemesi olmasından dolayı birçok alanda kullanıma girmişlerdir (Jelle, Beatens ve Gustavsen, 2010).



Resim 4.11. Aerojel ve cam ile kombinasyonu (Leydecker, 2008:128)

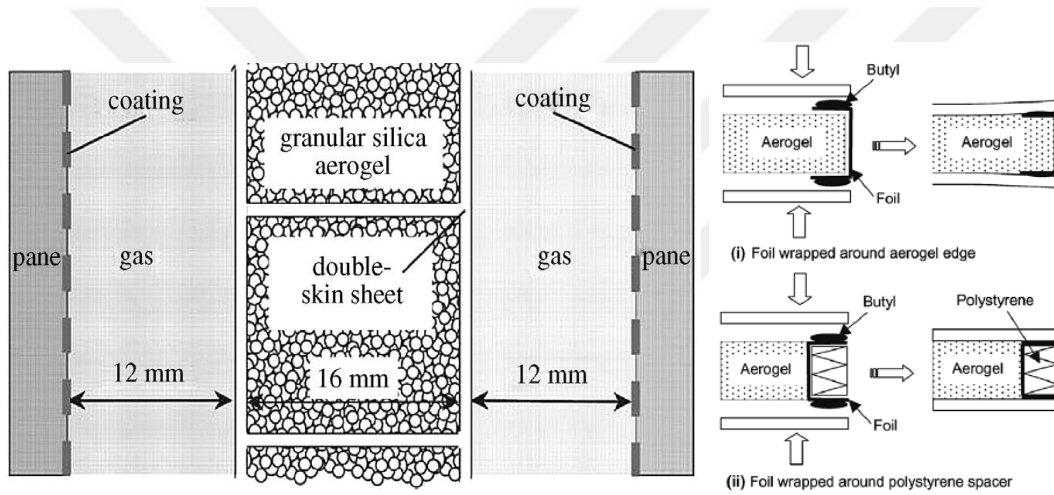
Nanoölçekde sıkışan hava molekülleri sayesinde yüksek ısı yalıtım özelliği sağlayan aerojeller, farklı fiziksel ve kimyasal özellikler sunmaktadır. Ayrıca yüksek gözenekli yapısı, düşük ısı iletkenliği, yüksek ısı yalıtımı, geniş yüzey alanı, düşük kırılma indisine sahiptir (Acharya, Coshi ve Gokhale, 2013). Şeffaf ve hafifliğinin yanında, toksik olmayan ve yanmayan bir malzemedir.

Aerojel üretimi karmaşık olup, üç aşamada gerçekleşmektedir. Jel hazırlama, yaşlandırma ve kurutma. Fiziksel (mekanik öğütme) ve kimyasal (sol-jel) yöntemlerle sentezlenebilirler. Yaygın kullanılan yöntem sıvıdan katı aşamasına geçiş sağlayan sol-jel yöntemidir (Zaidi, 2017:15).

Aerojeller, bina uygulamaları açısından yüksek performanslı ısı yalıtım potansiyeline sahip malzemedir. Opak, yarı saydam ve saydam şekilde uygulama alanı vardır (Jelle, Beatens ve Gustavsen, 2010). Binalarda opak yalıtım malzemesi olarak kullanımı dış cephede alışlagelen mantolama yerine fiber donatılı şeklindedir. Bu malzeme yerinde istenen şekil ve boyutta kesilerek esnek kullanım olanağı sunmaktadır. Mevcut binaların sağlamlaştırılmasında kullanımı mümkündür (Altın, 2014).

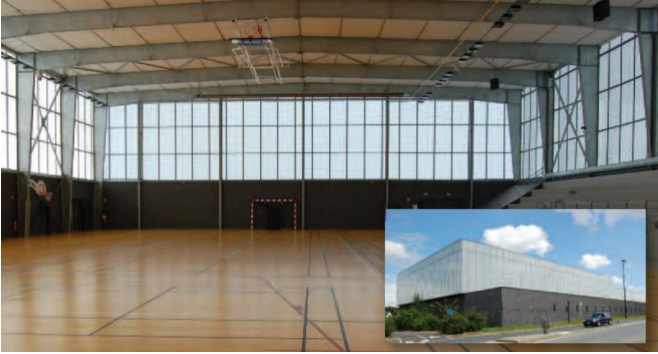
Aerojel düşük ısı iletkenliği ve yüksek gün ışığı geçirgenliği nedeniyle şeffaf veya yarı saydam özellikli bir malzemedir. Bu özelliğinden granül ve monolitik bazlı yüksek yalıtımlı pencerelerin geliştirilmesinde olanak sağlamıştır. Gün ışığı ve güneş enerjisi iletme yeteneğine sahip bu malzemeler, binalarda ısıtma ve yapay ışık kullanımını

optimize eder. Granül aerojel bazlı pencereler ZAE Bayern (Almanya) tarafından geliştirilmiş ve test edilmiştir. Güçlü ışık dağıtma özelliğine sahip bu pencerelerin ısı iletkenlik katsayısı $21-24 \cdot 10^{-3} \text{ W/ m}^2\text{C}^{\circ}$ 'dir. Şekilde 4.12.a' de görüldüğü gibi çift cidarlı tabaka arasında istiflenmiş granül aerojel ve cam paneller üzerine low-e kaplama ile aydınlatma, güneş koruma sistemi ve ısı istifleyen güneş kolektörü özelliği sağlayan yüksek performanslı ısı yalıtım çözümleri geliştirilmiştir (Jelle, Beatens ve Gustavsen, 2010). Geliştirilen bir diğer sistem monolitik aerojel bazlı sistemlerdir. Bu pencereler, vakumlu camlama teknolojisi ile birleştirilmiştir (Şekil 4.12.b). Isıl iletkenlik katsayısı (oda sıcaklığında) granül aerojel levhalarından düşük değerde olup bu değer $16-19 \cdot 10^{-3} \text{ W/ m}^2\text{C}^{\circ}$ 'dir. Ayrıca güneş ışınımı geçirgenliği çok yüksektir (Yeşildal, 2002:22).



Şekil 4.12. a. Granül silika aerojel b. Monolitik silika aerojel ((Jelle, Beatens ve Gustavsen, 2010)

Çizelge 4.13. Souchais Spor Kompleksi (Leydecker, 2008: 133)

SOUCHAIS SPOR KOMPLEKSİ		
Yer	Paris, Fransa	
İşlev	Spor Kompleksi	
Tasarım	Murail Mimarlık	
Yapım yılı	2006	
Akıllı Malzeme	Nanojel dolgulu duvar panelleri	
Kullanım Alanı	Dış cephe	

3360 m²'lik spor kompleksinin 1500 m²'lik cephe alanı aerojel dolgulu polikarbonat paneller ile kaplanmıştır (Çizelge 4.13). Bu paneller kayda değer termal ve akustik performans, görsel ve estetik konfor sunmuştur. Doğal gün ışığı etkisiyle iç mekanın parlamadan eşit bir şekilde aydınlatılmasını sağlamıştır. Gün içerisinde ek güneş koruması ve yapay aydınlatma gerektirmez. Ayrıca aerojel panellerin ısı yalıtım özelliği binanın ısı ihtiyacını %50 azaltmıştır (Leydecker, 2008:133). Yüksek yalıtım özelliğine sahip aerojel malzemeler sahip olduğu özellikler sayesinde mimarlığa birçok avantajı beraberinde getirmiştir (Altın, 2014).

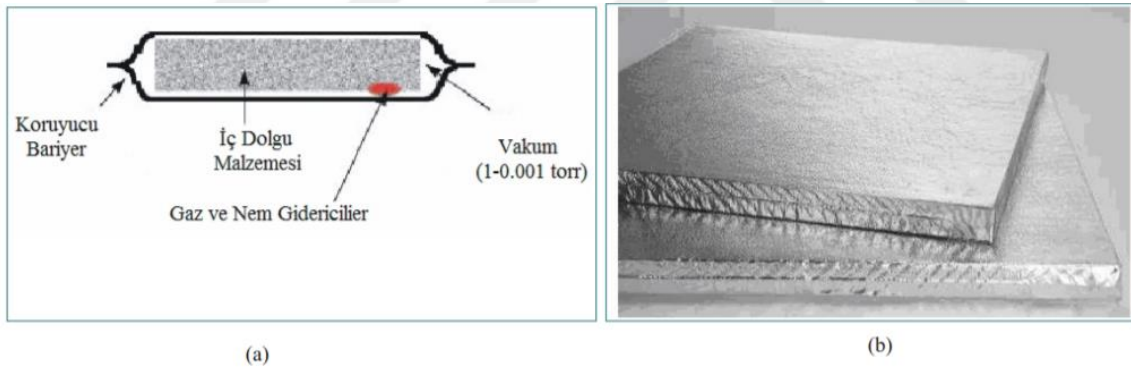
- Saydam yalıtım malzeme olarak kullanımı gün içerisinde aydınlatma masraflarını düşürmekte, ışık iletimini optimize etmekte, enerji tasarrufu sağlayarak mimarlara daha esnek tasarım olanakları sunmaktadır.
- Doğal gün ışığı sayesinde iç mekanda parlama ve gölgeyi ortadan kaldırmakta eşit ve düzgün bir şekilde aydınlatma sağlamaktadır. Ayrıca ek güneş koruma sistemi gerektirmemektedir.
- Isı kaybını minimuma indirerek enerji kullanımını ve karbon salınımını azaltmaktadır.
- Akustik performansa katkı sağlamaktadır.
- Yangına karşı direnci yüksektir.
- Nem, küf, mantar oluşumunu engelleyerek sağlıklı bir ortam hazırlamaktadır.
- Hafif malzeme olmasından deprem yüklerini azaltmaktadır.
- Diğer yalıtım malzemelerine nispeten ince oluşu iç mekanda kullanım alanını arttırmaktadır.
- Ömrünü tamamladığı zaman aerojel yapısından geriye sadece doğanın bir parçası olan kuma dönüştüğü için sürdürülebilir mimarlığa katkı sağlamaktadır.

Geleneksel yalıtım malzemeleri ile kıyaslandığında maliyetinin oldukça yüksek olması piyasada istenen karşılığı bulmasına engel olmuştur. Ancak arojellerin üstün özellikleri, birçok problemin çözümüne ışık olması, avantajlı üretim koşulları açısından geleceğin sürdürülebilir malzemelerinden biri olmaya aday kılmıştır (Saraç, 2016).

4.4.2. Vakumlu yalıtım panelleri

Geleneksel yalıtım malzemeleri ile kıyaslandığında on kata kadar daha yüksek ısı yalıtım özelliğine sahip malzemelerdir. Diğer bir deyişle minimum yalıtım kalınlığı ile maksimum termal direnç sağlama özelliğine sahiptir (Leydecker, 2008:122).

Vakumlu yalıtım panelleri (VIP) yapısı; iç dolgu malzemesi, koruyucu bariyer, gaz ve nem gidericilerden oluşmaktadır (Resim 4.12). Yapıya destek ve dayanıklılık sağlayan iç dolgu malzemesi gözenekli yapıda olup, ısı geçişini en az seviyeye indirecek ısı yalıtım malzemesidir. Bu malzemeler aerojel, fiberglas, açık hücreli poliüretan gibi malzemelerden meydana gelmektedir. Koruyucu bariyer; vakumlanmış iç dolgu malzemesinin etrafını saran, lamineli yapıya sahip, gaz ve nem geçirgenliği düşük metalize filmlerdir. Gaz giderici malzemeler ise iç dolgu malzemesindeki hücrelerin arasına dışarıdan gelen gaz ve nem kaçaklarını kendi üzerine almaları nedeniyle eklenmektedir (Kumlutaş ve Yılmaz, 2014).

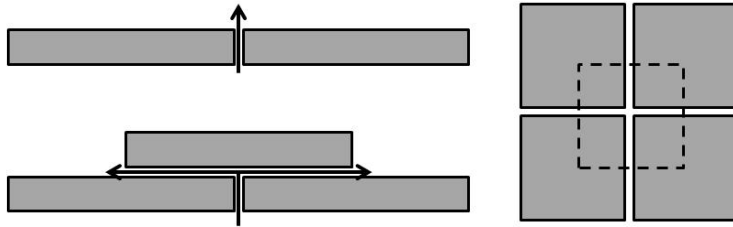


Resim 4.12. a) VIP iç yapısı b) Dış görünüşü (Kumlutaş ve Yılmaz, 2014).

VIP'ler vakum etkisi ile ortamda bulunan gaz molekülü seviyesini düşürerek gazın hareket yörüngesini arttırmaktadır. Böylece düşük basınç ve küçük boyutlardaki gözenekler gazın ısı transfer mekanizmasını en düşük seviyelere indirmektedir (Binark ve Deniz, 2009).

VIP'leri yapı elemanlarına başarılı bir şekilde entegre etmek için termal köprü, hizmet ömrü ve dayanıklılığı gibi durumları dikkate alınarak bir planlama yapılması gerekmektedir. VIP'lerin yapı elemanları içerisindeki konumlandırılmasından dolayı bölgesel ısı akışına sahip noktalar meydana gelmektedir. Termal köprü (*edge effect*) olarak adlandırılan bu alanlar VIP'lerin en önemli problemlerindendir. İç dolgu malzemesinin

etrafını saran film bariyeri ve iki panel arasında meydana gelen hava boşluğu (Şekil 4.13) bu problemin nedenlerindendir. VIP kullanım ömrü, panel termal iletkenlik değerinin kritik noktaya ($0,008 \text{ W/mk}$) ulaşana kadar olan süredir. Bu süre iki ana faktöre bağlıdır: dayanıklılık ve yaşlanma. Bina uygulamaları açısından büyük önem taşıyan VIP ortalama servis ömürleri; iç dolgu malzemesi, koruyucu bariyer film özellikleri, yapı detayı ve ortam şartlarına bağlı olarak 10 ila 50 yıl arasında farklılık göstermektedir. Ayrıca panelin iç kısmı ile atmosfer ortamı arasındaki basınç farkından dolayı VIP'lerin içerisine sürekli nem ve gaz girişi olmakta panelin ömrünü ve termal direncini olumsuz etkilemektedir (Beatens ve diğerleri, 2010).

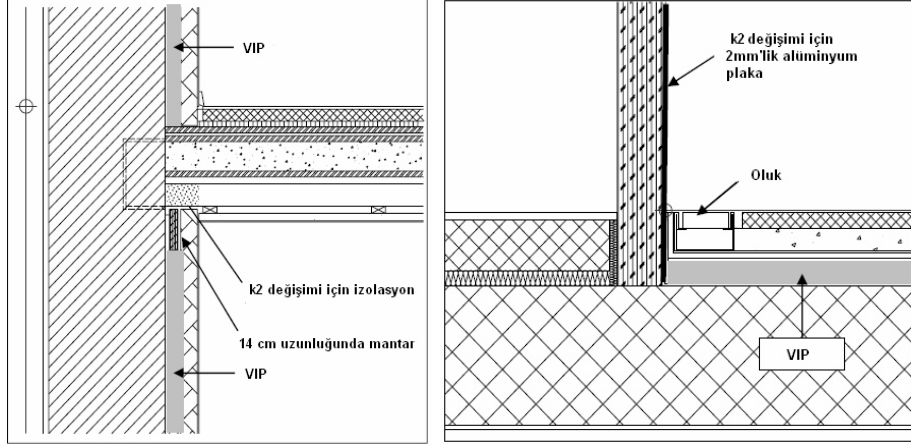


Şekil 4.13. İki VIP arasında geçen termal köprü ve etkisini azaltacak önlemler (Johansson, 2012:4).

VIP'lerin binalarda kullanımına ilişkin çeşitli araştırmalar yapılmıştır. 2002-2005 yılları arasında VIP'lerin özelliği, dayanıklılığı ve binalarda kullanımına ilişkin imkanlar araştırılmıştır. VIP ile yeniden inşa edilen veya mevcutta iyileştirilen toplam yirmi yapının enerji kullanımı, nem performansı, termal köprü (*edge effect*) üzerindeki sonuçları analiz edilmiş ve VIP'lerin enerji verimli binalar için önemli bir araç olduğu sonucuna varılmıştır. Willems ve Schild (2005) VIP'lerin sundurma, perde duvar, düz ve eğimli çatılar, zeminler, çatı terasları gibi yapının farklı yerlerinde kullanımının mümkün olduğu ve nasıl tasarlanacağına örnekleri sunulmuştur. Alam ve diğerleri (2011) tarafından VIP'lerin aynı ısı direnci sağlayan EPS kullanılan bir duvar ile geri ödeme süresi hesaplanmıştır. EPS'ye göre on kat daha yüksek yalıtım sağlayan VIP'lerin geri ödeme süresi altı yıl daha fazladır. Fakat aynı termal direnç için yalıtım kalınlığı VIP' de 60 mm iken EPS için 256 mm'dir (Johansson, 2012:8-9).

Yüksek yalıtım performansına ve yalıtım katmanlarının inceliğine sahip VIP'lerin hem mevcut binaların yenilenmesinde hem yeni binaların inşasında kullanımı mümkündür. Cephe ve duvarlarda, çatı, teras ve tavan arasında, hazır prefabrik beton ve kompozit panel uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Kapı, pencere çerçevelerinde, perde ve yük taşıyan

duvarlarda vakum yalıtımlı sandviç elemanı olarak kullanılmaktadır. Ayrıca alan kazanmak ve yerden ısıtmanın verimliliğini arttırmak amacıyla zeminler için kullanımı da mümkündür (Şekil 4.14) (Başpınar, Bayrakçı ve Davraz, 2012). Cephe kullanımına ilişkin örnek aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.14. VIP kullanımının duvar ve zemine ait yapı detayı (Kumlutaş ve Yılmaz, 2014).

Çizelge 4.14. Sonnenschiff Centre (Leydecker, 2008: 124)

SONNENSCHIFF CENTRE		
Yer	Freiburg, Almanya	
İşlev	Karma Kullanım	
Tasarım	RolfDiscMimarlar	
Yapım yılı	2006	
Akıllı Malzeme	Vakum yalıtım	
Kullanım Alanı	Dış cephe	

Konut ve ticaret merkezi olan karma kullanımlı yapı rejenaratif enerji kaynaklarının kullanımı ile ekonomik ve verimli enerji kullanımını mümkün kılmakta ve binanın tükettiği enerjiden daha fazla enerji üretmektedir. Güneş ve rüzgar enerjisinin yanı sıra jeotermal enerjiden de faydalanılmıştır. Doğal, yenileyici ve geri dönüştürülebilir yapı malzemelerinden istifade edilmiştir. Yalıtım için VIP'ler dış duvarlar, pencere çerçevelerinin yanı sıra ana cephedeki havalandırma kanatlarında kullanılmıştır. Ayrıca iç ortam sıcaklıklarını düzenlemek için gizli ısı depolaması özelliğine sahip Faz Değişim

malzemesi kullanılmıştır (Çizelge 4.14). Yüksek verimli enerji özelliğine sahip bu sistemler on kata kadar yalıtım sağlamıştır (Leydecker, 2008:124).

VIP teknolojisi diğer yalıtım malzemeleri ile kıyaslandığında yüksek maliyete sahip olsa da mimariye getirdiği avantajlar doğrultusunda değerlendirilmelidir. Düşük ısı iletkenliği, yüksek derecede ısı yalıtım özelliği sunarak geleneksel yalıtım malzemelerine göre % 50 ısı kazanç sağlamaktadır. İnce yalıtım katmanları sayesinde hacim kayıpları minimuma indirilmekte ve daha geniş kullanım alanları sunmaktadır. Özellikle enerji ihtiyacının yüksek olduğu yerlerde faydalı olup, farklı iklim bölgelerinde kullanımı da mümkündür. Ayrıca bina ömrünü tamamladığında ortaya çıkan atık malzemelerin geri dönüşüm imkanı olmaktadır. Ancak mevcut VIP'lerin yaygınlaşmasındaki en önemli engel üretim maliyetlerinin yüksek olmasıdır. VIP üretici firmaların yeterli seviyede olmaması da diğer bir etkidir. Özellikle maliyetinin yüksek olmasına sebep olan iç dolgu malzemesinin ekonomik şartlarda üretimi gelecekte kullanımını yaygınlaştıracaktır (Başpınar, Bayrakçı ve Davraz, 2012).

4.4.3. Faz değıştiren malzemeler

Isı enerjisi depolamada en yaygın kullanılan yöntem sıcak su çevrimli radyatörler veya yerden ısıtma sistemleri ile ısıнын sıcaklık artışıyla depolandığı duyulur enerji depolama tekniğidir. Fakat bir malzemenin faz değıştirerek ısıyı gizli olarak depolaması duyulur enerji depolama tekniğē göre hem avantajlı hem de etkilidir. Faz değıştiren malzemeler (FDM) olarak tanımlanan; belirli bir sıcaklık aralığında bir fazdan başka bir faza (katı-sıvı, katı-gaz, sıvı-gaz, katı-katı) geçerken ortamdaki ısıyı soğurabilen ve depolayan, gerektiğinde ısıyı yayabilen bu malzemeler en uygun ısı depolama yöntemidir (Koşan ve Aktaş, 2018).

Faz değışim malzemeleri kimyasal bileşimlerine göre 3 grupta incelenmiştir: organik, inorganik ve ötektik (*eutectic*) bileşikler. Bunlar içerisinde en yaygın kullanılan FDM parafin ve yağ asitlerinden oluşan organik FDM'dir. Bu FDM, geleneksel yapı malzemeleri ile uyumlu, yüksek ısı kararlılık, geniş çalışma aralığı, düşük buhar basıncı gibi avantajlarından dolayı tercih edilmektedir (Wahid ve diğerleri, 2017).

Faz değişim malzemelerinin ana özelliği gizli bir biçimde ısı enerjisi depolama kapasitesi sunar. Ortam sıcaklığı yükseldiğinde malzeme içerisindeki kimyasal bağlar kopar ve FDM erimeye başlar. Katıdan sıvı faza geçen bu malzeme erime süresi boyunca ortamdan ısı soğurur. Sıcaklık düşmeye başlayınca FDM katılaşmaya başlar ve soğurulan ısı ortama bırakılır. Böyle bir faz değişim döngüsü bina içi sıcaklığı dengeleyerek ısıtma ve soğutma yüklerini azaltmaktadır (Baetens, Jelle ve Gustavsen, 2010a). Bina inşaatına entegre edilen bu sistemler termal, fiziksel, kinetik ve kimyasal açıdan bazı özellikler gerektirmektedir (Baetens, Jelle ve Gustavsen, 2010b):

- Termal açıdan bakıldığında uygun bir faz değişim sıcaklığı, yüksek bir gizli ısı, yüksek ısı iletkenlik,
- Fiziksel açıdan bakıldığında mevcut yapı malzemelerine kolay entegre edilmesi için yüksek yoğunluk ve düşük hacim,
- Kimyasal açıdan bakıldığında toksik olmayan ve yangın tehlikesi taşımayan yapı malzemeleri ile bağdaştırılmış uzun vadeli kimyasal kararlığa sahip malzemeler,
- Kinetik açıdan bakıldığında ise hızlı soğumayı önlemek için yüksek çekirdeklenme hızı ve soğurulan ısıdan ısı talebini karşılamak için yüksek kristalleşme hızı olması beklenir.

Enerji alışverişi yapan FDM'ler mimari uygulamalarda pasif iklimlendirmede ısı enerjisi depolama amacıyla kullanılmaktadır. Binalarda ısı enerjisini depolamak için kullanılan en yaygın metot mikrokapsülleme yöntemidir. Bu yöntemde faz geçişi sırasında FDM' in şeklini korumaya ve sızıntıyı önlemeye yardımcı olan yüksek moleküler ağırlıklı polimerik film içerisinde sarılır. Mikrokapsülleme yöntemi ile FDM'lerin yapı malzemelerine entegre edilmesi hem kolay hem ucuzdur. İşlem yoluyla elde edilen FDM'lerin ısı performansı malzemenin boyutuna ve kapsüllenmesine göre büyük ölçüde etkilenmektedir (Wahid ve diğerleri, 2017).

FDM'lerin mimaride kullanımı; binalarda sıcaklık dalgalanmalarını optimum düzeyde korumak için zemin, tavan ve cephe de beton, tuğla, sıva, alçıpan paneller malzemesi içerisinde kullanılmaktadır. Ayrıca bina dışında duvar ve çatı yüzeylerinde kullanılan fotovoltaiiklerin soğutulması içinde kullanılmaktadır. Cephe kullanımına örnek bir konut yapısı verilmiştir (Çizelge 4.15).

Gizli ısı depolama özelliğine sahip bu binanın 148 m²' lik güney cephesinde GlassX patentli cam ünitesi kullanılmıştır. 78 mm genişliğinde bir sulu tuz karışımı ile doldurulmuş polikarbonattan oluşan FDM cam paneli; gündüz güneşten gelen ısıyı faz değişimi ile depolamakta ve oda sıcaklığı +26 °C'nin altına düştüğü durumlarda sulu tuz kristalleşerek depoladığı ısı enerjisini ortama bırakmaktadır. Böylece mekanın ısı konforunu düzenlenerek yapının enerji tüketimi azaltılmaktadır (Ritter, 2007:171).

Çizelge 4.15. Alterswohnen Binası (Ritter, 2007:171)

ALTERSWOHNEN BİNASI		
Yer	Domat/Ems, İsviçre	
İşlev	Konut	
Tasarım	Dietrich Schwarz	
Yapım yılı	2004	
Akıllı Malzeme	Faz Değiştiren Malzeme katkılı cam	 
Kullanım Alanı	Dış cephe	

Enerji korunumu için çevresel etkiyi azaltan, yenilikçi teknolojilerin gelişmesiyle küresel çözümler sunan FDM'lerin kullanımının önemi giderek artmaktadır. Ancak üretim ve kurulum maliyetinin yüksek olması yaygınlaşmasının engellerindendir.

4.5. Diğer Malzemeler

Yılda 1900 milyon ton karbondioksit salınımına karşılık gelen dünya enerjisinin ortalama % 20'si aydınlatma için kullanılmaktadır. Bir binanın toplam enerji tüketiminin önemli bir kısmını oluşturan bu girdi için geleneksel çözümlerin yanı sıra daha etkili ve yenilikçi çözümlerin üretilmesi gerekli kılınmıştır. Çözümlerden biri mimari aydınlatmada kullanılan akıllı malzeme ışık yayan diyotlar (*light emitting diots/ LED*) olmuştur. Elektrik enerjisini ışığa dönüştüren yarı iletken bir devre elemanıdır ve yüksek enerjili(1-20W) ışık

üretebilmektedirler (Çil, 2008). Diğer ampüllerden çok daha az enerji harcayan LED'ler (Döşemeciler, 2012);

- Ömürlerinin uzun olması,
- Boyutlarının ufak olmasından dolayı diğer aydınlatma sistemlerinin ulaşamadığı alanları aydınlatması,
- Işın yayılımının kaynak üzerinde denetlenebilmesi,
- Düşük ve yüksek ortam sıcaklıklarında çalışabilmesi,
- Işık şiddetinin yüksek aralıkta ayarlanabilmesi,
- Yüksek renk kalitesine sahip olması ve cıva içermemesi,
- Elektronik kontrolünün kolay ve yüksek hızlarda anahtarlanabilmesi gibi avantajlarından dolayı mimari aydınlatma uygulamalarında kullanmak için ideal bir seçenek olmuştur.

LED sistemlerinin uygulanması kolay birkaç akıllı malzemelerden biridir ve mimariye bakış açımızda devrim niteliğinde bir gelişme olmuştur. Aydınlatma teknolojisi Edison'un ilk ampülü patentlemesinden sonraki yıllar içerisinde parlaklıklarında veya ömürlerinde yapılan iyileştirmelere rağmen verimsiz, kırılğan ve bazen tehlikeli olmuştur. Geleneksel ampüllerin aksine on binlerce saat kesintisiz kullanımı mümkün olan LED'ler daha uzun süre dayanmakla kalmaz ve % 90 daha az enerji tüketir. Cıva ve toksik maddeler olmadan üretildikleri için gereken düşük voltaj ve güvenilir yapıları onları en zor iklimlerde bile iç ve dış mekanda kullanımını mümkün kılar. Ayrıca birçok LED ürünü otomatik sensörler, akıllı telefon ve bilgisayar yazılımı uygulamaları ile uzaktan kontrol edilebilen değişken renk ve yoğunluk ayarları vardır. RGB (*Red-Green-Blue*) spektrumundaki 16 milyondan fazla renk ile tasarım olanakları neredeyse sonsuzdur (Göktürk ve Tokuç, 2017). Bu çarpıcı ışıklar yalnızca bir binanın özelliklerini vurgulamakla kalmaz, göz alıcı ve çarpıcı bir yapıya dönüştürür. Bu kullanımına örnek Chunga Binası örnek verilmiştir.

Seul'un uluslararası anlamda en çok bilinen Gangnam' da bulunan Chunga Binası, 1980'lerin bej taşla kaplanmış ve logolarla sıvanmış dış cephesi zamanla çevredeki üst düzey vitrin tasarımları arasında göze batan bir hal almıştı. MVRDV tarafından yeniden tasarlanan cephe; vitrinler ile parçalara ayrılıp uyumlu bir bütün sağlanmıştır. Cepheye çağdaş görünüm veren küçük, yuvarlak ve mozaik karolarla kaplanmıştır. Camlar,

mağazalardaki güneş ışığı miktarını kontrol etmektedir. Cephedeki cam ve mozaik taşlar arasındaki süreklilik benzer bir desen ile sağlanmıştır. Ayrıca cephe canlı bir renk yelpazesi şeklinde programlanabilen LED şeritlerle donatılmış ve ilgi çekici bir yapı olmuştur (Çizelge 4.16) (URL 21).

Çizelge 4.16. Chungha Binası (URL 22)

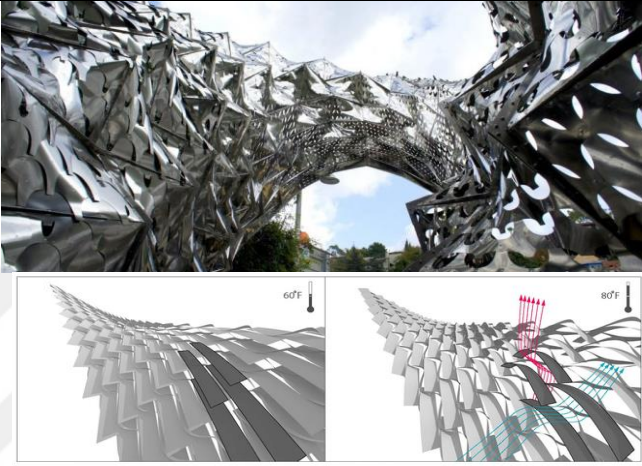
CHUNGHA BİNASI		
Yer	Seul, Kore	
İşlev	Ticari yapı	
Tasarım	MVRDV, Gangnam-gu	
Yapım yılı	2013	
Akıllı Malzeme	Işık Yayan Diyotlar	
Kullanım Alanı	Dış cephe	

Doğal koşulların etkisine karşı tepki gösteren şekil değiştiren bir diğer akıllı malzeme *şekil hafızalı alaşımlardır* (SHA). En az iki farlı metalik element içeren bu malzemeler, sıcaklığa bağlı olarak şekillerinde değişim meydana gelirken, çevresel uyaran ortadan kalktığında orijinal haline dönebilmektedir (Ritter, 2007:59).

Doğal koşulların dinamiklerine cevap verme kabiliyeti olan SHA'lar uyarlanabilir cephe sistemlerine seçenek olan mimari anlamda gelecek vaat eden yapı bileşeni olanağı sunmaktadır. SHA'lar ile meydana getirilmiş yüzeyler; algılama, uyarma ve denetleme özelliğine sahiptir. SHA'ların kullanımına yönelik Bloom ismi verilen heykel örnek verilebilir. Doris Kim Sung tarafından tasarlanan bu yapı Kaliforniya Los Angeles' de Malzeme ve Uygulama Galerisinde 2012 yılında gösterime açılmış bir enstalasyon eseridir(Kayılı, 2020). Bloom olarak adlandırılan bu akıllı sistem, değişen sıcaklığa bağlı olarak güneş ışınlarının geliş açısı ile sıcaklığa tepki olarak çalışan SHA'ların hareketi sayesinde hem ışık filtresi hem de istenmeyen aşırı sıcak havayı soğurma görevi üstlenmektedir. Bu sistemin özü iki malzemeden meydana gelmiştir: termosbimetal ve kompozit (Rashida, 2013:95). 414 adet hiperbolik ve parabolit şekilli istiflenmiş panelden oluşan kendi kendini düzenleyen yapı, potansiyel olarak bir bina kabuğunun rolünü

üstlenebilecek gölgeleme tasarımına sahiptir. Cephe sistemlerine ilham kaynağı olması sebebiyle geliştirilen bu sistem; sıcaklık arttıkça metaller kıvrılarak gölgelendirme ve doğal havalandırma olanağı sunarak pasif iklimlendirme sağlamaktadır (Çizelge 4.17) (URL 23).

Çizelge 4.17. Bloom Heykeli (Rashida, 2013:95)

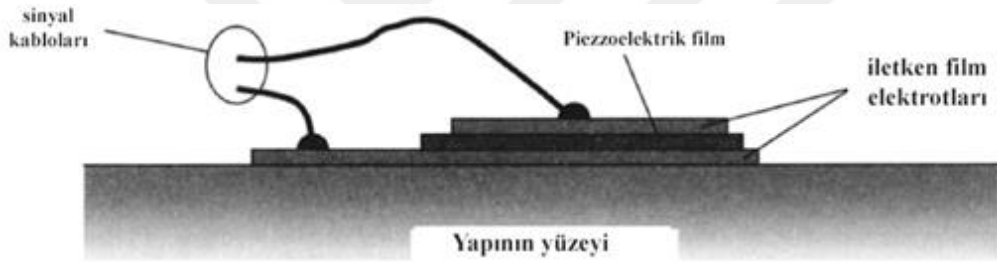
BLOOM HEYKELİ		
Yer	LosAngeles/ Kaliforniya	
İşlev	Heykel	
Tasarım	Doris KimSung /Dosu Mimarlık	
Yapım yılı	2012	
Akıllı Malzeme	Şekil hafızalı malzemeler	
Kullanım Alanı	Dış cephe	

Herhangi bir güç kaynağına ihtiyaç duymadan çalışan ŞHA'lar gelecek için gizil güçlere sahip bir önem taşımaktadır. Özellikle sıcak iklim bölgelerinde gittikçe önem kazanan bu akıllı malzeme, ışık kontrolü ve doğal havalandırma özelliği sayesinde dinamik cephe sistemi bileşenlerine seçenek olacaktır. Bu aşamada ŞHA'ların kullanımı gösteri ölçeğinde olsa da (Bloom heykeli gibi) gelişen teknoloji ile birlikte binalarda enerji tasarrufuna büyük katkı sağlayacağı öngörülmektedir (Ergin ve Girgin, 2019). Ayrıca mekan dinamiğini etkileyen yüzeyin tepkimesi ile oluşan hareket farklı biçimsel dokuların oluşmasına zemin hazırlamakta ve akustik çözümler için bir alternatif oluşturmaktadır (Bezci, 2016:87).

Enerji depolama yoluyla sürdürülebilir ve yenilenebilir kaynakların uygulanması için fırsatlar sunan bir diğer akıllı malzeme *piezoelektrik malzemeler*dir. Bu malzemeler üzerlerine uygulanan mekanik gerilme ve titreşim enerjisini elektrik potansiyeline dönüştürebilme yetisine sahiptir (Chen ve diğerleri, 2019). Uygulanan kuvvet ile malzeme yapısındaki pozitif ve negatif yükler kutuplaşır ve potansiyel fark oluşur. Bunun sonucunda enerji üretilmiş olur (Aslan, Bilgin ve Erfidan, 2016). Piezoelektrik malzemeler

içerisinde piyasada mevcut çokça kullanılan seramik esaslı piezoelektrik malzemeler (kurşun zirkonat titanat v.b.) ve polimer esaslı piezoelektrik malzemeler (poliviniliden florür, polipropilen vb.) dir (Patel, 2011; Orhon, 2012).

Yaşam döngüsü boyunca düşük enerji talebi özelliği göz önüne alındığında piezoelektrik malzemelerin sürdürülebilir bir bina sistemi için kullanımı çeşitli fırsatlar sunmaktadır. Bu malzemelerin ilk kullanım alanı yapıların sağlık kontrolünün izlenmesi ve onarılması için olmuştur. Kurşun zirkonat titanat (PZT) içeren piezoelektrik boyalar metal yapı üzerine püskürtülerek uygulanmakta ve yapının strüktürel davranışı malzemede meydana gelen basınç ve çekme sonucu çevreye verilen elektrik sinyalleri ile saptanmaktadır (Şekil 4.15) (Utkutuğ, 2002; Altun, 2007). Bu kullanıma örnek Gateshead Millennium Köprüsü verilmiştir.



Şekil 4.15. Piezoelektrik sensörün şematik gösterimi (Grattan ve Khan, 2001:443)

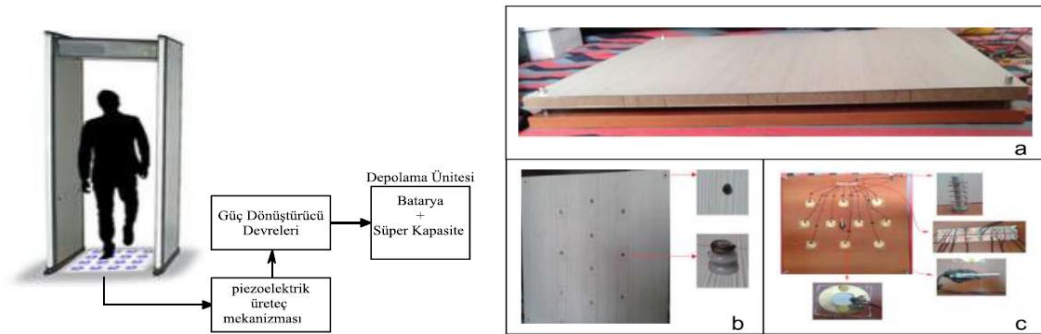
2001 yılında kullanıma açılan Gateshead Millenium Köprüsü Tyne Nehri üzerinde özgün tasarımı ile dikkat çekmektedir. Köprü, açılıp kapanarak deniz araçlarının geçişine olanak sağlamaktadır (Çizelge 4.18).

Çelik konstrüksiyon yapı, % 75 PZT tozu içeren piezoelektrik boya ile püskürtülerek kaplanmıştır. Yapı üzerinde meydana gelen basınç ve çekme gerilimlerine bağlı olarak meydana gelen titreşimler köprünün strüktürel stabilitesine katkı sağlamaktadır (Grattan and Khan, 2001:445).

Çizelge 4.18. Gateshead Millennium Köprüsü (Orhon, 2006)

GATESHEAD MİLLENİUM KÖPRÜSÜ		
Yer	Newcastle/İngiltere	
İşlev	Köprü	
Tasarım	Wilkinson Eyre Architects	
Yapım yılı	2001	
Akıllı Malzeme	Piezoelektrik boya	
Kullanım Alanı	Yaya Köprüsü	

Piezoelektrik malzemenin tersinirlik özelliği dikkate alınarak ses yutucu akıllı kaplamaları gelişimine olanak tanımıştır. İki piezoelektrik polimer tabakadan meydana gelen bu kaplamalardan biri ses dalgalarından oluşan basıncı elektrik sinyaline çevirirken diğeri gürültü geçişini sönmölendirerek ortamın akustik dengesi sağlanmaktadır (Okay, 2003; Orhon, 2012).



Şekil 4.16. X Ray zeminde enerji üretimi, X Ray zemin düzeneğinin katmanları(Aslan, Bilgin ve Erfidan, 2016)

Ayrıca piezoelektrik malzemenin zeminde enerji üretimine dair prototip çalışmalar bulunmaktadır. Şekil 4.16’de görüldüğü üzere X-Ray cihazının zeminine yerleştirilen piezoseramikler sayesinde X-Ray cihazından geçen insanların zemin üzerinde oluşturdıkları basınç ile enerji üretilebildiği gözlemlenmiştir (Aslan, Bilgin ve Erfidan, 2016).

En yaygın yapı malzemesi olan çimentonun piezoelektrik kapasitesini iyileştirmek için çeşitli yaklaşımlar önerilmiştir. Kurşun zirkonat titanat, baryum zirkonat titanat, karbon parçacıkları ve çelik lifler içeren piezoelektrik malzemelerin çimento bazlı kompozit ile birleşimi test edilmiştir. Piezoelektrik özelliğe sahip çimento bazlı bu malzemenin yapıda meydana gelen titreşim enerjisini toplama ve elektrik enerjisine çevirme özelliği vardır. Ayrıca malzeme üzerinde titreşimlerden kaynaklanan potansiyel hasar bu sayede ortadan kaldırılmıştır (Chen ve diğerleri, 2019).

Piezoelektrik malzemeler yeni nesil bina geliştirmede önemli potansiyele sahiptirler. Yapısal titreşim ve gerilmelerden kaynaklı enerji depolama özelliğine sahip bu malzemeler, daha az enerji tüketimi ile karbondioksit emisyonunu en az seviyeye indirgeyerek daha sürdürülebilir bina bileşenlerine olarak tanınmaktadır. Diğer malzemeler ile karşılaştırıldığında bina sistemlerine kolay entegre edilmesi de bir avantaj sağlamaktadır. Mevcut literatür araştırması piezoelektrik malzemelerin çeşitli çevre koşullarında yapısal güvenirliliğini, dayanıklılığını ve ekonomik fizibilitesini iyileştirmeye teşvik eden araştırmalar olduğunu göstermektedir.

Son dönemlerde bina ve kentsel doku üzerinde termal dengeyi sağlamak ve aşırı ısınmaya karşı büyük ölçüde katkı sunabilecek süper serin malzemeler adı altında yenilikçi yaklaşımlar ortaya konmuştur. Herhangi bir harici kaynağa ihtiyaç duymadan atmosfer tarafından soğurulmayan tayf bölgesinde (dalga boyları 8 ile 13 mikrometre arasında olan ışık ışınları) ısıma yaparak oluşturan bu yaklaşım ile malzemenin sıcaklığı ortam sıcaklık değerinin altına düşürmeyi mümkün kılmaktadır (Santamouris ve Yun, 2020).

Pasif ışımsal soğurma olarak adlandırılan bu akıllı olguya özgü malzemeler nanometre ölçeğinde üzerinde çalışılarak üretilmeye çalışılmıştır. 2018 yılında Columbia Üniversitesi'nde Jyotirmay Mandal tarafından geliştirilen polimer bazlı süper serin boya önemli bir çalışma olmuştur. Aseton, su ve polimer bazlı boya ile meydana getirilen karışım yüzeye püskürtme tekniği ile uygulanmıştır. Zamanla aseton uçucu bir malzeme olduğu için buharlaşmış ve polimer ile su birbirinden bağlantıyı koparmaya başlamıştır. İlk başta renksiz olan karışım, süreç tamamlandığında beyaz renge dönüşmüştür (Şekil 4.17). Böylece kullanılan olağan beyaz boyalara kıyasla güneş ışığını daha yüksek oranda yansıtan pasif soğuma sağlayan yüzeyler elde edilmiştir. Ahşap, plastik ve metal yüzeylere

kullanım imkanı sunan bu boyanın soğutma gücünün 96 W/m^2 olduğu yapılan testler ile kanıtlanmıştır (Ocak, 2020).



Şekil 4.17. Süper serin boyanın çalışma düzeneği (Mandal ve diğerleri, 2018: Ocak, 2020)

Pasif ışımsal soğutma ile ilgili bir diğer önemli çalışma ahşap malzeme üzerinde yapılmıştır. Ahşabın yapısında bulunan lignin polimeri sayesinde güneş ışığını bünyesine hapsedmektedir. Araştırmacılar bu duruma çözüm olarak lignin kimyasal bileşenini ahşaptan uzaklaştırarak malzemeyi sıkılaştırmış ve selüloz ipliklerinin bir nizamda olması sağlanmıştır. Böylece ahşabı yaydığı ısı miktarı arttırılmış ve malzemenin direnci sıradan bir ahşaba göre 8 kat daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle bu malzemenin sıcak ve kuru iklim bölgelerinde bina cephelerinde kullanımı soğutma masraflarını %60' a kadar düşüreceği tahmin edilmektedir (Li, 2019: Lim, 2020). Geliştirilmiş tüm bu ürünlerin endüstriyel ölçekte piyasaya sunulmak için gerekli çalışmalar sürdürülmektedir. Resim 4.13' de görüldüğü gibi Raman ve diğerleri (2017) tarafından geliştirilen Skycool patentli süper serin paneller Kaliforniya' da bir binanın çatısına yerleştirilmiş ve binanın soğutma giderlerini %21 oranında azalttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca araştırmacılar bu sistemin kurulum maliyetini 3 ila 5 yıl içerisinde amorte edeceğini söylemiştir (Lim, 2020).



Resim 4.13. Kaliforniya' da bir binanın çatısına kurulan süper serin paneller (Lim, 2020)

Gelecekte enerji harcamadan binaların soğutma giderlerini önemli ölçüde azaltması hedeflenen süper serin malzemeler, mevcut ortam ısısıyla mücadelede kayda değer potansiyele sahiptir. Geleneksel malzemelere alternatif olarak ortaya konan bu malzemeler,

ekonomik faydalarının yanı sıra, karbon emisyonlarını azaltmak için uygun maliyetli bir strateji sunmaktadır.





5. BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Malzeme alanında meydana gelen değişimler diğer disiplinlerde olduğu gibi mimari tasarımda da yeni bir anlayış getirmiş ve bu anlayış ile malzeme değişmiş ve dönüştürülmüştür. 21. yy'ın anahtar kelimesi olan akıllı malzemeler ile yapı endüstrisi mimari tasarımların ötesinde; doğanın potansiyellerinden faydalanılan, çevresel kaygılara cevap veren, kullanıcısıyla ilişkili, uyarlanabilir özelliklere sahip bir anlayışa ulaşmıştır.

Bu tez kapsamında öncelikli olarak malzeme biliminin nasıl bir gelişim gösterdiği genel bir bakış açısı sunması adına bir zaman çizelgesi üzerinde incelenmiş ve teknoloji ile yapı malzemelerinin etkileşimi sonucu ortaya çıkan akıllı malzemelerin bilgisi verilmiştir. Alan çalışmasında mimaride mevcut akıllı malzemeler incelenmiş ve örnekler üzerinden sunulmuştur. Bina teknolojisini geliştirmede kritik öneme sahip bu malzemelerin kullanımı incelenen örnekler üzerinden farklı performans seviyelerinde olduğu saptanmış ve ona göre kategorize edilmiştir. Bu sınıflandırma;

- Yapısal performans
- İklim ve enerji performansı
- Mimari (Fonksiyon ve estetik) performans bazında gerçekleşmiştir.

Akıllı malzemelerin yapısal performansına göre değerlendirilmesi

Binalarda kullanım süresi boyunca meydana gelen hasar ve bozulma kaçınılmaz olmakta ve ciddi zararlara yol açmaktadır. Her daim yapısal güvenliğin arz edildiği binalarda bu kusurların tespit edilmesi de oldukça zordur. Ancak binaların yapısal performansını iyileştirmeye yönelik teknolojik çözümler ortaya konmuştur. Akıllı malzemelerin bina sistemlerine entegre edilerek yapısal performansı optimize etmesi sürdürülebilir sağlıklı ve güvenilir bir yapı oluşturma imkanı sunmuştur. Bu bağlamda analiz edildiğinde malzemenin dayanıklılığını arttırmak için kendi kendini onaran malzemeler geliştirilmiştir. Binanın yapısal performansına büyük mukavemet sağlayan bu buluş yapı teknolojisinde beton malzemenin yeniden yorumlanmasına sebep olmuştur. Herhangi harici bir kaynağa ihtiyaç duymadan geliştirilen yapay iyileştirme teknolojisi;

- Mikrokapsül içerisine yerleştirilen onarıcı maddeler
- Isıtma yoluyla aktivite edilen şekil hafıza polimerleri
- Kireç taşı üreterek çatlakları onaran bakteri sporları
- Basınç etkisi altında çalışan vasküler ağlar sayesinde sağlanmıştır.

Yapısal performansı iyileştiren bir diğer akılcı çözüm piezoelektrik malzemeler ile yapıların güvenlik ve sağlık kontrolünün izleme imkânı sunan sistemlerdir. Piyasada mevcut piezoelektrik boyalar basınç ve çekme gerilimlerine bağlı olarak yapının strüktürel davranışı gözlemlenmektedir (Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1. Akıllı malzemelerin yapısal performansına göre değerlendirilmesi

	Akıllı Malzeme Türü	Bina Sistem İhtiyacı	Yaygın Kullanılan Malzeme ve Olumsuz Özeliği	Akıllı Çözüm	Akıllı Sistem
YAPISAL PERFORMANS	Mikrokapsül Bakteri sporları Şekil hafıza polimerleri Vaküler ağlar	Yapının kullanım süresi boyunca yapısal bütünlüğünü koruması	Beton Beton malzemede zamanla çatlak oluşumu	Oluşan mikro hasara cevap veren otomatik olarak onarım mekanizması geliştirmek	Kendini İyileştiren Sistemler
	Piezoelektrik malzemeler	Yapının strüktürel davranışını izlemek	Metal Malzemenin zamanla deforme olması	Metal malzeme üzerine uygulanan piezoelektrik boyanın titreşim sinyalleri vermesi	Güvenlik İzleme Sistemleri

Akıllı malzemelerin iklim ve enerji performansına göre değerlendirilmesi

Binalarda kullanıcı memnuniyetinin sağlanması için iç hava kalitesi, ortam sıcaklığı, görsel ve akustik konfor gibi değerler dikkate alınmaktadır. Ancak tüm bu değerlerin optimizasyonunu sağlarken enerji gereksinimini en aza indirmek ve gereksinim duyduğu enerjiyi yenilenebilir kaynaklardan sağlamak yaşanan dünyanın bir tercihi değil, gerekliliği olmuştur. Bu bağlamda geliştirilen akıllı malzemeler analiz edilmiş ve mimarlığa getirdiği yeni kavramlar sunulmuştur.

Kullanıcı konforu ve enerji kontrolü açısından önemli iyileştirmeler sağlayan uyarlanabilir gün ışığı sistemlerine sahip kromik malzemeler bina yapısındaki büyük cam yüzeylerin aşırı ısınma ve buna bağlı olarak önemli ölçüde enerji kaybı sorunsalına karşı geliştirilmiş akıllı malzemelerdir. Her biri kendine özgü üretim gereksinimi gerektiren pasif

(fotokromik, termokromik) ve aktif (elektrokromik, likit kristal parçacıkları) sistemler sayesinde cam üzerindeki ısı ve ışık miktarını kontrol etme imkanı sunmaktadır.

Çizelge 5.2. Akıllı malzemelerin iklim ve enerji performansına göre değerlendirilmesi

Akıllı Malzeme Türü	Bina Sistem İhtivacı	Yaygın Kullanılan Malzeme ve Olumsuz Özeliği	Akıllı Çözüm	Akıllı Sistem
Fotokromik Malzeme Termokromik Malzeme	Binanın tamamında gün ışığı kontrolünü sağlamak (pasif olarak)	Cam Bina cephelerinde yüksek miktarda enerji kaybına sebep olması	Doğal uyaranlara karşı renk ve optik özelliklerini değiştiren malzeme geliştirmek	Pasif Akıllı Cam Sistemleri
Elektrokromik Malzeme Likit Kristal Malzeme	Binanın tamamında gün ışığı kontrolünü sağlamak (aktif olarak)	Cam Bina cephelerinde yüksek miktarda enerji kaybına sebep olması	Harici bir uyarana karşı renk ve optik özelliklerini değiştiren malzeme geliştirmek	Aktif Akıllı Cam Sistemleri
Aerojel Vakumlu Yalıtım Panelleri Faz Değiştiren Malzeme	Bina kabuğundan transfer olan iletken ısıнын kontrolü Binanın ısıtma ve soğutma yüklerini azaltmak	Cam, kompozit panel, beton tuğla v.b. Geleneksel yalıtım malzemelerinin olumsuz çevresel etkenleri Kompozit panel, Hazır prefabrik beton v.b. Cam, beton, tuğla, sıva, alçıpan paneller v.b.	Teknolojik olanaklar kullanılarak ısı iletkenliği oldukça düşük olan yüksek performanslı yalıtım malzemeleri geliştirilmek Faz değiştirerek gizli ısı depolama özelliğine sahip olmak	Yüksek Yalıtım ve Isıl Düzenleme Sağlayan Sistemler
Şekil hafızalı alaşımlar	Doğal koşulların dinamiklerine cevap veren uyarlanabilir cephe geliştirmek	Metal İklim koşulları karşısında malzemenin stabil olması	Sıcaklığa bağlı olarak şekillerinde meydana gelen değişim	Pasif İklimlendirme Sistemleri
Piezoelektrik malzeme	Yapıda meydana gelen titreşim enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek	Seramik, çimento, metal Potansiyel kaynakları değerlendirmek	Yapısal titreşim ve gerilmelerden kaynaklı enerji depolama	Enerji Üreten Sistemler
Süper Serin Malzemeler	Aşırı ısınmaya karşı önlem almak ve termal dengeyi sağlamak	Boya, Ahşap, Kompozit panel Malzemelerin aşırı ısınma sorunu	Atmosfer tarafından soğutulmayan tayf bölgesinde ısıyı yarak malzemenin sıcaklığı ortam sıcaklık değerinin altına düşürmek	Pasif Soğutma Sistemleri
Elektrolüminans malzeme	Aydınlatma için daha yenilikçi ve etkili çözüm geliştirmek	Ampül Ampüllerin çok fazla enerji harcaması	Elektrik enerjisini ışığa dönüştüren yarı iletken bir devre elemanı geliştirmek ve yüksek enerjili ışık üretebilmek	Işık Yayan Diyotlar

Yapıların iklim ve enerji performansını iyileştiren bir diğer malzeme grubu yüksek performanslı ısı yalıtım özelliğine sahip malzemelerdir. Bina kabuğundan transfer olan iletken ısıнын kontrolünü sağlayan bu malzemeler;

- Saydam ve dünyanın en hafif malzemesi olan özelliği ile aerojeller
- Minimum yalıtım kalınlığı ve maksimum termal direnç sağlama özelliği ile vakumlu yalıtım panelleri
- Gizli ısı depolama özelliği ile faz değiştiren malzemeler oluşturmaktadır.

Doğal koşulların dinamiklerine cevap veren uyarlanabilir cephe geliştirerek pasif iklimlendirme sunan şekil hafızalı alaşımlar ve adından yeni yeni söz ettiren aşırı ısınmaya karşı geliştirilen süper serin malzemeler yapıların iklim ve enerji performansını iyileştirmeye büyük katkı sunması beklenen aday malzemelerdir. Ayrıca yapı üzerindeki titreşim enerjisini elektrik enerjisine çeviren piezoelektrik malzemeler enerji üretimine sağladığı katkıdan dolayı bu kategoride değerlendirilmiştir. Geleneksel ampullerin yanı sıra çok daha az enerji tüketen aydınlatma teknolojisinde yenilikçi çözüm ışık yayan diyotlar enerji performansını iyileştirmede katkı sağlamıştır (Çizelge 5.2).

Akıllı malzemelerin mimari (fonksiyon ve estetik) performansına göre değerlendirilmesi

Bir yapının mimari performansı o yapının işlevsel ve estetik yönlerini temsil etmektedir. Birbirinden bağımsız düşünölemeyen bu değerler yapının çevre ile uyumunu tasavvur etmede en büyük paya sahiptir. Bu bağlamda analiz edildiğinde bina sistemine entegre edilen akıllı malzemeler yapının sadece kullanıcısıyla değil aynı zamanda çevresi ile hem fonksiyonel hem de estetik yönleriyle ilişkilendirilmektedir.

Kendi kendini temizleyen malzemeler yapının mimari performansını iyileştirmede kayda değer bir potansiyele sahip olduğu için bu kategoride değerlendirilmiştir. Yüksek performanslı cephelerin geliştirilmesine olanak sağlayan bu sistemler yapısal zarar veren kirlilikleri temizleyerek fonksiyonel performansa ve cephelerin sürekli temiz kalmasını sağlayarak estetik performansa katkı sunmaktadır.

Ayrıca aydınlatma teknolojisini kullanarak esneklik ve dönüşölebilirlik sağlama özelliği ile ışık yayan diyotlar (LED), renk değiştirme özelliğinin yapılarda uygulanması ile termokromik boyalar, ayarlanabilen opak görüntü ile istenilen düzeyde görsel geçirgenlik sağlayan likit kristal cam sistemleri mimari performansı iyileştiren diğer akıllı malzemelerdir (Çizelge 5.3).

Çizelge 5.3. Akıllı malzemelerin mimari performansına göre değerlendirilmesi

	Akıllı Malzeme Türü	Bina Sistem İhtiyacı	Yaygın Kullanılan Malzeme ve Olumsuz Özeliği	Akıllı Çözüm	Akıllı Sistem
MİMARİ (FONKSİYON VE ESTETİK) PERFORMANS	Lotus etkili Malzeme	Yapıların estetik görünümünü bozan ve yapısal zararlar meydana getiren kirlilikleri temizlemek	Boya, sprej v.b.	Nanoteknoloji yardımıyla yapay lotus yüzeyler oluşturmak	Kendi Kendini Temizleyen Sistemler
	Fotokatalik Malzeme		Bina cephesinin zamanla kirlenmesi Boya, cam, beton, seramik v.b.	Kirletici maddeleri güneş ya da UV ışınları altında parçalayarak zararsız hale getirmek	
	Elektrolüminans Malzeme	Aydınlatma teknolojisini kullanarak esneklik ve dönüştürülebilirlik sağlamak	Aydınlatma Armatürleri Aydınlatma teknolojisinin yetersiz olması	Elektrik enerjisini ışık enerjisine dönüştürerek yüksek enerjili ışık üretebilmek	Işık Yayan Diyotlar (LED)
	Termokromik Malzeme	Termokromik boya renk değişimi özelliğinin yapılarda uyg.	Boya -	Sıcaklığa bağlı olarak malzeme üzerinde renk değişimi meydana gelmesi	Renk Değiştiren Boyalar
	Likit Kristal Malzeme	Ayarlanabilen opak görüntü ile istenilen düzeyde görsel geçirgenlik sağlamak	Cam Opak görüntü seviyesinin ayarlanamaması	Saydamlık seviyesinin elektrik kontrolü ile sağlanması	Likit Kristal Cam Sistemleri

Değerlendirme çizelgelerinde (5.1, 5.2, 5.3) görüldüğü üzere incelenen akıllı malzeme teknolojileri üç başlık altında gruplandırılmıştır. Yapılarda neden böyle bir sisteme ihtiyaç duyulduğu dikkate alınmıştır. Akıllı malzemelerin geleneksel ve yaygın kullanılan hangi yapı malzemelerine entegre edildiği ve bu yapı malzemelerinin giderilmesi gereken olumsuz özellikler tespit edilmiştir. Bu duruma getirilen akılcı çözüm ve yapı malzemelerinin akıllı malzeme ile entegrasyonu sonucu ortaya çıkan akıllı sistemler paylaşılmıştır.

Yapılan tüm bu değerlendirmeler sonucunda incelenen akıllı malzeme örneklerinin özellikle iklim ve enerji performansını iyileştirmeye yönelik çalışmaların daha yoğunlukta olduğu tespit edilmiştir. Yaşanılan çevrenin en önemli konuları olan enerjinin korunumu, doğal kaynak tüketiminin azaltılması ve sürdürülebilir çevre anlayışına çözüm olabilecek yenilikçi sistemler ortaya konmuştur. Bu malzemeler doğrudan bu başlıklar altında toparlansa da dolaylı olarak birbirlerini desteklemektedir. Yapısal performansı iyileştiren bir anlayış malzemenin kullanım ömrünü arttırarak bakım ve onarım için harcanan enerjiyi

ortadan kaldırılmaktadır. Ayrıca yapının zamanla deforme olmasını engelleyerek mimari performansa da katkı sunmaktadır.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Malzeme bilimi ve teknolojilerinin geliştirilmesi birçok disiplinde olduğu gibi mimari alanda da tasarım olanaklarına çok yönlü katkılar sağlamaktadır. Öyle ki malzeme bilimi ve malzeme teknolojisi adı altında yaşanan devrimsel nitelikteki ilerlemeler sayesinde hem yenilikçi ürünler geliştirilmekte hem de konvansiyonel malzemelerin nitelikleri artırılmaktadır.

Teknoloji alanında meydana gelen yenilikler ve buluşlar; yüksek performanslı malzemelerin tasarımına olanak sunan akıllı malzeme anlayışını da beraberinde getirmiştir. Mimari tasarımın en önemli girdilerinden olan malzeme; getirilen bu anlayış ile yeniden yorumlanmıştır. Uyarlanabilir yetenekleri ve entegre tasarımları sayesinde performansları sürekli aktif olarak izlenebilen ve optimize edilebilen bu malzemeler ile bina tasarımı “çevresel uyarıcılara yanıt veren” anlayışa bürünmüştür. Yaşadığımız çevre üzerinde üretilen atık, malzeme ve enerji kullanımı; çevre problemlerinin ana kaynakları olarak görülmüş ve sürdürülebilir gelişim, ekoloji ve enerjinin korunumu en önemli konular haline gelmiştir. Tüm bunları desteklemek ve dijitalleşen çağa ayak uydurmak için geliştiren akıllı malzeme teknolojileri; yapı endüstrisini iyileştirmede ve geliştirmede büyük paya sahip olması beklenmektedir.

Akıllı malzeme teknolojilerinin en büyük avantajlarından biri mevcut bina bileşenlerine entegrasyon kabiliyetinin yüksek olmasıdır. Bu anlayış geleneksel yapı malzemelerine yeni işlevler kazandırmıştır ve alternatif çözüm olarak sunulmuştur. Mevcut durumu iyileştiren bu işlevler sayesinde yapı malzemelerinin yapılı çevre üzerindeki olumsuz etkileri optimize edebilme fırsatı yakalamıştır.

Mimarlar malzemeyi tasarım-üretim-kullanım işlemlerinin her aşamasında uyarlanabilir ve nitelikli değişime sahip işlevsel bir unsur olarak görmelidir. Mimarlık mesleğine yeni bir vizyon getiren bu malzeme anlayışı ile mimarlara malzemeyi tasarlama imkanı sunmaktadır.

Çalışmada mimari alanda kullanılan akıllı malzeme teknolojilerinin farklı performans seviyelerinde olduğu belirlenmiştir. Yapısal, iklim ve enerji, mimari performanslarına göre kategorize edilen bu malzemelerdeki hemen hemen tüm yeni yaklaşımlar iklim ve enerji performansını iyileştirmeye yönelik olduğu saptanmıştır. Özellikle enerji kaynaklarının

azalması, doğal kaynakların tüketilmesi, artan nüfus v.b. küresel sorunlara çözüm sunan potansiyele sahip malzemeler olduğu gözlemlenmiştir. Sürdürülebilir çevre içinde büyük önem arz eden bu malzemeler doğal kaynak kullanımını önemli ölçüde azaltacaktır.

“21. yy da ilerleyen teknoloji ve sanayi malzeme biliminde ne gibi değişimlere yol açmaktadır?” sorusuyla başlayan tez çalışması; dijital tasarım ve üretim teknolojileri ile malzemenin sadece yapım aşamasında gerekli problemleri çözen bir araç olmadığını kullanımı sırasında da faydalı ve nitelikli dönüşümler sağlama potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymuştur. Alışlagelmiş malzeme anlayışının aksine malzemeye getirilen bu yeni yorum (akıllı malzemeler) araştırmanın sınırlılığını belirlemede etken olmuştur. Spesifik özelliklere sahip olan akıllı malzemeler ile mimarlık yeniden yorumlanmış ve doğanın potansiyellerinden faydalanılan, çevresel kaygılara cevap veren, kullanıcısıyla ilişkili, uyarlanabilir özelliklere sahip bir anlayışa ulaşmıştır. Edinilen tüm bu bilgiler ışığında “Malzeme bilimindeki gelişmeler ve özellikle akıllı malzemeler mimarlık alanında paradigmatik değişimlere yol açmaktadır” hipotezini doğrulamaktadır.

Yaklaşık 20 yıldır kendine yer edinmeye çalışan akıllı malzemeler ile ilgili yapılan bu çalışma gelecekteki araştırma ve çalışmalara ilham kaynağı olması beklenmektedir. Ancak bu malzemeler bazı sınırlılıklar ve engellerden dolayı yapı sektöründe beklenen kullanım yaygınlığına ve sıklığına ulaşamamıştır. Bu sınırlılık ve engeller aşağıda belirtilmiş ve gelecek çalışmalar da daha etkili sonuçlar elde edilmesi ve kayda değer bir gelişme olması için tüm bunlar dikkate alınmalıdır.

- Yenilikçiliği ticaretleştirmenin önündeki en önemli engel yönetim eliyle yeniliği teşvik eden uygun yasal mevzutlar geliştirerek çözümlenmelidir. Bu anlamda araştırmacılar gerekli akademik çalışmalar yapıp, yönetimden gerekli desteği almalıdır. Akıllı malzemelerin maliyetlerinin yüksek olmasına karşın ekonomik çözümler geliştirilmelidir.
- Binanın yapım süresince kısa vadeli tasarruflar göz önünde bulundurularak, binanın yaşam döngüsü boyunca sağlayacağı avantajlı yatırımlar kullanıcı tarafından göz ardı edilmektedir. Bu anlamda girişimciler tarafından bu malzemelerin sahip olduğu potansiyellerin bilgisi için metodlar geliştirilmeli ve geliştirilen metotlar aracılığıyla kullanıcıya aktarılmalıdır.

- Tez çalışmasında sunulan mimaride akıllı malzeme örneklerinin çoğu ya saha çalışmasında test edilmekte ya da hâlihazırda piyasada mevcut olanlarda maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı istenilen pazarı bulamamaktadır. Ancak geleneksel malzemelerin olumsuz özelliklerine de çözüm olabilecek “akıllı malzeme” anlayışını teoriden pratiğe taşımak için çalışmalar piyasaya sürülmelidir.
- Enerji tasarrufu ve sürdürülebilir çevre açısından kayda değer faydalar sunan söz konusu malzemelerin, gerçek ölçekte uygulanması takdirde ortaya çıkan zorluklar ve engeller hesaplanmalı ve azaltılmasına odaklanılmalıdır. Modern teknolojiyi akıllı sisteme yönlendirecek çeşitli yollar keşfedilmelidir.
- Bazı akıllı malzeme türleri yeterli saha çalışması ve pazar imkanı bulamadığı için henüz yapı endüstrisi tarafından tanımlanamamıştır. Bu malzemenin performans verilerine ve bilgi eksikliğine yönelik çalışmalar arttırılmalı ve Ar-Ge tarafından desteklenmelidir.
- Akıllı malzeme anlayışı ile mimarlık multidisipliner alan çalışması gerektiren bir hal almıştır. Mimarlığın diğer disiplinler ile yapabileceği çalışmalar akıllı malzemeler bağlamında irdelemeli ve yol gösterici akademik çalışmalar sunulmalıdır.
- Ayrıca kullanıcı konforu, enerji, maliyet gibi ölçüm parametreleri belirlenerek binalarda kullanılacak olası akıllı malzemeler belirlenmeli ve geleneksel malzemeler ile kıyaslanması için gerekli simülasyon yazılımları geliştirilmelidir. Böylece yapılarda akıllı malzemelerin potansiyelleri sayısal değerler üzerinden aktarılmalıdır.



KAYNAKLAR

- Abdullah, Y.S., and Al-Alwan, H. (2019). Smart material systems and adaptiveness in architecture. *Ain Shams Engineering Journal*, 10,623–638.
- Abeer, S.Y.M. (2017). Smart materials innovative technologies in architecture: towards innovative design paradigm. *Energy procedia*, 115,139-154.
- Aboulnaga, M.M., and Elhannawi, E.M. (2019). Impacts of exploiting nanocoating on buildings' façades to improve air quality in megacities, mitigate climatechange and attain livability. In A. Syayigh (ed.), *Green Buildings and Renewable Energy Med Green Forum 2019 – Part of World Renewable Energy Congress and Network*, Brighton: Springer, 293-304.
- Acharya, A., Jashi, D., and Gokhale, V. (2013). Aerogel – a promising building material for sustainable buildings. *The International Institute for Science, Technology and Education (IISTE)*, 9, 1-6.
- Adak, D., Chattopadhyay, B., Mandal, S., Sarkar, M. and Tamang, A. (2013). Genetically-enriched microbe-facilitated self-healing concrete - A sustainable material for a new generation of construction technology. *Royal Society of Chemistry Advances*, 1(1), 1-22.
- Addington, M., Schodeck, D. (2005). *Smart Materials and New Technologies For Architecture and Design Professions*. Harvard University, Architectural Press, Elsevier. New York.
- Akeiber, H.J., Hosseini, S.E., Hussen, H.M., Mohammed, A., Saud, S.N. and Wahid, M.A. (2017). An overview of phase change materials for construction architecture thermal management in hot and dry climate region. *Applied Thermal Engineering*, 112, 1240–1259.
- Aktaş M., and Koşan M. (2018). Faz değıştiren malzemelerle termal enerji depolayan bir ısı değıştiricisinin sayısal analizi. *Politeknik Dergisi*, 21(2): 403-409.
- Alhalabi, O., and Dopudja, D. (2017). Self-healing concrete: definition, mechanism and application in different types of structures. *International Research Journal*, 05(59), 55-57.
- Altın, M., ve Aşıkoğlu, A. (2014). Sürdürülebilir yapılarda arojel kullanımı. *Yapı ve Yalıtım Teknolojileri Dergisi*, 17(123), 58-70.
- Altun, D. (2007). Geleceğin mimarları: bilimsel teknolojik değışimlerin mimarlığa etkisi. *DEU Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 9(1), 77-91.
- Andalora, A., Lucchini, A., Mazzuchelli, E. and Pedferri, M. (2016). Photocatalytic self-cleaning coatings for building facade maintenance: Performance analysis through a case-study application. *Journal of Facade Design and Engineering*, 4(3-4), 115-129.
- Anderson, A., Binions, R., Chen, S., Romero, L. And Top, I. (2016). Thin films for advanced glazing applications. *Buildings*, 6(3), 37.

- Armstrong, K.B., Bevan, L.G. and Cole, W.F. (2005) *Care and Repair of Advanced Composites*. (2nd Edition). Warrendale: SAE International.
- Arslan, G., and Eren, O. (2014). *Analysis of effects of glass selection on energy efficiency in glass facade systems*. Paper presented at the Proceedings of the 4th International Conference on Advanced Construction, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kaunas University of Technology, Kaunas, Lithuania.
- Ashby, M., Ferreira, P. and Schodek, D. (2009) *Nanomaterials, Nanotechnologies and Design An Introduction for Engineers and Architects*. Butterworth-Heinemann: Elsevier, 1.
- Ashby, J. (1999). *The Aluminium Legacy: the History of the Metal and its Role in Architecture*, The Construction History Society (15. Baskı).Cambridge: Annually, 79-90.
- Aslan, E., Bilgin, Z. and Erfidan, T. (2016). Piezoseramik malzemelerle elektrik enerjisi üretilmesi ve depolanması. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 5(2), 66-76.
- Ayr, U., Cannavale, A., Cossari, P., Gigli, G. and Martellotta, F. (2018). Energy savings due to building integration of innovative solid-state electrochromic devices. *Applied Energy*, 225, 975-985.
- Ayr, U., Cannavale, A., Fiorito, F. and Martellotta, F. (2020). Smart electrochromic windows to enhance building energy efficiency and visual comfort. *Energies*, 13(6), 1449.
- Bahlol, W. (2011). Smart glazing systems for low energy architecture. *Sustainable Architecture and Urban Development*, 149-165.
- Baldawi, M.T. (2015). Application of smart materials in the interior design of smart houses. *Civil and Environmental Research*. 7(2), 1-15.
- Baloukas, B. (2012). *Thin film-based optically variable security devices: from passive to active*. Doctor of Philosophy, Politecnico School of Montreal. Montreal, Canada.
- Barthlott, W., Cerman, Z., Solga, A., Spaeth, M. and Striffler, B. (2007). The dream of staying clean: Lotus and biomimetic surfaces. *Bioinspiration&Biomimetics*, 2(4), 126-134.
- Batdoo, N.R. (2008). Stainless steel in construction: A review of research, applications, challenges and opportunities. *Journal of Constructional Steel Research*, 64 (2008), 1199-1206.
- Bayrakçı, H., Davraz M., ve Başpınar, E. (2011). Yeni nesil ısı yalıtım malzemesi: vakum yalıtım paneli. *SDÜ Teknik Bilimler Dergisi*, 1(2), 1-12.
- Beall, C. (2004). *Complete construction –Real Answers Contractors Need Masonry and Concrete for residential construction*. New York: McGraw-Hill.
- Beatens, R., Gustavsen, A. and Jelle, B. (2010a). Phase change materials for building applications: A state-of-the-art review. *Energy and Buildings*, 42,1361-1368.

- Beatens, R., Gustavsen, A. and Jelle, B. (2010b). Vacuum insulation panels for building applications: A review and beyond. *Energy and Buildings*, 42,147-172.
- Beatens, R., Gustavsen, A. and Jelle, B. (2011). Aerogel insulation for building applications: A state-of-the-art review. *Energy and Buildings*, 43,761-769.
- Bechthold M. and Weaver J.C.(2017) . Materials science and architecture. *Nature Reviews Materials*, 2, 1-19.
- Benedix, R., Dehn, F., Quaas, J. and Orgass, M. (2000). Application of titanium dioxide photocatalysis to create self-cleaning building materials. *Lacer*, 5, 157-168.
- Bengisu, M. and Ferrare, M. (2014). *Materials that Change Color Smart Materials, Intelligent Design*. Milano: Springer.
- Berge, A. and Johansson, P. (2012). Literature review of high performance thermal insulation. *Chalmers University of Technology Department of Civil and Environmental Engineering*, 2, 1-28.
- Berge, B. (2011) .*The Ecology of Building Materials*. (Second edition). İtaly: Elsevier.
- Binark, A.K. ve Deniz, E. (2008). *Vakumlu yalıtım panelleri*. VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu (UTES 2008), İstanbul.
- Birer, E. ve Bostancıoğlu, E. (2004). Ekoloji ve ahşap-türkiye’de ahşap malzemenin geleceği. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 9(2), 37-44.
- Blaiszik, B., Kramer, S., Olugebefola, S., Moore, J., Sotton, N. and White, S. (2010). Self-healing polymers and composites. *Annual Review of Materials Research*, 40, 179-211.
- Bolte, G. (2009). Innovative building materials reduction of pollutants with TioCem®. *Zement Kalk Gips International*, 62(1), 63-70.
- Brebbia, A. and Binda, L. (2011). *Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture XII*, Southampton: WIT Press.
- Calkins, M. (2009). *Materials for Sustainable Sites*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Callister, W.D. and Rethwich, D.G.(2007). *Material science and engineering an introduction*. (7. Baskı). New York: John Wiley& Sons.
- Chen, J., Han, Y., Lau, D. and Qiu, Q. (2019). Piezoelectric materials for sustainable building structures: Fundamentals and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 101, 14-25.
- Choi, E.C., Choi, Y.J., Hong, J., Lee, C., Moon, J.W. and Park, B.R. (2019). Improvement in energy performance of building envelope incorporating electrochromic windows (ecws). *Energies*, 12.

- Christopher R.(2011). *Traditional building materials and the sustainability of the Cheyenne and Arapaho Tribal College design*. Master of Science, Iowa State University. Ames, Iowa.
- Collins, C., Hossain, K. and Safiuddin, M. (2018). Potential applications of self-cleaing nano lotus leaf biomimicked coating in different construction sectors. *Building Tomorrow's Society*.
- Constantinescu, D. and Carian, B.A. (2017). *A short history of the iron and steel industry in central Europe during the Roman iron age*. Metal 2016, Brno, Czech Republic.
- Copuroğlu, O., Jonkers, H.M., Muyzer, G., Schlongen, E. and Thijssen, A. (2010). Application of bacteria as self-healing agent for the development of sustainable concrete. *Ecological Engineering*, 36, 230–235.
- Coşkun, E. ve Oğulata, R.T. (2008). Akıllı tekstiller ve genel özellikleri. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 18(3), 100-109.
- Cundy, W. (2017) The ironbridge gorge heritage site and its local and regional functions *Bulletin of Geography Socio-economic Series*, 36, 61–75.
- Curcis, A. A. (2018). Photocatalytic self-cleaning facades in architectural design. *Facta Universitatis, Series: Architecture and Civil Engineering*, 16 (3), 425-436.
- Çakmaklı, C., Can, S. ve Muraçal, E. (2015). *Deprem ve mimarlıkta kullanılan polimer malzemeler*. International Burdur earthquake & environment symposium, Burdur.
- Çil, C.Z. (2014). *Işık yayan diyotlar (led'ler) ve aydınlatmada kullanımı*. Işık Yayan Diyotlar Sempozyumu, Ankara.
- Dal, M. (2011). Mimarinin en soylu malzemesi: doğal taş. *Mimarlıkta Malzeme*.6(9), 90-95.
- Davies, R., Kanellopoulos, A., Sharma, T. and Teall, O. (2016). *Self-healing concrete full scale site trials*. 11th fib International PhD Symposium in Civil Engineering, Tokyo, Japan.
- Demir, A., Özdoğan, E. ve Seventekin, N. (2006). Nanotechnology and its applications in textile industry. *Textile And Apparel*, 16 (3) , 159-168.
- Deplazes, A. (2005). *Construction architecture*. Berlin: Birkhauser.
- Dost, W.A. and Botsai, E.E. (1990). *Wood As A Building Material*. California: GRDA.
- Döşemeciler, A. (2012). Cam ve aydınlatma sistemlerinde akıllı malzemeler. *Ege Mimarlık*, 82, 14-17.
- Durzi, L. (2016). *Experimental investigation of cementitious and polymeric materials in self-healing concrete*. Master of Science, Eastern Michigan University, Michigan.

- Erdemli, M.İ. (2018). *Elektrokromik kaplamalı camın farklı iklim bölgelerine göre enerji performansı değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Ergin, Ö. ve Girgin, C.Z. (2019). Uyarlanabilir cephe sistemlerinde şekil hafızalı alaşımlar ve uygulamaları. *Aurum Mühendislik Sistemleri Ve Mimarlık Dergisi*, 3(2), 169-181.
- Fasi, M.A. (2013). *Energy and visual comfort performance of smart windows in office buildings in hot humid climate*. Master of Science, King Fahd University of Petroleum&Minerals, Dhahran.
- Ferguson, C. (2007). Historical introduction to the development of material science and engineering as a teaching discipline. *The Higher Education Academy UK centre for materials education* aktaran Tylecote, R. F. (1992) *A History of Metallurgy* London, The Institute of Materials.
- Forbes, P. (2008). Self cleaning materials. *Scientific American*, 299(2), 88-95.
- Freeman, C. and Soete, L. (1997). *The Economics of Industrial Innovation*. (1st Edition). London: Routledge.
- Frieden, J. (2008). *Globalization and Exchange Rate Policy*. New York: Routledge.
- Ghodke, P. and Mote, S. (2018). The self-healing concrete – a review. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 11(1), 29-34.
- Giovannini, L., Favoino, F., Serra, V. and Zinci, M. (2019). Thermo-chromic glazing in buildings: a novel methodological framework for a multi-objective performance evaluation. *Energy Procedia*, 158, 4115-4122.
- Gupta, K.M. (2015). *Engineering Materials –Research, Applications and Advances*. New York: CRC.
- Hale, J. M., Stephenson, R., Poumeyrol, B. and White, J.R. (2001). *Field trial of paint based thick film piezoelectric strain sensors on the Gateshead Millenium Bridge*. In K.T.V. Grattan and S.H. Khan (eds), *Sensors and their Applications XI*. London: CRC Press, 443-445.
- Helbig, J. Kagermann, H. and Wahlster, W. (2013). *Securing the future of german manufacturing industry recommendations for implementing the strategic initiative industrie 4.0 final report of the industrie 4.0 working group*. National Academy of Science and Engineering. Frankfurt, Almanya.
- Huyett, G.L. (2004). *Engineering Hanbook-Technical information*. New York: Industrial Press.
- Imbert, P., Kalyanova, O. and Jahra, H. (2019). Study of thermochromic glass performance in the Danish climate and visual comfort perspectives. *CISBAT 2019 Journal of Physic*, 1343.

İnternet: "What does natural material mean?" URL-3
<https://www.definitions.net/definition/natural%20material>, Son erişim tarihi: 15.12.2018.

İnternet: Alüminyum Kompozit Panel URL-9: https://www.yapikatalogu.com/ince-yapi-bitirme-isleri/lamine-kompozit-dis-cephe-kaplamasi/albond-kemah-group-aluminyum-kompozit-panel_13985, Son erişim tarihi: 07.01.2019.

İnternet: BBC Historic Ditherington Flax Mill, URL-6:
http://news.bbc.co.uk/local/shropshire/hi/people_and_places/history/newsid_8245000/8245168.stm, Son erişim tarihi: 22.12.2018.

İnternet: Bloom / DO|SU Studio Architecture, URL-23:
<https://www.archdaily.com/215280/bloom-dosu-studio-architecture>, Son erişim tarihi: 30.09.2020.

İnternet: Building Covered in Smog Eating Concrete, URL-14:
<https://interestingengineering.com/building-covered-smog-eating-concrete>, Son erişim tarihi: 10.04.2020.

İnternet: Chunga Building / MVRDV, URL-22:
<https://www.archdaily.com/388669/chunga-building-mvrdv>, Son erişim tarihi: 24.09.2020.

İnternet: Double-Skin Facade Renovation At Brive-La-Gaillarde's Hospital In Brive-La-Gaillarde, France By Espagno Milani Architectes Associes, URL-11:
<https://www10.aecafe.com/blogs/arch-showcase/2017/10/24/double-skin-facade-renovation-at-brive-la-gaillardes-hospital-in-brive-la-gaillarde-france-by-espagno-milani-architectes-associes/>, Son erişim tarihi: 15.03.2020.

İnternet: Ekoloji ve Ahşap Türkiye' de ahşap malzemenin geleceği, URL-4:
<http://www.gncahsap.com/makale-ekoloji-ve-ahsap-turkiyede-ahsap-malzemenin-gelecegi/>, Son erişim tarihi: 02.01.2019.

İnternet: High Performance Materials, URL-7:
<http://www.synl.ac.cn/org/non/zu1/knowledge/high.pdf>, Son erişim tarihi: 04.01.2019.

İnternet: Historical Development of Materials Science, URL-2:
<https://www.cpp.edu/~jbputhoff/history.html>, Son erişim tarihi: 17.12.2019

İnternet: Iata Executive Office (Switzerland), URL-18:
<https://www.sageglass.com/eu/case-studies/iata-executive-office-switzerland>, Son erişim tarihi: 12.06.2020.

İnternet: İleri Kompozit Malzemeler-Bursa Teknik Üniversitesi, URL-1:
http://depo.btu.edu.tr/dosyalar/metalurji/Dosyalar/Ayse_Kalemtas_Malzeme_Bilimi_Malzemelerin_Tarihsel_Gelisimi.pdf, Son erişim tarihi: 09.12.2018

İnternet: Kendi Kendini Temizleyen Boyaları Tanıyalım URL-10:
<http://www.kimyasalgelismeler.com/sektorler/boya-ve-kaplama-teknolojileri/kendi-kendini-temizleyen-boyalari-taniyalim.html>, Son erişim tarihi: 08.03.2020.

- İnternet: Kerpiç Nedir? Kerpiç Kullanım Alanları ve Yapı Elemanları URL-8: <https://insapedia.com/kerpic-nedir-kerpic-kullanim-alanlari-ve-yapi-elemanlari/>, Son erişim tarihi: 05.01.2019.
- İnternet: Lighting the Way: Brilliant Buildings Transformed Customized LEDs, URL- 21: <https://architizer.com/blog/inspiration/collections/custom-led-lighting/>, Son erişim tarihi: 24.09.2020.
- İnternet: Likit kristal lamine akıllı camlar, URL-19: <https://akillicam.com/likit-kristal-lamine-akilli-camlar/>, Son erişim tarihi: 17.06.2020.
- İnternet: Monte Verde high-rise living, URL-12: <http://www.awimmer.at/en/work/monte-verde>, Son erişim tarihi: 07.04.2020.
- İnternet: Smart glass maximizes comfort at Bowie State University, URL- 17: <https://www.bdcnetwork.com/smart-glass-maximizes-comfort-bowie-state-university>, Son erişim tarihi: 08.06.2020.
- İnternet: Suntuitive, URL-16: <https://suntuitiveglass.com/dynamic-glass-projects/>, Son erişim tarihi: 05.06.2020.
- İnternet: Suntuitive® Dynamic IGU Project: NDIS Headquarters, Geelong, URL-15: <https://www.glassonweb.com/news/suntuitiver-dynamic-igu-project-ndis-headquarters-geelong>, Son erişim tarihi: 05.06.2020.
- İnternet: Switchable smart window, URL-20: <https://www.prosmartfilm.com/product/electric-switchable-window-privacy-film/>, Son erişim tarihi: 22.06.2020.
- İnternet: The History of Concrete URL-5: <https://www.nachi.org/history-of-concrete.htm#:~:text=The%20precursor%20to%20concrete%20was,form%20a%20hard%2C%20protective%20surface>.
- İnternet: The spectacular Palazzo Italia building in Milan a smog-eating machine, URL-13: <https://inhabitat.com/striking-palazzo-italia-at-the-milan-expo-is-a-smog-eating-machine/>, Son erişim tarihi: 10.04.2020.
- Jang, B.K., Mihashi, H., Miura, K. and Nishiwaki, T. (2006). Development of self-healing system for concrete with selective heating around crack. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 4(2), 267-275.
- Javadi, F.S., Kamalisarvestan, M., Mekhilef, S. and Saidur, R. (2013). Performance, materials and coating technologies of thermochromic thin films on smart windows. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 353–364.
- Jonkers, H.M. (2011). Bacteria-based self-healing concrete. *Heron Journal*, 56(1/2), 1-12.
- Kamila, S. (2013). Introduction, classification and applications of smart materials: an overview. *American Journal of Applied Sciences*. 10 (8), 876-880.
- Kaya, A.İ. (2016). Kompozit malzemeler ve özellikleri. *Putech&kompozite magazine*. Temmuz Ağustos, 38-45.

- Kienzl, N. (2002). *Evaluating dynamic building materials, the potential impact of climatically responsive building enclosures*. Doctor of Design, Harvard University, Cambridge, Massachusetts.
- Konarzewska, B. (2017). Smart materials in architecture: useful tools with practical applications or fascinating inventions for experimental design? *Materials Science and Engineering*, 245(5), 10- 17.
- Köktürk, G. ve Tokuç, A. (2017). *The Science and Art Of Architectural Lighting Using Smart Materials*. 46. International Hvac&R Congress And Exhibition, Belgrade.
- Kumlutaş, D. ve Yılmaz, U. (2014). Binalarda vakum izolasyon panelleri kullanılmasının soğutma yüküne olan etkisi. *Mühendis ve Makine Dergisi*, 49(583), 10-16.
- Leydecker, S. (2008). *Nano-Materials in Architecture, Interior Architecture and Design*. Berlin: Birkhäuser.
- Li, Z. (2011). *Advanced Concrete Technology*. New York: John Wiley and Sons.
- Lim, X. (2020). The super-cool materials that send heat to space. *Nature*, 577(18), 18-20.
- Lucas, N. and Valdalbero, D.R.(2018). *The future of European steel Innovation and sustainability in a competitive world and EU circular economy*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Madara, S.R. and Selvan, C.P. (2018). Review of research and developments in self healing composite materials. *Materials Science and Engineering*, 346.
- Manandhar, M.B. (2014). *Thermal and structural modeling of electrochromics on glass*.
- Manav B, Kutlu R, ve Küçükdoğu, M.Ş.(2009). *Mimaride kullanılan cam türlerinin aydınlatma açısından incelenmesi*. Ulusal Elektrik Tesisat Kongresi, V. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, İzmir.
- Master of Science, The Faculty of the Daniel Felix Ritchie School of Engineering and Computer Science University of Denver, Colorado.
- Mazumdar, S.K. (2002). *Composites manufacturing materials, product and process engineering*.(1. Baskı) .United State: CRC Press.
- Mazzoloni, F. (2003). *Aluminium structural design*. New York: Springer Verlag Wien.
- Milli Eğitim Bakanlığı (2013). Taşın mimaride kullanımı. *İnşaat Teknolojisi*, 2-4.
- Muazu G.A. and Alibaba H.Z.(2017). The use of traditional building materials in modern methods of construction (A case study of Northern Nigeria). *2nd International Journal of Engineering Science Technology And Research (IJESTR)*. 2(6), 30-40.
- Muller, U. (2011). *Introduction to structural aluminium design*, Scotland: Whittless.

- Munshi, K.P.(2012). *Analysis of life cycle costs and energy savings on electrochromic glazing for an office building*. Master of Science, Arizona State University, Arizona, ABD.
- Newman, J. and Choo, B.S.(2003). *Advanced Concrete Technology* Butterworth. Edinburgh: Heinemann.
- Nicholas, D.D. (1973). *Wood deterioration and its prevention by preservative treatments, Degradation and protection of wood*. New York: Syracuse University.
- Ocak, M.E. (2020). Dünyayı uzayın soğuğuyla serinletmek. *Tübitak Bilim ve Teknik Dergisi*, 635, 60-68.
- Ochshorn, J. (2003). Stell in 20th century architecture. *Encyclopedia Of Twentieth Century Architecture*, New York: Taylor and Francis.
- Ogwu I, and Nzewi NU.(2017). Adopting the principles of building physics, smart materials and new technologies in the design of energy efficient buildings. *Environmental Review*, 6,1-13.
- Okay, O. (2003). Polimerik malzemelerin bugünü ve yarını. *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, İstanbul*.
- Orhon, A.V. (2006). Modern yapı malzemeleri. *Yapı Dergisi*, 300, 104-109.
- Orhon, A.V. (2012). Akıllı malzemelerin mimarlıkta kullanımı. *Ege Mimarlık*, 82,18-21.
- Orhon, A.V. (2014). *Kendini temizleyen cephe sistemleri*. 7. Ulusal Çatı& Cephe Sempozyumu, İstanbul.
- Osswald, T.A. and Menges, G. (2010). *Material science of polymers for engineers*. (Third Edition), Chincinati: Hanser.
- Palgrave, R.G. and Parkin, I.P. (2005). Self-cleaning coatings. *Journal of Materials Chemistry*, 15, 1689–1695.
- Pehlivan, E. ve Tepehan, G.G. (2007). Titanyum dioksit katkılı niobyum pentoksit filmlerin optik, yapısal ve elektrokromik özellikleri. *İstanbul Teknik Dergisi*, 5(1), 49-55.
- Qamar, I.P.S. (2011). *The uses of fibre-reinforced polymers in the construction industry*. Advanced composites centre for innovation and science (accis), Department of aerospaceengineering, University of Bristol, Queen's building, University Walk, Bristol. UK.
- Radij, J., Kindij, A. and Mandic, A. (2008). *History of concrete application in development of concrete and hybrid arch bridges*. Proceedings Chinese Croatian Joint Colloquim, Brijuni Islands.
- Rashida, N. and Patel, S.(2013). *Performative Material in Architecture and Design*. Bristol: Intellect.

- Ritter, A. (2007). *Smart materials in architecture, interior design and design*. Berlin: Birkhauser.
- Santamouris, M. and Yun, G.Y. (2020). Recent development and research priorities on cool and super cool materials to mitigate urban heat island. *Renewable Energy*, 161, 792-807.
- Saraç, N. ve Toplan, N. (2016). Dünyanın en hafif katı malzemesi: aerogeller. *Metal Dünyası*, 276, 68-72.
- Schlangen, E. and Joseph, C. (2009). Self healing processes in concrete. In S.K. Ghosh (ed), *Self-healing Materials Fundamentals, Design Strategies, and Applications*. Federal Republic of Germany Weinheim: Wiley, 147-179.
- Schwartz, M. (2002). *Encyclopedia of smart materials*. New York: John Wiley and Sons.
- Sherif, M. S. E. (2013). Smart structures and material technologies in architecture applications. *Academic journals*, 8(31), 1512-1521.
- Sottile, G.M. (2005). 2004 Survey of United States architects on the subject of switchable glazings. *Materials Science and Engineering B*, 119, 240–245.
- Sottile, G.M. (2008). *Cleantech daylighting using smart glass: a survey of leed® accredited professionals*. Clean Technology Proceedings, Boston, ABD.
- Spoerl, J.S. (2004). *A Brief History of Iron and Steel Production*. Saint Anselm College, Manchester.
- Şam Devrim, E. (2007). *Saf ve katkılı TiO₂ filmlerin optik, yapısal ve fotoaktivite özellikleri*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tantawi, H.M.Y. (2015). *Introduction to Concrete Technology*. Department of Civil Engineering, Fahad Bin Sultan University, Tabouk.
- Taşlıgil, N. ve Şahin, G. (2016). Yapı malzemesi olarak kullanılan Türkiye doğal taşlarının iktisadi coğrafya odağında analizi. *Marmara Coğrafya Dergisi*. 33(2016), 607-640.
- Tavil, A., (2004). *Cephe sistemlerinde yeni teknolojiler - elektrokromik pencereler*. 2. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi, , İstanbul.
- Tuna Kayılı, M. (2020). Akıllı malzemelerin kamu yapılarında uygulama önerileri: karabük örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 805-817.
- Tunçel, S., Candan, Z. ve Satır, A. (2017). Mobilya endüstrisinde gelecek vizyonu endüstri 4.0. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 3, 152-159.
- TX® Active (2008). *The photocatalytic active principle italcementi*. Italcementi Group Technical Report.
- Usta, İ. (2004). *Ağaç malzeme fiziksel özelliklerinin şematik rehber ile belirlenmesi*. 35. Uluslararası Ahşap Koruma Araştırma Sempozyumu, Slovenya.

- Vasiliev, V.V. & Morozov, E.V. (2001). *Mechanics and analysis of composite materials*. (First Edition). Oxford: Elseiver.
- Witkowski, K.(2017). *Internet of things, big data, industry 4.0– innovative solutions in logistics and supply chains management*. 7th International Conference on Engineering, Project, and Production Management, Gora, Poland.
- Yeşildal, B.B. (2002). *Enerji korunumu açısından dış duvarlarda saydam yalıtım kullanımının irdelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yurttaş, F. (2009). Endüstri Devriminden 20. yüzyıla malzeme, teknoloji ve mimarlık. *Mimarlıkta Malzeme*, 4(13), 34-38.
- Yüksel Kuloğlu, Ş. F. (2010). *Kendi kendini temizleyen betonlarda kalıp tipinin durabiliteye etkisi*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Zaidi, I.K. (2017). *Nano SiO₂ - arojel katkılı süper ısı yalıtım özelliğine sahip beton blok üretimi*. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : TEMEL, Sevgi
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 26.11.1991, Ankara

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Mimarlık	Devam ediyor
Lisans	Selçuk Üniversitesi/ Mimarlık	2014
Lise	Ahmet Alper Dinçer Anadolu Lisesi	2009

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2014-2015	UED Mimarlık	Mimar

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Temel, S. ve Arslan Selçuk, S. (2019). Malzeme bilimindeki gelişmelerin mimarlık disiplini üzerine etkileri: Akıllı malzemeler. *Erasmus Uluslararası Akademik Araştırmalar Sempozyumu*, İzmir, Türkiye.

Hobiler

Doğa yürüyüşü, seyahat, fotoğrafçılık.



GAZİ GELECEKTİR..