T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

CEPHELERDE KULLANILAN AKILLI MALZEMELER İÇİN ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME YÖNTEMİ İLE BİR SEÇİM MODELİ ÖNERİSİ

Nazlıcan ÇİÇEK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Programı

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Ezgi KORKMAZ

Kasım, 2021

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

CEPHELERDE KULLANILAN AKILLI MALZEMELER İÇİN ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME YÖNTEMİ İLE BİR SEÇİM MODELİ ÖNERİSİ

Nazlıcan ÇİÇEK tarafından hazırlanan tez çalışması 02.11.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Ezgi KORKMAZ
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Ezgi KORKMAZ, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Mehmet Zafer AKDEMİR, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Meltem VATAN, Üye
Bahçeşehir Üniversitesi _____

Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ezgi KORKMAZ sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Cephelerde Kullanılan Akıllı Malzemeler İçin Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemi İle Bir Seçim Modeli Önerisi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Nazlıcan ÇİÇEK

İmza

Aileme

ve

sevdiklerime

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanması aşamasında, akademik bilgi ve deneyimleriyle çalışmaya katkı sağlayan ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ezgi KORKMAZ'a en içten şükranlarımı sunarım. Tez yazımı konusunda manevi destek ve yardımları ile yanımda olan, başta K. Can ASLAN ve F. Nur ZENGİN olmak üzere emeği geçen tüm dostlarıma teşekkürlerimi borç bilirim. Ayrıca, lisansüstü ders dönemi ve tez yazım süreçlerinde sağladığı yazılı ve sözlü kaynaklar, tanıdığı imkanlar ve sağladığı ayrıcalıklar için değerli üstadlarım ve çalışma arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Son olarak tüm hayatım boyunca yanımda olan, aldığım kararları her zaman destekleyen, tüm eğitim ve öğretim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyerek beni her konuda cesaretlendiren kıymetli aileme sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Nazlıcan ÇİÇEK

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR vi

SİMGE LİSTESİ ix

KISALTMA LİSTESİ x

ŞEKİL LİSTESİ xi

TABLO LİSTESİ xiv

ÖZET xv

ABSTRACT xvii

1 GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 2

1.2 Tezin Amacı 5

1.3 Hipotez 6

1.4 Tezin Kapsamı 6

1.5 Yöntem 7

2 CEPHELERDE KULLANILAN AKILLI MALZEMELERİN SINIFLANDIRILMASI 8

2.1 Özellikli Camlar 9

2.1.1 Yüzey Kaplamalı (Tayfsal Seçici) Camlar 9

2.1.2 Açısal Seçici Camlar 11

2.1.3 Akıllı Camlar (Geçirgenliği Değişebilir) 12

2.2 Elektrik Üreten Malzemeler 17

2.2.1 Piezoelektrikler 18

2.2.2 Fotovoltaikler 20

2.3 Adezyon Değiştiren Malzemeler 22

2.4 Şekil Hafızalı Malzemeler 25
2.4.1 Şekil Hafızalı Alaşımlar (ŞHA) 25
2.4.2 Şekil Hafızalı Polimerler (SMP) 26
2.5 Işık Yayan Malzemeler 28
2.5.1 Fotolüminesans 29
2.5.2 Elektrolüminesans 30
2.6 Termal Düzenleyiciler 36
2.6.1 Aerojeller 37
2.6.2 Faz Değiştiren Malzemeler 38
3 AKILLI MALZEMELER KULLANILARAK OLUŞTURULAN CEPHELERİN PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ 45
3.1 Malzeme Kaynaklı Ölçütler ve Kullanıcı Üzerindeki Etkileri 45
3.1.1 Teknik Performans Ölçütleri 46
3.1.2 Yapı Fiziği Ölçütleri 51
3.1.3 Cephe Malzemelerinde Sürdürülebilirlik 58
3.1.4 Diğer 65
3.2 Yapım ve Kullanım Süreci Ölçütleri 70
3.2.1 Tasarım Süreci Ölçütü 70
3.2.2 Üretim Süreci Ölçütü 72
3.2.3 Uygulama Süreci Ölçütü 73
3.2.4 Kullanım 77
4 CEPHELERDE KULLANILACAK AKILLI MALZEMELERİN SEÇİMİNDE ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME MODEL ÖNERİSİ 78
4.1 Karar Verme Süreci 78
4.1.1 Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri 80
4.1.2 AHP Yöntemi 82

4.2 AHP Yöntemi ile Cephelerde Kullanılan Akıllı Malzemelerin Seçim Modeli Önerisi 88

4.3 Cephelerde Kullanılan Akıllı Malzeme Seçim Modelinin Bir Örnek Üzerinde Uygulanması 109

5 SONUÇ VE ÖNERİLER **137**

KAYNAKÇA **141**

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **158**

SİMGE LİSTESİ

Al	Alüminyum
K	Kelvin
kg	kilogram
MJ	Mega Joule
MPa	Megapascal
m	metre
m^3	metre küp
Mw	miliwatt
°C	santigrat derece
Si	Silisyum
TiO_2	Titanyum Dioksit
VO_2	Vanadyum Oksit
CH3(CH2)2nCOOH	yağ asiti

KISALTMA LİSTESİ

AHP	Analitik hiyerarşi prosesi
ÇAKV	Çok amaçlı karar verme
ÇKKV	Çok kriterli karar verme
ÇNKV	Çok nitelikli karar verme
EC	Elektrokromik
EL	Elektrolüminesans
ELECTRE	Elimination and choice translating reality
FDM	Faz değiştiren malzemeler
LED	Işık yayan diyot (Light emitting diode)
Ni-Ti	Nitinol
OLED	Işık yayan diyot (Light emitting diode)
PROMETHEE evaluations	Preference ranking organization method for enrichment
PV	Fotovoltaik piller
PVC	Polivinil klorür
PVDF	Poliviniliden diflorür
SMP	Şekil hafızalı polimerler
ŞHA	Şekil hafızalı alaşımlar
TC	Termokromik
UV	Ultraviyole
YDD	Yaşam döngüsünün değerlendirmesi
YDM	Yaşam dönemi maliyeti
YDMA	Yaşam dönemi maliyet analizleri
ÇKKV	Çok kriterli karar verme
ÇAKV	Çok amaçlı karar verme
ÇNKV	Çok nitelikli karar verme
ELECTRE	Elimination and choice translating reality
Ni-Ti	Nitinol

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Tayfsal seçici cam kullanılmış bir ofis penceresi 10

Şekil 2.2 Tepe açıklığında açısal seçici cam uygulaması.....11

Şekil 2.3 Lazer kesim panelin çalışma prensibi.....12

Şekil 2.4 Foto–kromik cam kaplama değişimi 13

Şekil 2.5 Termo–kromik kaplı camın farklı sıcaklıklardaki renk geçişi 14

Şekil 2.6 Isıya duyarlı camın kesiti.....14

Şekil 2.7 Akıllı cam kaplaması olarak uygulanmış termo–kromik malzemenin şematik gösterimi 15

Şekil 2.8 Elektrokromik cihazın yapısı 16

Şekil 2.9 Elektrokromik pencere teknolojisi 16

Şekil 2.10 EC camların iç mekân görünüşleri a:Kapalı havada iç mekan görünümü, b: Güneşli havada iç mekan görünümü 17

Şekil 2.11 PVDF malzemenin mimaride kullanım örnekleri 20

Şekil 2.12 Fotovoltaik pilin çalışma prensibi 21

Şekil 2.13 Taiyo teknoloji uygulamaları: Ti02 ile çeşitli yapı membranları. a)Lomas Verde Shopping Mall, Meksika (PTFE) b) Coffs Harbour Mall, Avustralya (PTFE)....22

Şekil 2.14 TiO_2'in uygulandığı malzemeye kazandırdığı özellikler.....23

Şekil 2.15 TiO2 kaplama yüzeyde UV ışıkla kendini temizleme mekanizması 24

Şekil 2.16 Kendi kendini ve havayı temizleyen akıllı yapı elemanları. 25

a: Fotokatalitik cephe panelleri (Monte Verde Tower). b: Fotokatalitik mebran (Brasilia stadyumu). 25

Şekil 2.17 Sıcaklık ile cephe yüzeyi değişimi için şekil hafızalı alaşımların prototipi ve sıcaklığa karşı davranış şekli 26

Şekil 2.18 Şekil hafızalı polimerin şekil sabitleme ve geri kazanım prosesleri 27

Şekil 2.19 Şekil hafızalı polimerlerin uygulama şekilleri.....28

Şekil 2.20 Fotolüminesans pigmentlerin karanlık alanda görünümü.....29

Şekil 2.21 Fotolüminesans pigmentler kullanılarak yapı cephesinin aydınlatılması.....30

Şekil 2.22 LED çalışma prensibi 31

Şekil 2.23 Kırmızı, yeşil ve mavi ışıkla beyaz ışık eldesi.....31

Şekil 2.24 Sarı fotonlara dönüşen ışık.....32

Şekil 2.25 Chanel Ginza medya cephesi 32

Şekil 2.26 OLED yapısı ve gösterimi 33

Şekil 2.27 Aydınlatma armatürlerinin yıllar içindeki değişimi 34

Şekil 2.28 OLED sistemin çalışma prensibi.....35

Şekil 2.29 The Land cephesi (OLED-OPV) 36
Şekil 2.30 OLED aydınlatma panelleri 36
Şekil 2.31 Aerojel malzeme 37
Şekil 2.32 Farklı sıcaklıklarda malzemelerin faz durumları 38
Şekil 2.33 Faz değiştiren malzemelerin gün içinde yapıya etkisi 39
Şekil 2.34 Marché büro binasında FDM'li cephe sisteminin görünümü 40
Şekil 2.35 Faz değiştiren malzemenin ısı depolaması ve ısı salınımı 41
Şekil 2.36 FDM'lerin kimyasal özelliklerine göre sınıflandırılması 42
Şekil 3.1 Dubai Tamweel Tower yangını - 2012 48
Şekil 3.2 Alevlerin cephede spandrel uygulaması varken ve yokken yayılışı 49
Şekil 3.3 İklim şartlarına göre çift cam yüzlerinde low-e film kaplama yeri 55
Şekil 3.4 Film kaplamalı cam uygulanmış ortamda iç mekân aydınlatma durumu 55
Şekil 3.5 Gürültü kontrolü süreci 57
Şekil 3.6 Bir ürünün şematik yaşam döngüsü 61
Şekil 3.7 Yapı malzemelerinin yaşam döngüsü şeması 62
Şekil 3.8 Royal Ontario Müzesi. Mimaride eski-yeni ve form farklılığı kullanılarak yaratılan kontrast 66
Şekil 3.9 Nanofilm kaplamalı camın katman katman renk değiştirmesi 67
Şekil 3.10 Kaplamalı camın düzensiz dağılımı 67
Şekil 3.11 Yağmur sızdıran cam ile çerçeve birleşiminde bozulma 71
Şekil 4.1 ÇNKV ile ÇAKV yöntemlerinde karar süreci 81
Şekil 4.2 Üç seviyeli bir hiyerarşi modeli 84
Şekil 4.3 AHP yöntemi kapsamında oluşturulan karar verme adımları 97
Şekil 4.4 AHP yöntemi ile akıllı malzeme seçim adımları 98
Şekil 4.5 Dört seviyeli hiyerarşi modeli 102
Şekil 4.6 Seçim modeli için değerlendirmeye alınan örnek yapı 110
Şekil 4.7 Aylık ortalama rüzgâr hızı 111
Şekil 4.8 Bakırköy ilçesi rüzgâr grafiği 112
Şekil 4.9 Durabilite ve mekanik etkilerin Durum 1 ve Durum 2'ye göre değerlendirilmesi 129
Şekil 4.10 Yangın dayanımı ile yüzey bakımları ve temizlik ölçütlerinin Durum 1 ve Durum 2'ye göre değerlendirilmesi 130
Şekil 4.11 Isıl ölçütler ile su ve nem ölçütlerinin Durum 1 ve Durum 2'ye göre değerlendirilmesi 130
Şekil 4.12 Yoğuşma ile güneş kontrolü ölçütlerinin Durum 1 ve Durum 2'ye göre değerlendirilmesi 130

Şekil 4.13 Gürültü kontrolü ile yapım atıkları ve geri dönüşüm ölçütlerinin Durum 1 ve Durum 2'ye göre değerlendirilmesi 131

Şekil 4.14 Gürültü kontrolü ile yapım atıkları ve geri dönüşüm ölçütlerinin Durum 1 ve Durum 2'ye göre değerlendirilmesi 131

Şekil 4.15 Sağlık ölçütünün Durum 1 ve Durum 2'ye göre değerlendirilmesi 131

Şekil 4.16 Estetik ve renk ölçütü ile ekonomik ölçütlerin Durum 1 ve Durum 2'ye göre değerlendirilmesi.....132

Şekil 4.17 Estetik ve renk ölçütü ile ekonomik ölçütlerin Durum 1 ve Durum 2'ye göre değerlendirilmesi.....132

Şekil 4.18 Estetik ve renk ölçütü ile ekonomik ölçütlerin Durum 1 ve Durum 2'ye göre değerlendirilmesi.....132

Şekil 4.19 Sıralamanın belirlenmesi 136

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Enerji depolamada en sık kullanılan tuz hidratlar 43
Tablo 3.1 Yapı malzemeleri/bileşenlerinin geri kazanım işlemleri..... 60
Tablo 3.2 Hava koşullarına göre tasarım stratejileri..... 64
Tablo 4.1 AHP'de kullanılan temel ölçek ve tanımları..... 85
Tablo 4.2 Alternatiflerin ölçütlere göre karşılaştırma matrisleri..... 85
Tablo 4.3 Matristeki elemanların sütun toplamına bölünmesi..... 86
Tablo 4.4 Önem derecelerinin belirlenmesi..... 87
Tablo 4.5 Değerlendirmeye alınacak alternatif akıllı malzemeler 89
Tablo 4.6 Değerlendirmeye alınacak performans ölçütleri..... 90
Tablo 4.7 Akıllı malzemelerin performans skorları 104
Tablo 4.8 Sıcaklığın yıl içerisindeki dağılımı 111
Tablo 4.9 Elektrokromik ve piezoelektrik malzemelerin performans karşılaştırması. 113
Tablo 4.10 Elektrokromik ve piezoelektrik malzemelerin ikili karşılaştırma matrisleri 120
Tablo 4.11 Karşılaştırma matrisi 134

ÖZET

Cephelerde Kullanılan Akıllı Malzemeler İçin Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemi ile Bir Seçim Modeli Önerisi

Nazlıcan ÇİÇEK

Mimarlık Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ezgi KORKMAZ

Yapı tasarımında kullanılan malzemeler "konvansiyonel malzemeler" ve "akıllı malzemeler" olarak iki başlık altında incelenmektedir. Geçmişten günümüze kadar kullanılan ve hala kullanılmaya devam eden konvansiyonel malzemeler, bilimsel ve teknolojik gelişmeler ile birlikte yerini akıllı malzemelere bırakmaya başlamıştır. Bu malzemelerin kullanıldıkları yere ve işleve göre çeşitli fonksiyonlara sahip olması gerekmekte ve akıllı malzemelerin yapıda kullanım ömürleri boyunca, çevresel etkilere karşı fonksiyonlarına katkı sağlayacak yararlı nitelik değişimleri yapması beklenmektedir.

Akıllı malzemeler yapının birçok bölümünde kullanılabilmektedir. Fakat çevresel uyaranlara doğrudan maruz kalan bölüm yapı kabuğudur. Dolayısıyla yapı kabuğunu oluşturan çatı ve cepheler akıllı malzeme kullanımının yoğun olduğu bölümlerdendir. Bu doğrultuda, cephelerde akıllı malzeme seçimi önem arz etmektedir. Enerji tasarrufu olarak birçok avantaja sahip olan bu malzemelerin beraberinde getirdiği bazı olumsuz durumlar bulunmaktadır. Bu durum fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerden kaynaklı olmakta ve yapı hasarlarına yol açmaktadır. Bu nedenle cephelerde çevresel koşullara uyumlu, kullanıcı gereksinimlerine cevap verecek en uygun akıllı malzemenin seçimi önem taşımaktadır.

Çağdaş mimaride yapıların tasarım ve yapım sürelerinin kısalmasıyla birlikte malzeme seçiminde karar verme süreci de kısalmış ve bu da doğru malzeme seçiminde çeşitli zorlukların yaşanmasına neden olmaktadır. Bu amaçla tez kapsamında, yapı tasarımının önemli adımlarından biri olan malzeme seçim sürecini kısaltmak ve cephe tasarımında doğru akıllı malzeme seçimini sağlamak için çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden biri olan AHP yöntemi ile bir model önerisi geliştirilmiştir.

Tez kapsamında yapılan çalışmanın cephelerde akıllı malzeme kullanımı konusunda gelecekte yapılacak çalışmalara veri sağlayacağı, önerilen modelin yapının bulunduğu koşullara göre malzeme ölçütleri ile ilgili bir karar üretilmesine olanak tanıyarak, tasarımcının yapı ihtiyacına en uygun malzemeyi seçmesini sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: akıllı cephe malzemeleri, yapı kabuğu, AHP, çok ölçütlü karar verme yöntemi.

ABSTRACT

A Proposed Selection Model with Using Multi-Criteria Decision Making Method for Smart Materials in Facades

Nazlıcan ÇİÇEK

Department of Architecture

Master of Science Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Ezgi KORKMAZ

The materials used in building design are examined under two headings as “conventional materials” and “smart materials”. Conventional materials, used in the past and today, have started to leave their place to smart materials with scientific and technological developments. These materials need to have various functions according to the place and their function expected that smart materials will make beneficial quality changes that will contribute to their functions against environmental effects during their lifetime in the building.

Smart materials can be used in many parts of the building. However, the part that is directly exposed to environmental stimuli is the building envelope. The roofs and facades that make up the building envelope are among the sections where the use of smart materials is intense. Smart material selection is important. However, these materials have some negative situations. This situation is caused by physical, chemical and mechanical properties and causes structural damage. Therefore, it is important to choose the most suitable smart material that is compatible with environmental conditions and user needs.

With the shortening of the design and construction times of buildings in contemporary architecture, the decision-making process in material selection has shortened, which causes various difficulties in choosing the right material. Thus, within the scope of the

thesis, a model proposal has been developed with the AHP method, which is one of the multi-criteria decision-making methods, for shorting the material selection process, which is one of the important steps of building design, and to ensure the correct smart material selection in facade design.

It is thought that this study will provide data for future studies, and that the proposed model will enable the designer to choose the most suitable material for the building need by enabling a decision about the material criteria according to the conditions of the building.

Keywords: smart facade materials, building shell, AHP, multi-criteria decision making method

1
GİRİŞ

19. yüzyıla kadar mimaride malzeme tercihinin öncelikle işlevsel özellikler dikkate alınarak sonrasında estetik özelliklerinden dolayı yapıldığı görülmektedir. Tarih boyunca, çoğu durumda, malzemeler mimariye daha çok bağımlı olmuş, binaların yapısını ve işlevini takip etmişlerdir. Yüzyıllar boyunca inşaat teknolojileri ve yapım yöntemleri geliştirilmiş ancak tasarımda kullanılan malzemeler çoğunlukla geleneksel olmuştur. Ancak Sanayi Devrimi ile birlikte malzeme konusunda büyük değişiklikler başlamıştır. Yeni üretim yöntemleri, seri üretime geçiş, laboratuvarların gelişmesi ve malzeme mühendisliğinin yeni bir bilim alanı olarak doğuşu sayesinde, çok sayıda yeni malzeme ve bunların arasında "akıllı malzemeler" ortaya çıkmıştır. Akıllı malzemeler yapılan çalışmalarda, 21. yüzyılın teknolojik ihtiyaçlarına bir yanıt olarak doğan "çevrelerine akıllıca uyum sağlayan yüksek mühendislik ürünü malzemeler" şeklinde tanımlanmaktadır [1]. 21. YY ile birlikte yapı malzemelerinin daha çok işlevli olması ve özel performanslara sahip olması beklenmektedir. Bu nedenle tasarımcılar, "değişebilir ve geçici ihtiyaçlara yanıt veren" yüksek performanslı malzemeleri tercih etmeye başlamıştır [2].

Akıllı malzemeler, "konfigürasyonları hatırlayan ve belirli uyaranlara tepki verip onlara uyum sağlayabilen" malzemeler olarak tanımlanmaktadır. Akıllı malzemeler benzer şekilde, "herhangi bir çevresel değişikliği algılayan ve buna en uygun şekilde yanıt veren malzemeler" olarak da tanımlanmaktadır [3]. Söz konusu malzemeler, stres, sıcaklık, nem, pH, elektrik veya manyetik alanlar gibi dış uyaranlar tarafından kontrollü bir şekilde nitelik değiştirilebilen, bir veya daha fazla özelliğe sahip olacak şekilde tasarlanmaktadır [4, 5].

"Akıllı" terimi, dinamik olarak değişen çevresel koşullara, akıllı ve özgün bir şekilde yanıt verme yeteneğini içerir. Her akıllı malzemenin böyle yetenekleri yoktur, bu nedenle bir sensör ve kontrol sisteminden oluşan yapısal oluşumlar için genellikle "akıllı" terimi kullanılmaktadır.

Akıllı malzemeler tasarımcılar ve uygulayıcılar için oldukça önemli ve kullanışlıdır. Bu malzemeler geleneksel malzemelerin yapmadığı şekilde, aktif ve geri dönüşümlü olarak tepki vererek yeni özellikler ve olanaklar sunar. Yüksek teknolojili "süper alaşımlar",

benzersiz ultra dayanıklı tekstiller, biyopolimerler veya gelişmiş cam teknolojileri, renk veya faz değiştiren malzemeler ve daha birçok ürün, akıllı malzeme olarak sayılabilir [5].

1.1 Literatür Özeti

Mimaride tasarım anlayışının yanı sıra yapı tasarımında kullanılan malzemelerin nitelikleri düşünülmesi gereken en önemli unsurlardandır. Bu doğrultuda seçilen malzemenin cinsi, özellikleri ve kullanım alanları önemli rol oynamaktadır. Mimari tasarımda kullanılan malzemeler "konvansiyonel malzemeler" ve "akıllı malzemeler" olarak iki başlık altında incelenmektedir [2]. Geçmişten günümüze kadar kullanılan ve hala kullanılmaya devam eden konvansiyonel malzemelerin dış uyaranlara karşı nitelik açısından herhangi bir değişim göstermemesi bu malzemelerin kullanımını sınırlamıştır. Bu nedenle dış uyaranlara cevap veren ve bu uyaranlara karşı gerekli nitelik değişimleri yapabilen yeni malzeme arayışları doğmuştur [6]. Bilimsel ve teknolojik gelişmeler ile birlikte konvansiyonel malzemeler yerini akıllı malzemelere bırakmaya başlamıştır. Birçok endüstriyel alanda kullanılan bu malzemelerin kullanıldıkları yere ve işlevlerine göre çeşitli fonksiyonlara sahip olması gerekir. Bu doğrultuda akıllı malzemelerin mimaride kullanımları sırasında, çevresel uyarılara karşı fonksiyonlarına yardımcı olacak yararlı özellik değişimleri yapması beklenmektedir. Böylelikle akıllı malzemeler ile birlikte "çevresel koşullarla mücadele eden" yapı anlayışı yerine, "çevresel uyarılara tepki vererek ortam koşullarına uyum sağlayan" yapı anlayışı ortaya çıkmıştır [7].

Akıllı malzemeler yapının birçok bölümünde kullanılabilmektedir. Fakat çevresel uyaranlara doğrudan maruz kalan bölüm yapı kabuğudur. Dolayısıyla yapı kabuğunu oluşturan çatı ve cepheler akıllı malzeme kullanımının yoğun olduğu bölümlerdendir. Bu doğrultuda yapılarda akıllı malzeme kullanımın nitelikli yapılması ve doğru malzeme seçimi önem arz etmektedir.

1990'lardan beri, yeni yapı kabuğu malzemeleri ve cephe bileşenleri giderek artmıştır. Dış ve iç mekân arasında bir aracı olarak, yapının enerji performansı üzerinde doğrudan etkisi olan bu dış cephelerin birçok işlevi bulunmaktadır [8]. Söz konusu yenilikçi yapı cepheleri, enerji verimliliğinin yanı sıra yapı kullanıcılarının konforunu, sağlığını ve çevresel etkileri iyileştirmeyi amaçlamaktadır [9]. Uyarlanabilir cepheler olarak da adlandırılan bu cepheler, kendilerini dış ortam koşullarına adapte edip, onlara uyum sağlama yeteneğine sahiptir. Bu yenilikçi yapı cepheleri, dış iklim koşullarına ve yapı kullanıcılarının gereksinimlerine bağlı olarak kendilerini uyarlayabilmekte ve enerji

performansının adım adım ilerlemesini sağlamaktadır. “Dinamik” veya “uyarlanabilir” kelimeleri, bir cephenin performansını ve yapı kullanıcılarının gereksinimlerini iyileştirmek için çevresel koşullardan yararlanma veya çevresel koşullara yanıt verme kapasitesine atıfta bulunularak kullanılmaktadır. [10].

Garmo, Paul ve Canada (1973)’ ya göre [11], birden fazla değişkenle karşı karşıya gelinen karar verme sürecinin, mevcut değişkenlerden en olumlusunu seçme işi olarak tanımlandığı, karar vermenin sorunlara uygun çözümü aramak olduğu ve seçim yapmayı da içerdiği görülmüş, yapı üretim alanında teknolojik gelişmelere paralel olarak çeşitlenen yapı malzemelerinin kullanımına performans belirsizliklerine rağmen karar verilmesi, karar vericilerin bu malzemeleri bilinçsizce yapılarda kullanması, yanlış veya hatalı malzeme seçimi nedeniyle yapıda hasar ve aksaklıkların artmasına neden olma gibi sorunları beraberinde getirmiştir.

Balanlı (1997) [12], yapı ürününde görülen gelişmeler ve beraberinde getirdiği endüstrileşme ile birlikte kullanıcı gereksinmelerinin de giderek değişmesinin malzeme seçim eylemini daha da karmaşık bir hale getirdiğini ve bu durumun akıllı malzemeler kapsamında da sorun olabileceğini belirtmiştir.

Tekin (2003) [13], çalışmasında, mimarlık sürecinin değişik evrelerinde yanlış planlama, programlama, tasarım ve yapım sonucu yapıda oluşan fiziksel, kimyasal, mekanik, ısı, su, nem, akustik, elektrik vb. kaynaklı hasarların kaçınılmaz olduğunu ve akıllı malzemelerin de bu gibi sorunlara maruz kalabildiğini belirtmiştir.

Addington ve Schodek (2005) [2], “Mimarlık ve Tasarım Meslekleri için Akıllı Malzemeler ve Teknolojiler” kitabında, malzemelerin akıllı malzeme olarak tanımlanabilmesi için gerekli özellikleri (özellik değiştirmesi, enerjiyi dönüştürebilmesi, tersinir olması vb.) belirtmiştir.

Ritter (2007) [14], “Mimarlık, İç Mimarlık ve Tasarımda Akıllı Malzemeler" kitabında mimari ve tasarımda kullanılan akıllı malzeme örnekleri ve bu malzemelerin çeşitli sınıflandırma yöntemlerini açıklamıştır.

Orhon (2012) [7], akıllı malzemelerin günümüzde yirmiden fazla grup altında sınıflandırılabileceği ve birkaç malzeme grubu hariç hala araştırma aşamasında olduğu söyleminden yola çıkarak kapsam dışı bırakılacak malzemeler belirlemiş ve çalışılacak malzemeleri sınıflandırmıştır.

Attia ve arkadaşları (2020) [10], cephe uzmanlarının görüşlerine ve içerik analizine bağlı olarak uyarlanabilir cephenin teknik bir sınıflandırmasını önermiştir. Bu nedenle önerilen çerçeveyi tamamlamak için diğer çerçeveler hakkında bir literatür taraması yapılmıştır. Attia ve arkadaşlarına göre [10], değiştirilebilir cam, hareketli güneş kırıcı, dinamik yalıtım ve çok işlevli cepheler, binalar için en umut verici uyarlanabilir cepheler olarak görülmektedir [15]. Al-Masrani ve arkadaşları (2018) [16], çoğunlukla mevcut gölgeleme cihazlarını gözden geçirmiş ve Casini (2018) [9], değiştirilebilir cam olarak adlandırılan bir teknik geliştirmiştir. Casini, çalışmasında piyasada bulunan veya deneysel aşamada olan dinamik cam teknolojilerine odaklanmış ve bunları işleyiş, performans ve bina uygulama potansiyelleri açısından karşılaştırmıştır.

Akıllı malzemelerle oluşturulan cepheler yapıya enerji korunumu/ kazanımı, doğal aydınlatma, doğal havalandırma, güneş kontrolü, ışık kontrolü, gürültü kontrolü, yangın kontrolü gibi işlevler kazandırmaktadır [7]. Ancak malzemelerin bazı fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri ya da uygulama sırasındaki zorluklar çeşitli sorunlara yol açabilmektedir. Böylelikle cephelerde akıllı malzeme kullanımı birçok avantaj sağlamakla birlikte çevresel olumsuzluklara karşı dayanım konusunda ve uygulama sırasında ortaya çıkabilecek bazı sorunları da beraberinde getirebilmektedir. İncelenen bilimsel çalışmalarda; akıllı malzemelerin çeşitli yaklaşımlarla sınıflandırılıp tanımlarının yapıldığı, cephelerde kullanılan akıllı malzemelerin özellikleri ve kullanım alanlarının belirlendiği, söz konusu malzemelerin geleneksel malzemelere göre birçok avantaja sahip olduğu görülmüştür. Fakat beraberinde getirdiği sorunlar nedeniyle kullanılacak olan malzemenin avantaj ve dezavantajları göz önünde bulundurularak seçim yapılması gerekmektedir. Tasarımcıların ve uygulayıcıların bu konu hakkındaki bilgi eksiklikleri, malzemeden ve bu malzemeler kullanılarak oluşturulan cephelerden beklenen; mukavemet, mekanik etki, yangın dayanımı, estetik, maliyet, geri dönüşüm, temizlik, ısısal dayanım, ışınım, akustik etki, yoğuşma, su ve nem ölçütü gibi performans ölçütlerinde birtakım sorunlara yol açabilir. Bu kapsamda konu ile ilgili önemli bilgilerin ve yaklaşımların bulunmasına karşın;

- Söz konusu sorunların çözümlenmesine yönelik bir seçim modeli oluşturulması ve
- Oluşturulan seçim modeli doğrultusunda karar verme sürecinin başlatılmasına

ilişkin bir değerlendirme yöntemi içeren yeterli ve kapsamlı bir araştırmaya rastlanmamıştır. Tez kapsamında, mimarlıkta kullanılan akıllı malzemeler bağlamında cephelerde kullanılan akıllı malzemeler detaylı olarak ele alınmıştır. Bu malzemeler, çeşitli ölçütlere göre karşılaştırılmış ve incelenmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Yapılarda çevresel uyaranlara doğrudan maruz kalan ve akıllı malzemelerle çeşitli işlevler kazandırılabilen yapı cephelerinin ele alındığı bu çalışmanın temel amacı,

- Mimari alanda kullanılan akıllı malzemelerin yüzeylere kazandırdığı özellikleri yapı kabuğu kapsamında değerlendirmek,
- Teknolojik gelişmelerle birlikte cephelerde kullanılan akıllı malzemeleri çeşitli uyaranlara verdiği tepkiler doğrultusunda sınıflandırmak,
- Sınıflandırılan malzemeleri tanıtmak ve bu malzemelerin cepheyi oluşturan ürünlerle birlikte kullanımını açıklamak,
- Yapılarda malzeme kaynaklı oluşabilecek hasarlar ve bu hasarların yapıya verdiği zararları sınıflandırmak,
- Söz konusu hasarlar çerçevesinde akıllı malzemelerin yapı cephelerine kazandırdığı olumlu özelliklerin yanı sıra fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinden kaynaklı olan veya uygulama sırasında oluşan birtakım sorunları örnekler üzerinden ele alarak incelemek,
- Çağdaş mimaride yapıların tasarım ve yapım sürelerinin kısalması ve yanlış malzeme seçimlerinin yapılması ile birlikte malzeme seçiminde karar verme sürecinin yanlış değerlendirilebileceği konusuna dikkat çekerek bir seçim modelinin gerekliliğini vurgulamak,
- Cephelerde akıllı malzeme kullanımı konusundaki çalışmalara veri sağlayacak, yapı durumuna göre malzeme seçim kriterleri ile ilgili bir karar üretilmesine olanak tanıyan, nitelikli ve kolay anlaşılabilir bir değerlendirme yaklaşımı ortaya koymak,
- Değerlendirme yaklaşımına bağlı olarak çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden biri olan AHP yöntemi ile bir seçim modeli oluşturarak doğru karara ulaşmak,
- Böylece, oluşabilecek sorunların bilincine varıp önlem alınmasına veya onarılmasına katkı sağlamaktır.

1.3 Hipotez

Yapılarda çevresel uyaranlara doğrudan maruz kalan ve akıllı malzemelerle çeşitli işlevler kazandırılabilen yapı cepheleri ele alındığında, mimari alanda kullanılan akıllı malzemelerin yüzeylere kazandırdığı özellikler yapıya birçok avantaj sağlayabilir. Ancak söz konusu avantajlara sahip olan bu malzemelerin beraberinde getirdiği, fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerden kaynaklı olan veya uygulama sırasında oluşan birtakım sorunlar, yapı hasarlarına yol açabilir. Mevcut değerlendirmelerden yola çıkılarak, akıllı malzemelerin kullanımında dikkat edilecek ölçütler ve bu ölçütlerin malzeme üzerindeki etkileri dikkate alındığında, daha nitelikli yapı cepheleri üretilecektir. Ölçütler üzerinden oluşturulacak bir malzeme seçim modeli ile tasarımın en önemli adımlarından birini oluşturan cephe malzemesi karar sürecinde yapının bulunduğu çevresel koşullara en uygun malzemeye sistematik bir yaklaşımla karar verilebileceği varsayılmaktadır.

1.4 Tezin Kapsamı

Akıllı malzemelerin henüz kullanımının yaygınlaşmamış olması ve mevcut çalışmalarda ileriki süreçte yaygınlaşacağının öngörülmesi, konu üzerindeki çalışmaların önemini desteklemektedir. Bu doğrultuda çalışmada, günümüzde çok sayıda sınıflandırma çeşidi olan ve mimari dahil birçok alanda kullanılan akıllı malzemelerin nitelikleri belirlenmiş ve yapı cephelerindeki kullanımı detaylandırılmıştır. Söz konusu malzemelerin yapıya kazandırdığı avantajlara değinilmiş ve bu avantajlarla birlikte malzemenin beraberinde getirdiği sorunlar tespit edilerek incelenmiştir. Edinilen verilerden yola çıkarak, cephe tasarımında akıllı malzeme seçimine katkı sağlayacak bir yaklaşım geliştirilip uygun çözümler üretilerek önlem alınması hedeflenmektedir. Çalışmada, yapı cephelerinde kullanılan akıllı malzemeler seçim kriterleri kapsamında incelenmiş, yapının dış uyaranlara doğrudan maruz kalmayan (iç mekân) bölümleri ve mimari sektör dışındaki kullanım alanları kapsam dışı bırakılmıştır.

1.5 Yöntem

Çalışma kapsamında literatür taraması yapılarak akıllı malzemelerin sınıflandırılmasına ilişkin ayrıntılı bir altlık oluşturulmuştur. Edinilen bilgiler çerçevesinde söz konusu malzemelerin teknik özellikleri konu bütünlüğü bozulmadan, çeşitli bilimsel kaynaklar, internet sayfaları ve görsel malzemelerden faydalanılarak detaylandırılmıştır. Cephelerde kullanılan akıllı malzemelerin performans ölçütleri belirlenerek, literatür taramaları kapsamında bir seçim yaklaşımı ortaya konulmuştur. Çalışmadaki ana başlıkların geliştirilmesi ve güncel yaklaşımın ortaya konulması amacıyla, yapılan literatür taramalarının yanı sıra konu ile alakalı dış cephe firmaları ile sözlü görüşmeler yapılıp bilgi toplanarak çalışma desteklenmiştir.

2

CEPHELERDE KULLANILAN AKILLI MALZEMELERİN SINIFLANDIRILMASI

Cephelerin temel görevi; yapı ile dış ortam arasında bölücü bir bariyer oluşturarak, iç ortam koşullarının kullanıcılar için optimum düzeyde kalmasını sağlamaktır. Akıllı cephelerin görevi ise bu özelliklerin akıllı malzeme kullanımı ile birlikte geliştirilerek, kullanılan ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma sistemlerinden tam verim alınmasına destek olmaktır. Akıllı cepheler, akıllı sistemler veya akıllı malzemeler ile inşa edilmiş cephelerdir [7].

Akıllı malzemeler yapının birçok bölümünde kullanılabilmektedir. Fakat çevresel uyaranlara doğrudan maruz kalan bölüm yapı kabuğudur. Dolayısıyla yapı kabuğunu oluşturan çatı ve cepheler akıllı malzeme kullanımının yoğun olduğu bölümlerdendir. Bu doğrultuda yapılarda akıllı malzeme kullanımının dikkatle yapılması ve doğru malzeme seçimi önem taşımaktadır [2].

Addington ve Schodek (2005)'e göre [2], yapı malzemelerinin akıllı malzeme olarak tanımlanabilmesi için gerekli unsurlar; özellik değiştirebilmesi, enerjiyi dönüştürebilmesi ve tersinir olma özellikleridir. Bu kapsamda, mimari ve tasarımda kullanılan akıllı malzemeler Ritter tarafından incelenip çeşitli alt başlıklarda sınıflandırılmıştır [14]. Söz konusu çalışmalar sonrasında Orhon, akıllı malzemelerin günümüzde yirmiden fazla grup altında sınıflandırılabileceği ve birkaç malzeme grubu hariç hala araştırma aşamasında olduğunu belirtmiştir [7].

Akıllı malzemelerin henüz kullanımının yaygınlaşmamış olması ve mevcut çalışmalarda ileriki süreçte yaygınlaşacağının öngörülmesi, konu üzerindeki çalışmaların önemini desteklemektedir. Bu veriler çerçevesinde, günümüzde çok sayıda sınıflandırma çeşidi olan ve mimari dahil birçok alanda kullanılan akıllı malzemelerin nitelikleri belirlenmiş ve yapı cephelerindeki kullanımı detaylandırılarak;

- Özellikli Camlar
- Elektrik Üreten Malzemeler
- Adezyon Değiştiren Malzemeler
- Şekil Değiştiren Malzemeler

- Işık Yayan Malzemeler
- Termal Düzenleyiciler

ana başlıkları altında incelenmiştir [7],[14],[17].

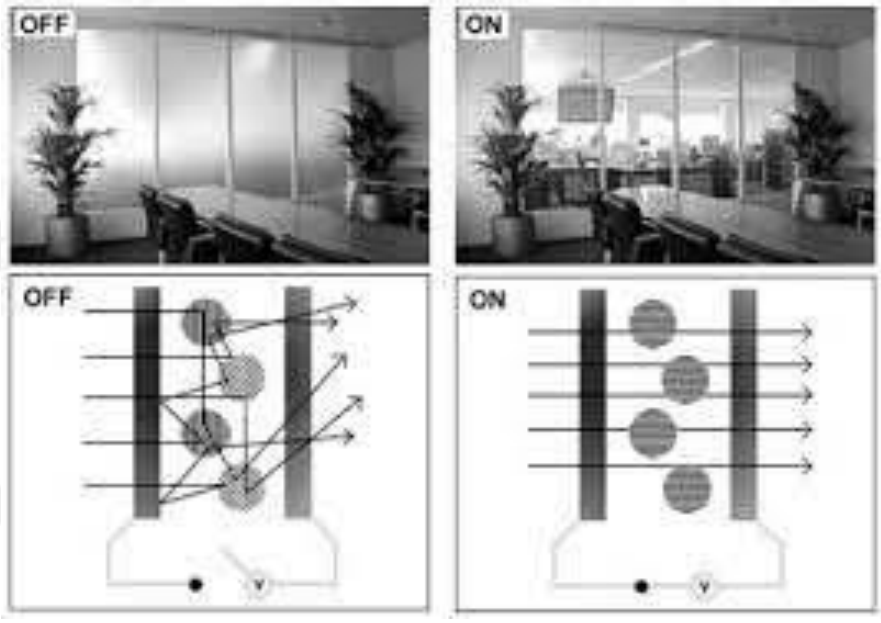
2.1 Özellikli Camlar

Akıllı malzemeler, bünyelerine çeşitli fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler kazandırılarak oluşturulmuş malzemelerdir. Bunlar, birçok geleneksel malzeme üzerine de uygulanabilen nanoteknolojik katkılardır. Bu katkıların yaygın olarak kullanıldığı en önemli örneklerden biri camlardır. Camlar, saydamlığıyla güneş ışınlarının içeri girmesine izin veren ve iç mekân ile dış mekân arasındaki görsel bağlantıyı kuran cephe elemanlarıdır. Fakat ışık geçirgenliğinin yanı sıra ısı geçirgenliğine de sahip olması çoğu zaman istenmeyen bir durumdur. Camların ışık geçirme, ısı ve ışınım nitelikleri ile ilgili incelemelerin yapılması için birtakım parametreler bulunmaktadır. Yansımalar, iletim değeri, emilmeler, camın ışınımları geçirme değerinin tespit edilmesi için kullanılmaktadır. Bu değerler göz önünde bulundurulup cephe kaplamalarında kullanılan camlara çeşitli katkılar ve kaplama malzemeleri ile soğurma ve yansıtma özellikleri kazandırılarak etkili bir güneş kontrolü sağlanabilmektedir. Bu uygulamalarla aynı zamanda ışınım yoluyla ısı kayıplarının da önüne geçilmiş olur. Bu kapsamda, camlara bazı özel boya ve kaplamalar uygulanarak geçirimlilik özellikleri değiştirilebilir [17]. Özellikli camlar; yüzey kaplamalı (tayfsal seçici) camlar, açısal seçici camlar ve değişkenliği değişebilir (fotokromik, termokromik, elektrokromik) camlar olmak üzere üç ana başlıkta incelenebilir.

2.1.1 Yüzey Kaplamalı (Tayfsal Seçici) Camlar

Yapılarda etkili güneş kontrolü, dış cephelerde kullanılan camlara çeşitli kaplamalar yapılarak soğurma ve yansıtma özelliği kazandırılması sonucu sağlanmaktadır [18]. Bu özelliklerin artırılması camın geçirgenliğini azaltır ve ışınların geçişini zorlaştırır. Işınlardaki foton parçacıklarının camdan geçerken nasıl davrandıkları ve dalga boyuna bağlı olarak enerjilerindeki değişiklik durumu cam cephelerde güneş kontrolü sağlanmasında etkilidir. Fakat güneş kontrolü amacıyla kullanılan camlarda genellikle güneş ışınımı geçirgenliğinin düşük olması, spektrumun görülebilen bölümü için de

düşük geçirgenlik değerlerine neden olmaktadır [19]. Bu durumu en aza indirmek ve camın gün ışığı geçirgenliğini olabildiğince yüksek tutabilmek amacıyla yalnızca spektrumun görülemeyen bölümü için etkili olan bazı özel boya ve kaplamalar kullanılmaktadır [17]. Şekil 2.1'de bir ofis penceresinde kullanılan tayfsal seçici camların opaklık ve şeffaflık durumlarının gün içerisindeki değişimini ifade eden bir örnek yer almaktadır [19]. Tayfsal seçici camlar, görülebilen ışınımı olabildiğince geçiren fakat kızıl ötesi ve mor ötesi ışınımı büyük oranlarda yutan veya yansıtan camlardır. Low-E kaplamalı ve sır kaplamalı olarak iki başlıkta incelenebilir [19].



a **b**

Şekil 2.1 Tayfsal seçici cam kullanılmış bir ofis penceresi [19]
a: saat 12:00 **b**: saat: 17:00

Low-E kaplamalar, cam yüzeylerin emisyonunu e ~ 0.87'den e ~ 0.04'e kadar düşürebilir [20]. Böylece ışık geçirimliliği %77'lerin altına düşmeden kızılötesi ışınımlar %20'ye kadar azaltılabilir. Bu teknoloji sayesinde cam giydirme cepheli yapılarda mümkün olan maksimum oranda saydamlık ve doğal aydınlatma sağlanırken, ısıl kayıplar da en az düzeye indirilebilmektedir. Güneşi kontrol edebilen ve düşük emisyonlu camlar, genel olarak ısı yalıtımlı veya lamine cam ünitelerinde kullanılırlar [21].

Yarı şeffaflığı niteleyen sır kaplamalı camlar, istenilen şekillerin belli bir ısıda basılarak uygulanmasıyla elde edilir [22]. Cam yüzeyler bir sır tabakası ile kaplanıp günışığının

dağılarak içeri girmesini sağlar. Bu sayede, günışığına maruz kalan cephelerde dışarıdan ve içeriden kullanılan desenlerle doğrudan görünüm engellenerek günışığının zararlı etkilerinden korunma sağlanır. Desenler ya bir silindir işlemiyle ya da perde baskı yöntemiyle uygulanabilir [23]. Oluşan sır dokulu cam, iç ve dış mekân arasında hem sınırlayıcı hem de geçiş görevi gören bir eleman olarak kullanılabilir.

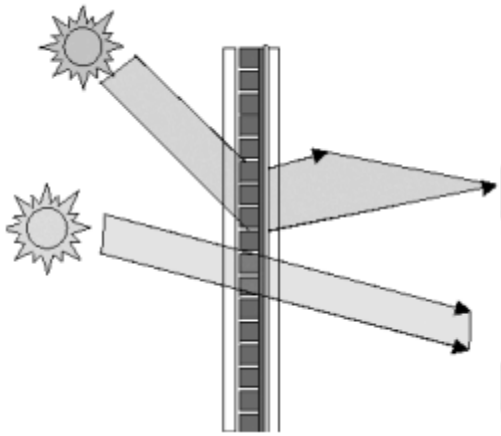
2.1.2 Açısal Seçici Camlar

Günün ve yılın en sıcak zamanlarında Güneş'in geliş açısı dik ve dik açıya yakın değerlerdedir. Açısal seçici camların özelliği, bu ışınların geçişini engelleyerek yataya yakın gelen ışınları geçirmeleridir [17]. Dışta uygulanan gölgelemeyle en basit ve etkili bir biçimde ısı geçişi engellenebilirken hacimlere giren günışığı da azalmaktadır. Bu sakıncanın ortadan kaldırılabilmesini sağlayan açısal seçici camlar alüminyum veya gümüş gibi kaplamalarla elde edilmektedir. Lazer kesimli paneller 2mm kalınlığında üretilebildikleri için bu amaçla kullanılmaya uygunlardır [17]. Açısal seçici camlar daha çok tepe açıklıklarında kullanılırlar (Şekil 2.2) [19].



Şekil 2.2 Tepe açıklığında açısal seçici cam uygulaması [19]

Lazer kesimli paneller 2 mm kalınlığında üretilebildikleri için tepe açıklıklarında kullanılmaya uygundurlar. Saydam akrilik bir panel üzerine lazer ile kesikler atılarak elde edilen sistemin amacı gün ışığının hacme alınması, istenmeyen direkt güneş ışığının ise dışarıda bırakılmasıdır [19]. Paneller genellikle iki cam arasına uygulanır. Özellikle ekvatoral bölgede direkt güneş ışığından kaynaklanan aşırı ısınma ve kamaşma sorununa bir çözüm bulmak üzere geliştirilmiş olup daha yukarı enlemlerde yer alan bölgelerde düşük açılarda gelen güneş ışığını yapının derinliklerine almak hedeflenmiştir [19]. Şekil 2.3'te lazer kesimli panelin çalışma prensibi gösterilmektedir.



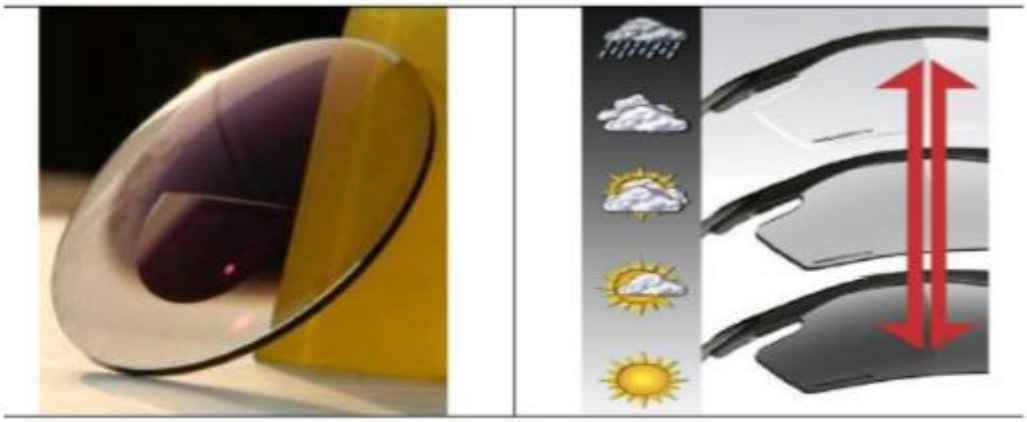
Şekil 2.3 Lazer kesim panelin çalışma prensibi [19]

2.1.3 Akıllı Camlar (Geçirgenliği Değişebilir)

Yüksek performanslı cephe sistemlerinde çevresel koşullara karşı dinamik kontrol olanağı sağlayan cam sistemleri genel olarak "akıllı camlar" olarak tanımlanır [24]. Akıllı camlar, üzerlerindeki ısı, ışık yoğunluğu, basınç, elektrik veya manyetik alan gibi uyaranlara bağlı olarak renk ve şekil özelliklerini değiştirebilen camlardır [7]. Akıllı camları içeren teknolojiler ile yapı performansının günışığı kontrolüyle, gün içi değişimlere veya mevsim değişikliklerine uyum sağlayabilmesi hedeflenir [25]. Akıllı camlar; fotokromik camlar, termokromik camlar ve elektrokromik camlar olmak üzere 3 başlık altında incelenebilir.

Fotokromik (Işığa Duyarlı) Camlar

Fotokromik camlar, belirli bir dalga boyunun etkisi altında renk değiştiren ve yansıma kaynağından uzaklaşınca yeniden özgün rengini alan camlardır. Bu tip camlar gün ışığına duyarlıdır ve geçirgenlikleri gün ışığındaki değişikliklere göre değişir [24]. Bu camların içinde asılı bulunan nano boyutta gümüş halojenür molekülleri, UV-A ışığına maruz kaldığında fotokimyasal reaksiyon oluşturur ve kararmaya başlar [26]. Böylelikle kapalı alanlarda düz bir cam kadar saydam haldeyken, açık bir alanda veya günışığının doğrudan etkisiyle opaklığını azaltıp zararlı UV ışınlarına karşı koruma sağlanmış olur (Şekil 2.4) [27]. Fakat reaksiyonun sadece güneş ışığı etkisi ile oluşması kontrol güçlüğüne neden olur. Bu sebepten binalarda kullanılan doğal ışığın faydaları ve kullanıcı kontrolü göz önüne alındığında fotokromik camlar yerine çoğunlukla termo kromatik veya elektro kromatik çözümler tercih edilir [28].



Şekil 2.4 Foto–kromik cam kaplama değişimi [27]

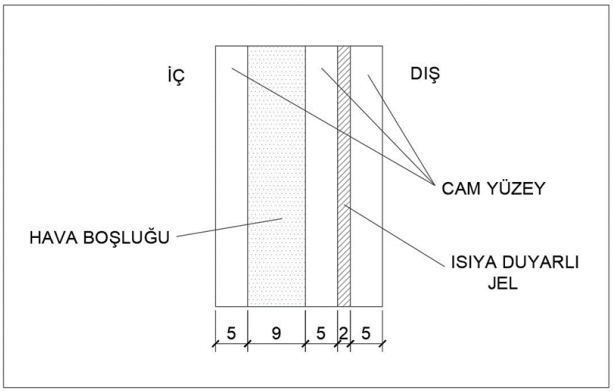
Termokromik (Isıya Duyarlı) Camlar

Termokromizm, bir maddede farklı ısıların sebep olduğu tersinir renk değişimi olarak nitelendirilir [29]. Termokromik (TC) camlar ise yüzey sıcaklığının belirli bir seviyeye ulaşmasıyla renk değişimine uğrayan ve saydamlığı değişebilen camlardır (Şekil 2.5). Bu durumu sağlayan en önemli bileşen Şekil 2.6'da kesiti gösterilen iki cam arasına sıkıştırılmış, farklı kırıcılık indekslerine sahip termokromik jellerdir [30]. Soğuk ortamda saydam halde bulunan bu jeller, günışığının etkisiyle ısındığında yansıtıcı özellik kazanır

ve ışınları sönümler. Böylelikle ışıma ile ısınma en aza iner ve içsel konfor koşulları korunarak soğutma maliyeti düşürülmüş olur [31].

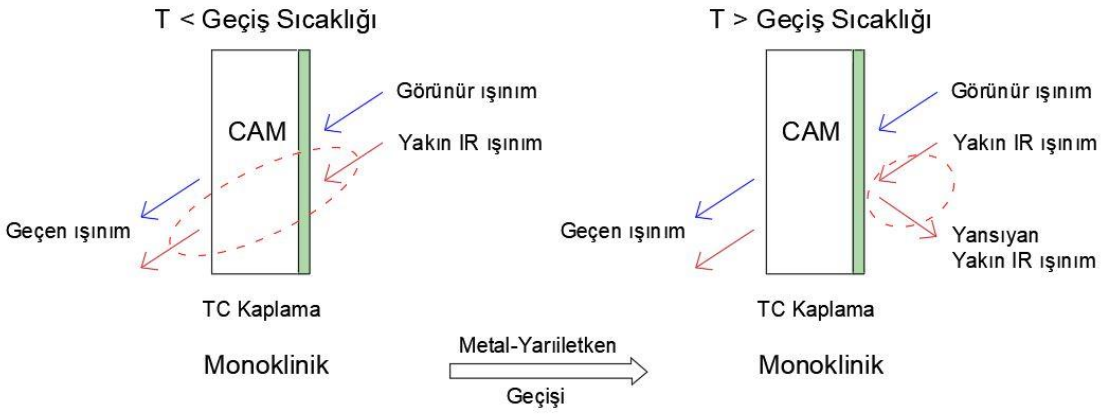


Şekil 2.5 Termo–kromik kaplı camın farklı sıcaklıklardaki renk geçişi [32]



Şekil 2.6 Isıya duyarlı camın kesiti [33]

Farklı sıcaklıklarda elektronik özelliklerdeki değişim ısı ile renk değiştiren termo–kromik etki kaynaklıdır. En çok bilinen termokromik kaplama malzemesi vanadyum oksit (VO2) esaslı olandır [34]. Oksit esaslı olan bu malzemeler, sıcaklıkla birlikte belirgin renk ve elektronik özellik değişimi gösterirler (Şekil 2.7) [35].

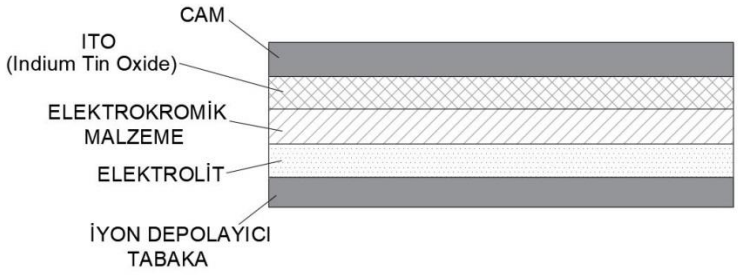


Şekil 2.7 Akıllı cam kaplaması olarak uygulanmış termo–kromik malzemenin şematik gösterimi [35]

Günümüzde araştırma ve geliştirmelere devam edilen termokromik camların birçok avantajı olmasına rağmen ticari kullanımı henüz pek yaygın değildir. Gölgede kalan cam yüzeylerin sıcaklık farkından dolayı homojen olmayan renk dağılımı oluşturması ve bu durumun görsel ilişkiyi olumsuz etkilemesi dezavantaj olarak görülmektedir [33].

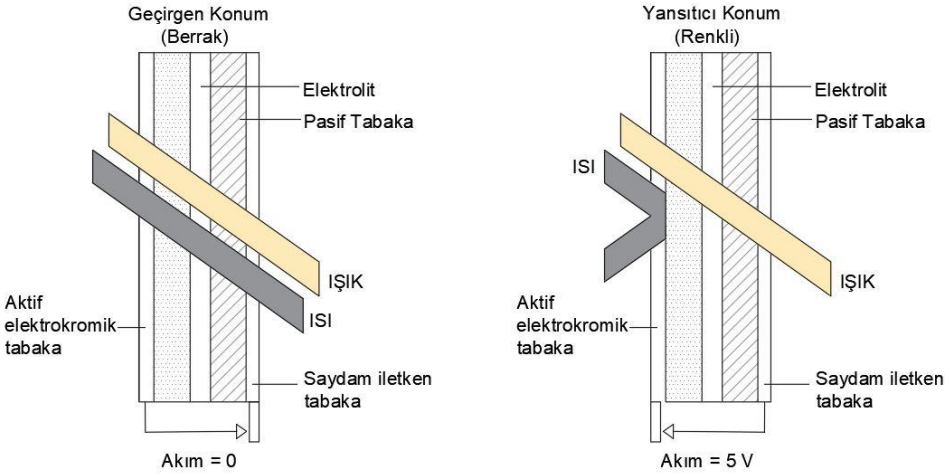
Elektrokromik Camlar

Elektrokromizm, sisteme iyon eklenmesi, çıkarılması veya elektrik alan gibi bir dış etki uygulandığında malzemenin optik özelliklerinde ortaya çıkan tersinir değişim olarak tanımlanır [36]. Elektrokromik camlar ise üzerine işlenmiş ince film kaplamalara belirli bir voltajla elektrik verildiğinde renk değişimine uğrayan camlardır. Yapı olarak, iki cam arasına yerleştirilmiş çeşitli katmanlardan oluşan bir pil düzeneğine sahiptir (Şekil 2.8). Katmanlı yapı içerisindeki iyonlar, renk değişiminin gerçekleşmesine katkıda bulunan en önemli etkendir [36].



Şekil 2.8 Elektrokromik cihazın yapısı

Cam üzerine aplike edilen elektrokromik (EC) kaplamalar, uygulanan elektrik akımı ile malzeme ve ışık etkileşiminin (yansıma, geçirim, absorblanma vb.) kontrol edilebilirliğine olanak tanır [36]. 1-5 Volt arasında elektrik akımı uygulanan cam yüzeyler içeride bir elektrik alan oluşturur ve bu alan renklendirici iyonların elektrokromik tabakaya geçişini sağlar. Böylelikle cam berrak konumdan renkli konuma geçer ve ışık geçirgenliğini azaltarak fazla ısınmayı engeller (Şekil 2.9). Fakat kenar bölgelerde uygulanan voltajdaki ayarlamalar gerekli düzeyde yapılmazsa kenardaki yüzeyler orta kısımlara göre daha hızlı koyulaşabilir [37].



Şekil 2.9 Elektrokromik pencere teknolojisi [38]

Elektrokromik camların ışık geçirgenlik aralığının geniş olması ve bu aralığın otomatik kontroller ile ayarlanabilmesi, soğutma maliyetlerini azaltarak enerji tasarrufuna katkı

sağlar [24]. Bu durum elektrokromik camların dış ortam şartları ve hava koşullarının çabucak değiştiği bölgeler için kullanımını uygun kılar. Yüksek geçirgenliğin hakim olduğu durumlarda, kapalı hava koşullarında, günışığından en verimli şekilde faydalanmak için tercih edilip daha konforlu aydınlatma seçeneği sunar. [30] (Şekil 2.10; a:Kapalı havada iç mekan görünümü, b: Güneşli havada iç mekan görünümü).

a



b



Şekil 2.10 EC camların iç mekân görünüşleri a:Kapalı havada iç mekan görünümü, b: Güneşli havada iç mekan görünümü [39]

2.2 Elektrik Üreten Malzemeler

Elektrik üreten akıllı malzemeler, dış etkilerin oluşturduğu bir veya daha fazla uyarana elektrik akımı üreterek cevap veren akıllı malzemelerdir [14]. Uyarıcı maddenin ışık olması halinde fotoelektrik, ısı olması halinde termoelektrik, mekanik etki olması halinde ise piezoelektrik malzemeler şeklinde tanımlanmaktadır [14]. Cephelerde yaygın olarak

kullanılan elektrik üreten malzemeler; piezoelektrikler ve fotovoltaiklerdir. Basınç yoluyla elektrik üreten sistemler, piezoelektrik malzemeler için en uygun örnektir. Fotovoltaik sistemler ise, güneşten gelen ışınları alıp kendi hücrelerinde elektrik enerjisine çevirmeyi sağlayan sistemlerdir [40].

2.2.1 Piezoelektrikler

Piezoelektrik olgusu, bazı seramik ve kristal malzemeler üzerine mekanik basınç uygulanmasıyla elektrik gerilimlerinin oluşması olarak nitelendirilir [41]. Piezoelektrik malzemeler ise elektriksel sinyalleri uyaran veya hareketi elektriksel sinyallere dönüştürebilen malzemelerdir [42]. Uygulanan basınçla oluşan şekil değiştirme sonucu elektrik üretilebilirken, ters mekanizma olarak elektrikten basınç gerilmesi ve şekil değiştirme de oluşabilir. Bu durum piezoelektrik etki olarak adlandırılır [2].

Madde, pozitif ve negatif yüklü parçacıkların dengede olması durumunda yüksüzdür. Fakat maddenin üzerine mekanik bir güç uygulandığında artı ve eksi yükler maddenin iki ucuna hareket edip birbirinden uzaklaşır. Bu durum maddenin iki ucunda zıt yüklerin oluşmasını sağlar ve elektrik alan oluşturarak karşılıklı yüzeyler arasında ölçülebilen bir potansiyel fark meydana getirir. Piezoelektrik, belirli kristallerin doğrudan piezo etkisi denilen mekanik basınç veya gerilime maruz kalması durumunda elektrik yükü oluşturması prensibine dayalı olarak çalışır. Bu kristaller elektrik alanına maruz kaldığında ise ters piezo etkisi denilen bir davranış göstererek kontrollü bir deformasyona uğrar. Böylece mekanik enerji elektrik enerjisine dönüşerek maddede boyutsal bir değişikliğe sebep olur [14].

Piezoelektrik nitelik, ilk olarak yıllar öncesinde turmalin kristali olarak bilinen ve çeşitli renkleri olan şeffaf taşlarda tespit edilmiş ve sonrasında birçok bilim insanı bu konu üzerinde çalışma yapmaya başlamıştır [43]. Genel olarak ticari amaçla oluşturmak istenen piezoelektrik malzemelerin üretimi, kutuplama olarak tanımlanan bir yöntemle, yüksek şiddette elektrik alana maruz bırakılan malzemeye yüksek sıcaklık uygulaması ile mümkündür [44]. Mimari cephe sektöründe kullanılmak üzere geliştirilmeye devam edilen ve tasarım alanının ilgisini çeken en yaygın piezoelektrik malzeme türleri, piezoseramik ve piezopolimerlerdir [14].

Seramik, yüksek sıcaklık uygulayarak pişirilmiş ve kendi haline soğumaya bırakılarak hazırlanmış inorganik bir malzemedir. Teknolojinin gelişimiyle birlikte seramik malzemelere nano boyutta katkılar eklenerek manyetik, optik ve elektronik özellikleri geliştirilmiş ve geleneksel seramik malzemeler piezoelektrik seramiklere dönüştürülmüştür. Böylece mekanik enerjinin elektrik enerjisine ve tam tersi etkiyle elektrik enerjisinin de mekanik enerjiye dönüşümü sağlanmıştır [41]. Piezoelektrik seramik bir malzeme hazırlamak için, metal oksit tozları belirli oranlarda karıştırıldıktan sonra homojen bir toz karışımı elde etmek için ısıtılırlar. Elde edilen toza organik bir bağlayıcı eklenerek disk, tel, bar, levha, vb. şekillerde yapısal elemanlara dönüştürülebileceği gibi toz olarak da saklanabilirler [41]. Çeşitli formlar verilmiş seramik elemanlar belirli sürelerde sinterleme adı verilen pişirme programları uygulanarak fırınlanırlar. Böylelikle toz parçacıklarını birbirine bağlayan yoğun kristal yapıya dönüştürülmüş olurlar. Bu işlemlerden sonra elemanlar soğumaya bırakılır ve gerekirse istenilen ölçülerde kesilir veya çapakları alınır [45]. Çoğunlukla kullanılan piezo seramik tipi kurşun-zirkonyum-titanyum (PZT) piezo seramiklerdir. Cephelerde kullanıldığı takdirde mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirerek enerji tüketimini azaltıp sürdürülebilir mimariye katkı sağlarlar [41].

Seramik malzemelerin üretimi polimerlere göre daha zor ve kırılgan olduğu için polimerlerin önemi artmıştır. Büyük ve kompleks şekillerdeki uygulamalar için polimerler daha uygun görülmektedir [46]. Piezoelektrik özellik gösteren polimer bir malzemeye belirli voltajda elektrik uygulandığında malzeme, uygulanan voltajın miktarıyla orantılı olarak incelir, uzar veya genişler. Boyut değişikliğine uğrayan piezopolimer malzemeye sıkıştırma, esnetme veya germe gibi mekanik bir kuvvet uygulandığında kuvvetin büyüklüğüne göre voltaj üretir. İlk keşfedilen piezoelektrik özellikli polimer Poliviniliden Florüd veya Poliviniliden Diflorür olarak adlandırılan PVDF'dir [46]. PVDF; çözücülere, asitlere, bazlara, çeşitli kimyasallara ve ısıya karşı yüksek dirençli olup, kuvvet ve saflık gerektiren uygulamalarda kullanımı uygundur. Metal çatıların üst yüzey boyalarında ve inşaat sektörünün çeşitli alanlarında bitiş katmanları olarak tabakalar, filmler, membranlar ve kaplamalarda yaygın olarak kullanılır (Şekil 2.11). Ayrıca lityum iyon pillerin kaplanmasında ve fotovoltaik filmlerde de kullanılmaktadır [47].



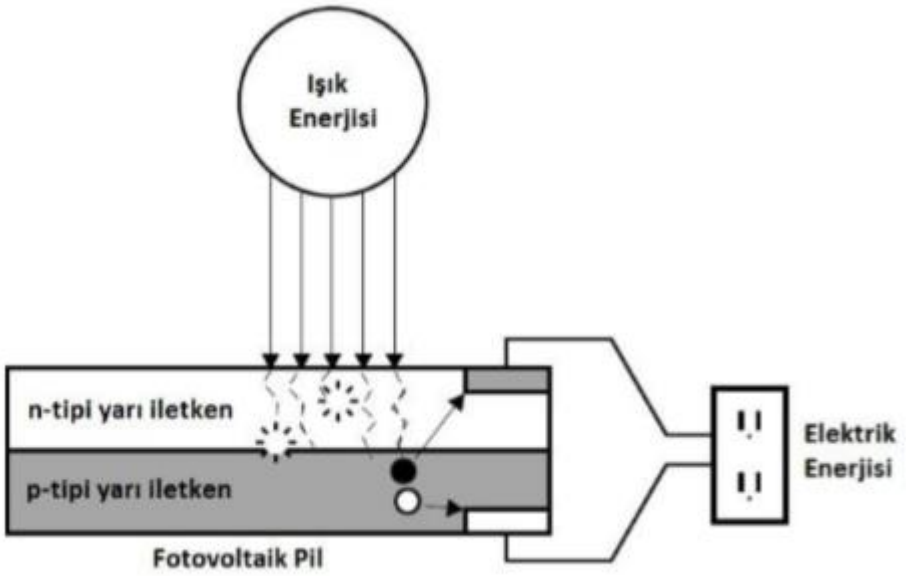
Şekil 2.11 PVDF malzemenin mimaride kullanım örnekleri [48]

2.2.2 Fotovoltaikler

Fotovoltaik sistemler, güneşten gelen ışınları alıp kendi hücrelerinde elektrik enerjisine çevirmeyi sağlayan sistemlerdir. Bu hücreler üzerlerine düşen güneş ışınımını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken maddelerden oluşur. Tek bir hücreden üretilen elektrik enerjisi çok düşük olacağından hücreler birbirlerine paralel veya seri bağlanarak modüller oluşturur. Bu modüller panellere, paneller ise dizilere dönüştürülerek istenilen boyutta üretilmeye imkân tanır (Şekil 12) [49], [50], [51]. Çoğunlukla silisyum (Si) esaslı hücrelerden oluşan bu yarı iletken maddelerin güneş pili yapımında kullanılabilmesi için fosfor, alüminyum, bor gibi maddelerle katkılama işlemi görerek N ya da P tipi yarı iletken maddelere dönüştürülmeleri gerekir. Bu işlem, saf yarı iletken eriyik içerisine belirli katkı maddelerinin eklenmesiyle yapılır. Söz konusu aşamalarla elde edilen fotovoltaik pillerin verimleri, Şekil 12'de gösterilen hücre üzerine düşen güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülebilme oranına göre değişiklik gösterir [49], [50], [51].

Kısaca PV olarak bilinen fotovoltaik pillerin çalışma prensibi, güneş ışığının emilmesiyle serbest kalan elektronların elektrik akımını oluşturması esasına dayanır. Güneşten gelen ışınlar güneş hücresine temas ettiğinde dış yüzeydeki geçirgen tabakadan geçerek yarı iletken madde tarafından emilir. Işınlarla enerji kazanan elektronlar, şekil 2.12'de

gösterilen çok elektrona sahip P tipi yarı iletkenden az elektrona sahip N tipi yarı iletkenlere doğru hareket eder ve bir akım oluşturur [52]. Elektronların bu devreden akmasıyla elektrik enerjisi üretilmiş olur.



Şekil 2.12 Fotovoltaik pilin çalışma prensibi [52]

Güneş pilleri (fotovoltaik modüller), güneş enerjisini kullanarak, çevreye zararlı atık vermeden, gürültü olmaksızın, elektrik enerjisi üretebilen elemanlardır [53]. Mimaride bina kabuğunu, enerji korunumu sağlama ve mimarinin biçimlenişi açısından önemli bir rol üstlenmekle birlikte, sürdürülebilir bir gelecek anlayışı kapsamında daha fazla işlevi yerine getirmek durumundadır. Geleneksel işlevlerinin yanı sıra, cephe ve çatı elemanları PV paneller kullanarak tasarlanarak yapıların enerji gereksiniminin karşılanmasına katkıda bulunan birimler haline gelebilmektedir. Bu doğrultuda güneşe dayalı yenilenebilir enerji sistemlerinin binalarda kullanımı büyük önem taşımaktadır. PV paneller kullanılacağı binanın tasarımına göre; cephe sistemlerinde, perde duvarlarda, çatılarda, gölgeleme elemanlarında, çatı aydınlatma sistemlerinde veya parapet, saçak gibi bina elemanlarıyla birlikte kullanılabilir. Güneşten yararlanarak enerji açısından kendine yeten binalar tasarlamayı mümkün kılan PV modüller, enerji tasarrufu sağlamasından ötürü tüm dünyada gün geçtikçe daha fazla kullanılmaya başlanmıştır [54]. Binalara, hem güneş kolektörlerinin hem de PV panellerinin sonradan eklenmesi yerine proje aşamasında bina kabuğuyla birlikte tasarlanmaları mimari anlamda önem taşıyan estetik açıdan daha uygun olacaktır.

2.3 Adezyon Değiştiren Malzemeler

Adezyon değiştiren malzemeler, sıcaklık, gün ışığı, elektriksel alan vb. çevresel uyaranların etkisiyle katı, sıvı veya gaz hallerindeki bileşenlerin molekülleri arasındaki yüzey yapışma özelliğinin değişim gösterdiği malzemeler olarak tanımlanmaktadır[14]. En yaygın kullanılan adezyon değiştiren malzemenin titanyum dioksit (TiO_2) olduğu söylenebilir [7]. Titanyum dioksit (TiO_2), fotokatalitik özelliği sayesinde üzerine yapışan kirleticileri (parçacıklar, gazlar, uçucu bileşikler, oksitler vb.) ışığın etkisinde su ve karbondioksite parçalar [7]. Absorbsiyon (emme) veya adsorpsiyon (yüzeye tutunma) etkisi ile birçok yapı malzemesine; ince filmler ile, kaplama veya pigment olarak, TiO2 entegre edilmiştir (Şekil 2.13). Bu özellikleri ile uygulama yapılan cephelere de fotokatalitik nitelik kazandıran malzeme kirleri emen betonlar, ışık ve yağmurla kendini temizleyebilen (fotokatalitik) membranlar, duvar kağıtları, camlar, alüminyum paneller ve dış cephe boyaları gibi pek çok sürdürülebilir mimari uygulamada kullanılmaktadır [55].



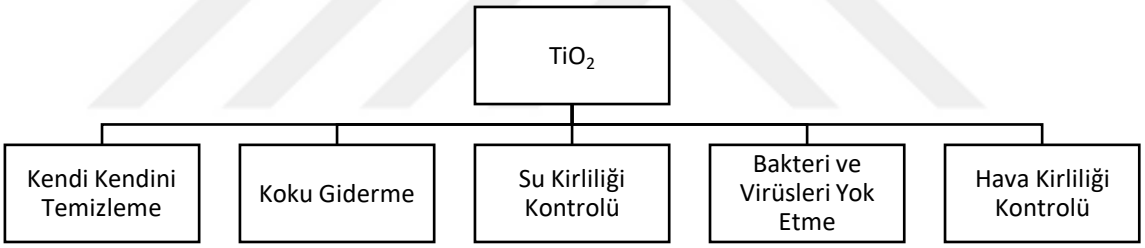
a **b**

Şekil 2.13 Taiyo teknoloji uygulamaları: Ti02 ile çeşitli yapı membranları. a)Lomas Verde Shopping Mall, Meksika (PTFE) b) Coffs Harbour Mall, Avustralya (PTFE) [56]

Son yıllarda TiO_2 farklı kimyasal, elektriksel ve optik özelliklerinden dolayı araştırmalarda çok sık kullanılmaya başlanmıştır. TiO_2' i diğer yarı iletkenlere karşı üstün kılan bir özelliği; foto katalizör olarak benzersiz oluşudur. Suyu bileşenlerine ayırmasının keşfedilmesi ve aynı yöntemle su içerisindeki siyanürün ayrıştırılabileceğinin ortaya konulmasından sonra organik atıklardan dolayı oluşan çevre problemlerinin çözümlenmesinde büyük bir kurtarıcı olarak görülmeye başlanmıştır [57]. TiO_2, üzerine düşürülen ışıkla kendisini çevreleyen organik ve inorganik bileşiklerin kimyasal tepkimeler sonucu parçalanmasında katalizör olarak görev yapar ve foto katalizör olarak

çevre kirliliği sorunlarının yanı sıra havanın temizlenmesine de büyük katkı sağlar [58]. Ayrıca bakteri, virüs gibi mikro organizmaları yok etmede, su içindeki hidrojeni ayırmada da kullanılır [58].

Nanoteknolojinin yapı sektöründe en geniş kullanım alanı fotokatalizle yüzeylerin kendi kendini temizleyebilme özelliğidir [40]. Fotokatalizin ışıkla beraber oluşturduğu tepkimeler, havanın nem ve oksijen ile birlikte yüzeyde oluşturduğu organik kir ve gazların yanması sonucu parçalanmasına neden olur ve temizleme işlemi gerçekleşir. Fotokatalitik malzeme ile tepkimeye geçen titanyum dioksit (TiO_2) kullanıldığında, güneşin UV ışınlarından etkilenen kir partikülleri parçalanarak yağmur suyuyla malzeme yüzeyinden temizlenir. Yağmur suyunun malzeme yüzeyinden akabilmesi ve parçalanmış olan kirleri de taşıyabilmesi için hidrofilik yapıda olması gerekir. Bu yüzeyler, ince film kaplama ile kaplanarak, parçacık içeren boyayla boyanarak veya malzemeyi oluşturacak karışımın içine katılarak elde edilebilmektedir. TiO_2, endüstriyel alanda kullanım için en uygun, en verimli, en stabil ve en ucuz fotokatalizdir [59]. TiO_2'in uygulandığı malzemeye kazandırdığı özellikler Şekil 2.14'te görülmektedir.



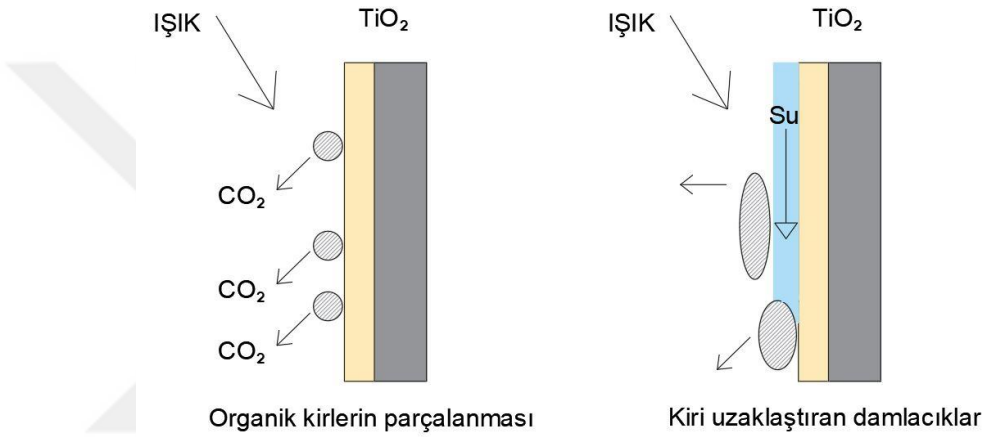
Şekil 2.14 TiO_2'in uygulandığı malzemeye kazandırdığı özellikler

Bir yüzeyin suyla kendi kendini temizleme özelliği ilk kez lotus çiçeklerinde fark edilmiştir. Yüksek derecede hidrofobik durum lotus yaprakları üzerinde elektron mikroskobu ile gözlemlenerek "Lotus etkisi" olarak adlandırılmıştır [60]. Sonrasında dünyada ciddi bir problem haline gelen çevre kirliliği sorunlarına çözüm sunabilme potansiyeline sahip olduğu için bu konu üzerinde yoğun olarak çalışılmaya başlanmıştır. Çalışma sürecinde TiO_2'nin fotokatalitik özellikle birlikte süperhidrofilik (aşırı derecede su-severlik) özellik de gösterdiği bulunmuş ve kendi kendini temizleme özelliği geliştirilmiştir [61].

Son yıllarda hemen tüm çalışmalar "fotokatalitik ince filmler" üzerine yoğunlaşmıştır [62]. Bu doğrultuda kaplama amacıyla geliştirilen önemli üretim tekniklerinden birisi

olan sol-gel yöntemi ile cam, seramik, metal ve polimer malzemeler üzerine TiO2 filmler kaplanabilmektedir. Söz konusu kaplamalar malzeme yüzeyine daldırma, döndürme ve püskürtme teknikleriyle yapılabilmekte ve elde edilen materyal fotokatalitik özellik göstermektedir [63], [64].

Fotokatalitik etki altında kendini temizleyebilme niteliğine sahip nanokaplamalarda temizlenme süreci iki aşamada gerçekleşir. İlk aşamada, fotokatalitik tepkimelerle yüzeylere yapışan organik kirler parçalanır. Sonraki aşamada ise, su tatmayan nitelikte nanokaplamalar, yüzeylere çarpan su damlacıkları levhanın şeklini alarak parçalanmış kirlerle bütünleşerek malzemenin yüzeyinden uzaklaştırmasıdır (Şekil 2.15) [65]



Şekil 2.15 TiO2 kaplama yüzeyde UV ışıkla kendini temizleme mekanizması [66]

Örneğin, çevre dostu stadyum şeklinde nitelendirilen, inşaatına yeniden devam edilen Brezilya Ulusal Stadyumu, üst örtüsünde hareketli fotokatalik membranlar kullanılmıştır (Şekil 2.16) [67]. Söz konusu malzemelerin kullanım miktarları ve araştırma alanları her geçen gün artmakta ve gelişen nanoteknoloji ile birlikte mimari uygulamaları yaygınlaşmaktadır.



a b

Şekil 2.16 Kendi kendini ve havayı temizleyen akıllı yapı elemanları.
a: Fotokatalitik cephe panelleri (Monte Verde Tower). b: Fotokatalitik mebran (Brezilya Ulusal Stadyumu).

2.4 Şekil Hafızalı Malzemeler

Şekil hafızalı malzemeler, bir dış uyaranın etkisiyle şeklini, geçici olarak deforme olmuş halinden, önceden programlanmış orijinal şekline kontrollü bir biçimde değiştirilebilen malzemelerdir [68]. Şeklin orijinal haline geri dönüşü; elektrik akımı, manyetik alan, çevre sıcaklığı, ısı, ışık, Ph, fiziksel ve kimyasal etkiler veya herhangi başka bir uyaran tarafından tetiklenebilir. Geri dönüş kuvveti ve niteliğine göre şekil hafızalı malzemeler, akıllı malzeme sistemlerindeki birçok teknik uygulamaları kontrol etmek veya düzenlemek için uygulanabilir. Akıllı sistemler, şekil hafızalı malzemelerin sağladığı şekil, pozisyon (yer), uzama, eğilmezlik, sönümleme, sürtünme, buhar geçirgenliği veya yüzey gerilimindeki değişikliklerden faydalanmaktadır [68]. Şekil hafızalı malzemeler organik ve inorganik olmak üzere ikiye ayrılır. İnorganik olarak şekil hafızalı alaşımlar, organik olarak ise şekil hafızalı polimerler en yaygın kullanılanlarıdır ve sahip oldukları özellikler nedeniyle bazı durumlarda birlikte de kullanılmaktadır [69].

2.4.1 Şekil Hafızalı Alaşımlar (ŞHA)

Şekil hafızalı alaşımlar, çeşitli metallerin alaşımı ile faz dönüşümü ve buna bağlı olarak şekil hafızası etkisi oluşturan malzemelerdir [70]. Farklı sıcaklık düzeylerinde farklı kristal fazlarda bulunabilirler. Malzemedeki farklı kristal yapılar arasındaki ilişki, ısıtma

ve hızlı soğutma işlemleri uygulanarak oluşturulur. Şekil hafızalı alaşım, programlanmış şeklini ortam sıcaklığında korur, fakat deforme olduğunda uygun uyaran uygulandığı takdirde her zaman orijinal şekline geri döner [71]. En yaygın kullanılan ŞHA, yüksek geri dönüştürülebilir şekil değiştirme düzeyine (%8) sahip, 500 MPa üzeri çekme dayanımı olan, yüksek biyo-uyumluluğu ve yüksek korozyon dayanımı gösteren Ni-Ti (Nitinol) alaşımlarıdır [72].

Şekil hafızalı alaşımlar sabit sıcaklıkta geleneksel malzemelere göre çok daha elastiktir; süper elastisite olarak anılan bu özellikleri sayesinde yapı strüktürlerinin deprem dayanımını arttırırlar. Bu konuda yürütülen çalışmalarda deprem yüklerini dağıtmak üzere kritik noktalarda (kolon-kiriş bağlantıları gibi) veya aktif yapısal kontrol sistemlerinde (deprem damperleri gibi) şekil hafızalı alaşımların kullanımı detaylı bir şekilde araştırılmaktadır [55]. Şekil 2.17'deki görselde sıcaklık ile cephe yüzeyi değişimi için şekil hafızalı alaşımların prototipi ve sıcaklığa karşı davranış deneyi gösterilmiştir. Bu malzemeler genellikle yüzey olarak metal, seramik, cam, film, plastik yüzeylere; yapı elemanı olarak ise döşeme, çatı ve duvara uygulanabilmektedir.



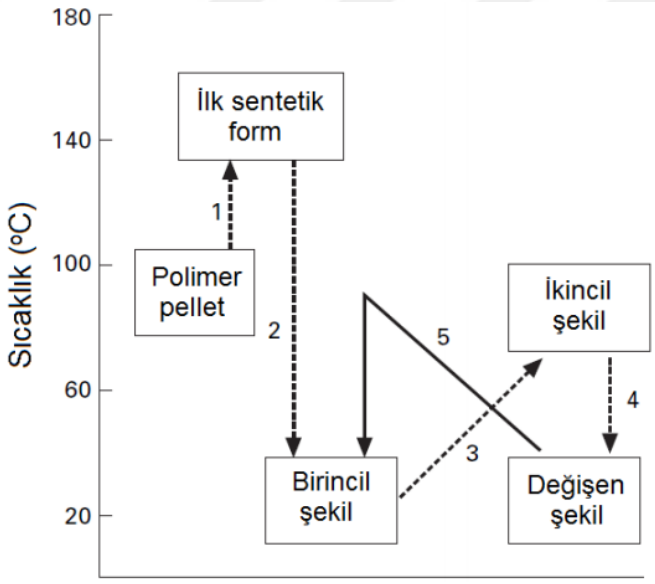
Şekil 2.17 Sıcaklık ile cephe yüzeyi değişimi için şekil hafızalı alaşımların prototipi ve sıcaklığa karşı davranış şekli [73]

2.4.2 Şekil Hafızalı Polimerler (SMP)

Şekil hafızalı polimerler (SMP) şekillerini; ışık, sıcaklık, elektrik alanı, manyetik alan, özel iyon veya enzim gibi uygun uyaranlar altında geçici bir halden orijinal (veya kalıcı) hallerine hızlıca değiştirebilirler. Metalik alaşımlara göre daha hafif, iyi işlenebilirlik,

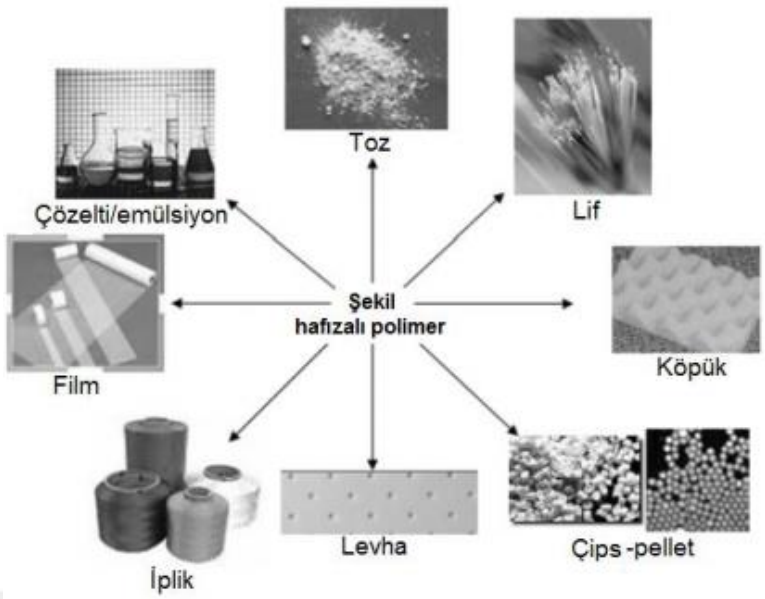
düşük maliyet, yüksek şekil değiştirebilirlik, yüksek şekil geri kazanabilirlik ve uyarlanabilirlik özelliklerine sahiptir. Bu yüzden, şekil hafızalı polimerler, malzeme maliyetinin önemli olduğu yerlerdeki uygulamalar için iyi bir seçim olarak görülmektedir. Uyaran duyarlı şekil hafızalı polimerler arasında, termal duyarlı SMP'ler endüstride yaygın olarak çalışılan ve kullanılan türlerdir [74].

SMP materyalleri, geniş elastikiyet özelliklerine sahip olduklarından çok sert veya yumuşak yapıda olabilirler. Bir dış uyaranın etkisiyle şekil değiştirme özelliğine sahiptirler. Termal duyarlı SMP'ler şekil hafıza geçiş sıcaklığı üzerinde hızlı bir şekilde şekil değiştirebilir ve sabitlenebilirler. Sonuç olarak, SMP'ler geçiş sıcaklığının üzerine ısıtıldıklarında orijinal şekillerini otomatik olarak geri kazanırlar [69]. Şekil hafızalı polimerin şekil sabitleme ve geri kazanım süreçleri Şekil 2.18'deki gibidir.



Şekil 2.18 Şekil hafızalı polimerin şekil sabitleme ve geri kazanım prosesleri [69]

SMP'ler, mimaride birçok uygulama formunda kullanılabilirler (Şekil 2.19). Bugüne kadar araştırma ve geliştirme aşamasında olan SMP'ler, söz konusu formlardan sadece birkaçı için başarı sağlamıştır. Yakın gelecekte daha fazla uygulama alanı bulacağı öngörülmektedir [69].



Şekil 2.19 Şekil hafızalı polimerlerin uygulama şekilleri [69]

2.5 Işık Yayan Malzemeler

Atom veya moleküller uyarıldıklarında kararsız hale geçerler ve fazla enerjilerini atabilmek için temel hale dönme eğilimi gösterirler. Söz konusu atom ve moleküller temel enerji düzeyine dönerken, fazla enerjisinin bir kısmını veya tamamını ışık şeklinde atar ve bu enerji değişimi sırasında "lümenans" (ışıldama) olayı gözlemlenir. Işık yayan malzemeler ise lümenans olayını; fiziksel, kimyasal, elektriksel vb. uyaranlarla tam tersi şekilde yapabilir [75]. Işık yayan malzemelerin mimaride en çok görülen uygulama şekilleri fotolüminesans ve elektrolüminesanstır. [14].

Fotolüminesans malzemeler, parlama özellikleri doğrultusunda, floresan ya da fosforesan şeklinde sınıflandırılabilir. Tasarım uygulamalarında; floresan temelli kaplamalar ve boyalar yüzeylere uygulanmakta ve ışık yayan bir yüzey elde edilmektedir [76]. Fosforesan malzemeler ise floresansın aksine, daha uzun süre ışık yayabilirler. Bu malzemelerin boya ya da film tabakası halinde mimari yüzeylere uygulanmasıyla ışık yayan yüzeyler elde edilebilmektedir [76]. Elektrolüminesans ise elektrikseldir ve malzemeden geçen elektrik akımına tepki olarak ışık yayma durumudur. Elektrolüminesans malzemeler arasında, ışık yayan diotlar (LED) ve organik ışık yayan diotlar (OLED) sayılabilir. Bu tür malzemeler, tavanlarda, duvarlarda ya da cephelerde, metal, plastik veya beton yüzeyler üstüne uygulanabilmektedir. OLED ışık kaynakları ile

iç hacimlerin ışıklandırılmasında değişik renk ve boyutlarda, esnek ve şeffaf levhalar oluşturmak mümkündür. OLED ışıklar, UV içermemesi, düşük ısıl enerji açığa çıkarması ve düşük kamaşma değerleri nedeniyle sağlığa uygun, dengeli ve doğal bir ışık dağılımı sağlayabilmektedir [76].

2.5.1 Fotolüminesans

Fotolüminesans Ultraviyole (mor ötesi) ışıkla uyarılan maddede oluşan lüminesans çeşididir. Uyarılma, atom veya moleküllerin fotonları absorbe etmesi ile oluşur. Sistemin bir foton soğurarak uyarılması sonucu yüksek enerji seviyesine çıkması ve daha sonra kendiliğinden bir foton yayınlayarak düşük enerji seviyesine dönüş yapması süreci fotolüminesans olarak adlandırılır [77].

Fotolüminesans malzemeler, doğal güneş ışığını veya yapay elektrik enerjisini absorbe etme, depolama ve daha sonra karanlıkta görünür ışık formunda yavaşça dışarıya verme yeteneği ile ifade edilebilir. Absorbe etme, depolama ve ışık verme döngüsü sonsuz bir şekilde devam eder. Bu malzemeler enerji soğurulmasıyla uyarılarak geçtikleri kararsız halden eski hallerine dönmek için kazandıkları enerjiyi atmak ister. Bu süreç boyunca sistemden bir ışık yayınımı gözlenir [78]. Fotolüminesans pigmentlerin karanlık alanda görünümü Şekil 2.20'deki gibidir.



Şekil 2.20 Fotolüminesans pigmentlerin karanlık alanda görünümü [79]

Binalarda kullanılan enerjinin büyük bir çoğunluğunu aydınlatma ve ısınma amaçlı tüketimler oluşturmaktadır. Bu nedenle ışığın yetersiz olduğu veya karanlık ortamlarda kısmi aydınlatma sağlayan fotolüminesans katkılı malzemeler kullanılarak enerjiden tasarruf edilmiş olur. Fotolüminesans pigmentler birçok ürünün yüzey kaplamalarında kullanılmasının yanında plastik, lastik, polivinil klorür (PVC), sentetik reçineler ve cam ile de karıştırılabilirler (Şekil 2.21) [80].



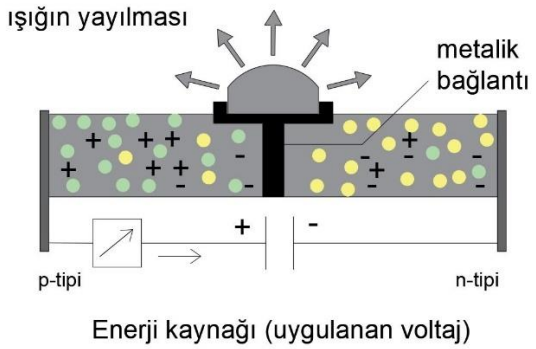
Şekil 2.21 Fotolüminesans pigmentler kullanılarak yapı cephesinin aydınlatılması [81]

2.5.2 Elektrolüminesans

Elektrolüminesans (EL) genellikle yarı iletken malzemelerden bir elektriksel akımın geçmesi sonucu meydana gelen elektromanyetik ışınım yayılması olayıdır. Genel olarak EL, elektrik enerjisi sağlama, uyarılma, ışık oluşum mekanizması süreçlerinden oluşur [82]. Yüksek frekanslı elektrik akımının yalıtılmış fosfora aktarılması, yani fosforun uyarılması sonucunda elektrik enerjisinin ışık enerjisine dönüşmesi ile meydana gelir. Bu dönüşüm sırasında ısı açığa çıkmadığı için elektrolüminans olayı, soğuk ışıma olarak nitelendirilir [76]. LED ve OLED'ler mimaride kullanılan elektrolüminesans malzeme türlerindendir.

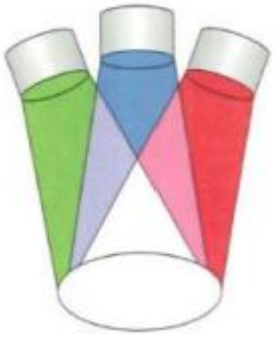
LED (Light Emitting Diode)

LED'lerin çalışması elektrik enerjisinin optik ışığa dönüştürülmesi ilkesine dayanır ve PV yarı iletken olayın tam tersi mekanizma ile çalışır (Şekil 2.22) [2]. LED (ışık yayan diyot) yarı iletken bir ışık kaynağıdır. Bu malzemelerin üzerine verilen gerilim ile elektronlar harekete geçer ve elektrolüminans olayı ile ışıma başlar. Böylece malzeme ışık yaymış olur [83].

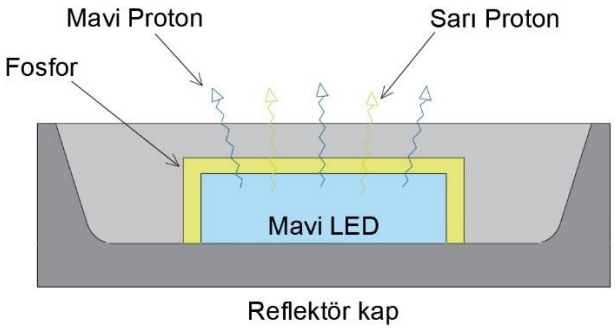


Şekil 2.22 LED çalışma prensibi [2].

Yayılan ışığın rengini, içinde kullanılan kimyasalların bileşimi belirler. Beyaz ışığın oluşturulmasında ise iki yöntem vardır. Bunlar; kırmızı, yeşil ve mavi ışığın belirli oranlarda karıştırılması (Şekil 2.23) ve LED içinde üretilen mavi ya da mor üstü fotonların fosfor tabakanın içinden geçip sarı fotonlara dönüşerek beyaz ışık elde edilmesi şeklindedir (Şekil 2.24) [83]. Beyaz renkli LED'lerin geliştirilmesiyle aydınlatma alanındaki kullanımı yaygınlaşarak önem kazanmıştır.



Şekil 2.23 Kırmızı, yeşil ve mavi ışıkla beyaz ışık eldesi [83]



Şekil 2.24 Sarı fotonlara dönüşen ışık [83]

LED teknolojisinin cam duvara entegrasyonunun ilk mimari örneği 2004 yılında inşa edilmiş Chanel Ginza Medya Binası'dır [28] (Şekil 2.25). Cephede 23.000'in üzerinde ayrı ayrı adreslenebilir LED, yaklaşık 5cm uzunluğunda ve 5cm çapında hafif alüminyumdan üretilen armatürlerin içine yerleştirilmiştir. Cephede aynı zamanda elektro kromatik cam giydirme uygulanmıştır [84].



Şekil 2.25 Chanel Ginza medya cephesi [84]

OLED (Light Emitting Diode)

OLED aygıtları, kalınlıkları 100 nm ve 500 nm olan ince organik yarı iletken filmlerden oluşan elektronik cihazlardır [85]. Sisteme gerilim uygulandığında elektronlar harekete geçer ve yük taşıyıcılarının birleşimiyle malzeme ışık yayar. Yapısında Şekil 2.26'da gösterildiği gibi birden fazla ince film katmanı bulunur.



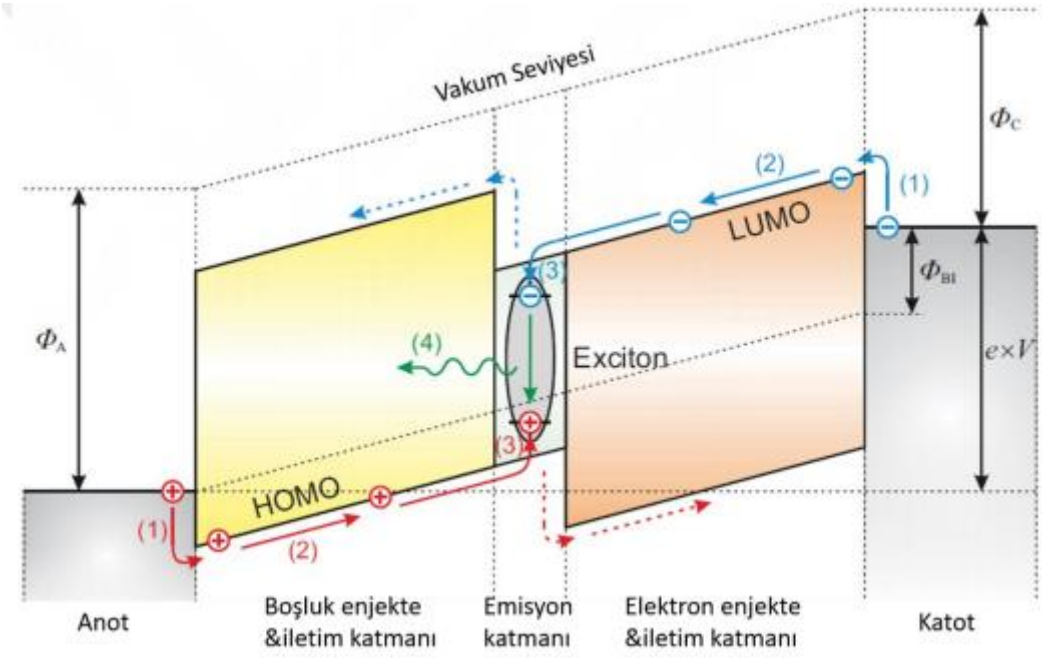
Şekil 2.26 OLED yapısı ve gösterimi [85]

Anot ve katot arasında organik katmanlar bulunur. Pozitif gerilim altında katottan anoda doğru organik tabakalar yardımıyla bir elektrik akımı akar ve bu süreçte OLED ışık yaymaya başlar. İnce ve esnek yapıda bir malzemedir ve uyaranlara hızlı bir şekilde yanıt verir. OLED aydınlatma modülleri diğer aydınlatma armatürlerinden farklı olarak daha geniş yüzey alanlarından homojen ve yumuşak ışık çıkışı sağlar ve ışığı daha doğal yansıtır (Şekil 2.27). Enerji verildiğinde gürültüsüz ve hızlı çalışırlar ve renk sıcaklıkları oldukça geniştir. Günümüzde son teknolojik gelişmelerle birlikte OLED'lerde güç verimi 100 lm W-1 seviyelerine ulaşmıştır [86].



Şekil 2.27 Aydınlatma armatürlerinin yıllar içindeki değişimi [85]

Şekil 2.28'de gösterilen temel OLED sistemin çalışma prensibi; elektrotlardan elektron ve boşluk enjekte edilmesi, yük taşıyıcıları yarı iletken organik emisyon katmanına iletilmesi ve oluşan bağlanmış elektron-boşluk çiftleri birleşim ve emisyon yapması ile oluşur [87]. Veriminin arttırılmasında elektron-boşluk çiftinin kontrolü önemlidir. OLED malzemeler camlar ve farklı esnek katmanlar üzerine kolaylıkla uygulanabilir. Bu nedenle mimari tasarımda kullanıma olanak sağlarlar.



Şekil 2.28 OLED sistemin çalışma prensibi [87]

OLED ışık kaynakları ile iç mekân ya da dış cephe aydınlatmasında çeşitli boyut ve renklerde esnek ve şeffaf paneller oluşturmak mümkündür. OLED ışık kaynakları; düşük seviyede ısıl enerji ortaya çıkarması, kamaşma değerinin düşük olması ve UV içermemesi sebebiyle sağlığa uygun, doğal ve dengeli bir ışık dağılımı sağlayabilmektedir. Merck ve iş birliği ortakları Oled Works, OPVIUS ve Kolon tarafından 2018 yılında OPV (organik fotovoltaik) ve OLED (organik ışık yayan diyot) teknolojilerini birleştiren "The Land" adında yeni bir cephe konsepti ortaya koymuştur (Şekil 2.29) [88]. Bu oled cephede 4 metre uzunluğunda bambu tüpler profillere asılmış ve cephede bir bütünlük sağlanmıştır. İç mekân aydınlatmaları olarak da kullanım örnekleri mevcuttur (Şekil 2.30) [89].



Şekil 2.29 The Land cephesi (OLED-OPV) [88]



Şekil 2.30 OLED aydınlatma panelleri [89]

2.6 Termal Düzenleyiciler

Türkiye'de kullanılan enerjinin üçte birinden fazlası ısıtma ve soğutma amacıyla harcanmaktadır [90]. Binalarda alınabilecek en önemli önlem, sıcak bölgelerde ısı kayıplarına, soğuk bölgelerde ise fazla ısınmaya karşı enerji tüketimini azaltmak için ısı yalıtımı yapmaktır. Isı yalıtımı, binaların enerji performansına etki eder ve fazla enerji tüketimini engellemiş olur. Cam yünü, taş yünü gibi inorganik malzemeler ve sentetik-

organik köpükler ısı yalıtımında en çok üretilen ve kullanılan geleneksel malzemelerdir [91]. Fakat bu geleneksel malzemelerin su, nem, çevre kirliliği vb. olumsuz çevre koşullarına karşı dayanımının yeterli olmaması ve bazı sağlık sorunlarına yol açabileceği görüşü yeni akıllı malzemeler geliştirilmesine yol açmıştır. Bu doğrultuda nanoteknolojik ürünler geliştirilerek yapı malzemesine bazı özellikler kazandırılmıştır. Termal düzenleyici akıllı malzemeler olarak adlandırılan bu malzemeler; aerojeller ve faz değiştiren malzemeler başlıkları altında incelenmektedir [91].

2.6.1 Aerojeller

Aerojeller, binalarda ısıl yalıtım uygulamaları için son zamanlarda ortaya konulan, ısı yalıtım çözümü için yüksek performanslı nanoteknolojik malzemelerdir [92]. Aaerojeller %99 hava içeren çok gözenekli nano yapıya sahip olduklarından çok hafif katı malzemelerdir. Bu malzemeler, çok düşük yoğunluğa (3 kg/m3) ve oldukça düşük (14 mW/(m.K)) termal iletkenliğe sahiptir [93]. Ticari ürünler için termal iletkenlik değeri 13 mW/(m.K)'e kadar düşmektedir [94]. Bu özellikleri sayesinde termik ve akustik izolatör olarak tercih edilmektedir [95]. Şekil 2.31'de gösterilen aerojellerin mimaride bilinen kullanımları, şeffaf yalıtım uygulaması (ışığı geçiren dolgu malzemesi), opak yalıtım malzemesi, vakumlu yalıtım panelleri ve akustik uygulamalar şeklindedir [96].



Şekil 2.31 Aerojel malzeme [97]

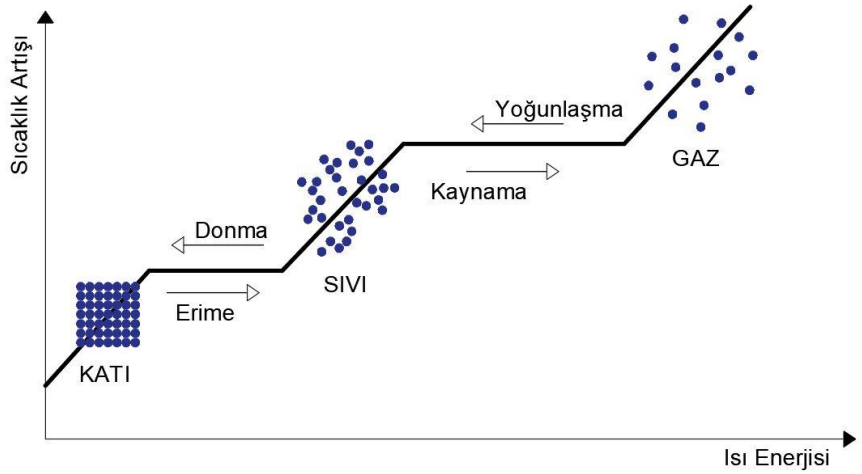
Aerojellerin üretimi; jel hazırlama, hücre yapısının güçlendirilip sertleştirildiği yaşlandırma ve kurutma olmak üzere üç temel aşamadan oluşmaktadır [98]. Aerojeller, farklı boyutlarda granüller halinde ve oldukça saydam olan monolitik hava jelatı şeklinde

üretilebilirler [99]. Yapılarda en çok yalıtım potansiyeline sahip akıllı malzeme silika aerojellerdir.

Silika aerojeller katı biçimde temel olarak cam şeklindedir [100]. Bu nedenle, sıkıştırma altında toz haline gelerek daha dayanıklı davranış sergilerler [101]. Silika aerojeller, hem kimyasal yöntemlerle (sol-jel yöntemi, çözücü çöktürme yöntemi vb.) hem de fiziksel yöntemlerle (mekanik öğütme yöntemi) sentezlenebilirler [102]. Sıvı bir "sol" dan katı bir "jel" aşamasına geçilmesi işlemini içeren sol-jel yöntemi, en çok tercih edilen yöntemdir. Fiziksel ve kimyasal özellikleri bu malzemelerin yapılarda termal düzenleyici malzemeler olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır [95].

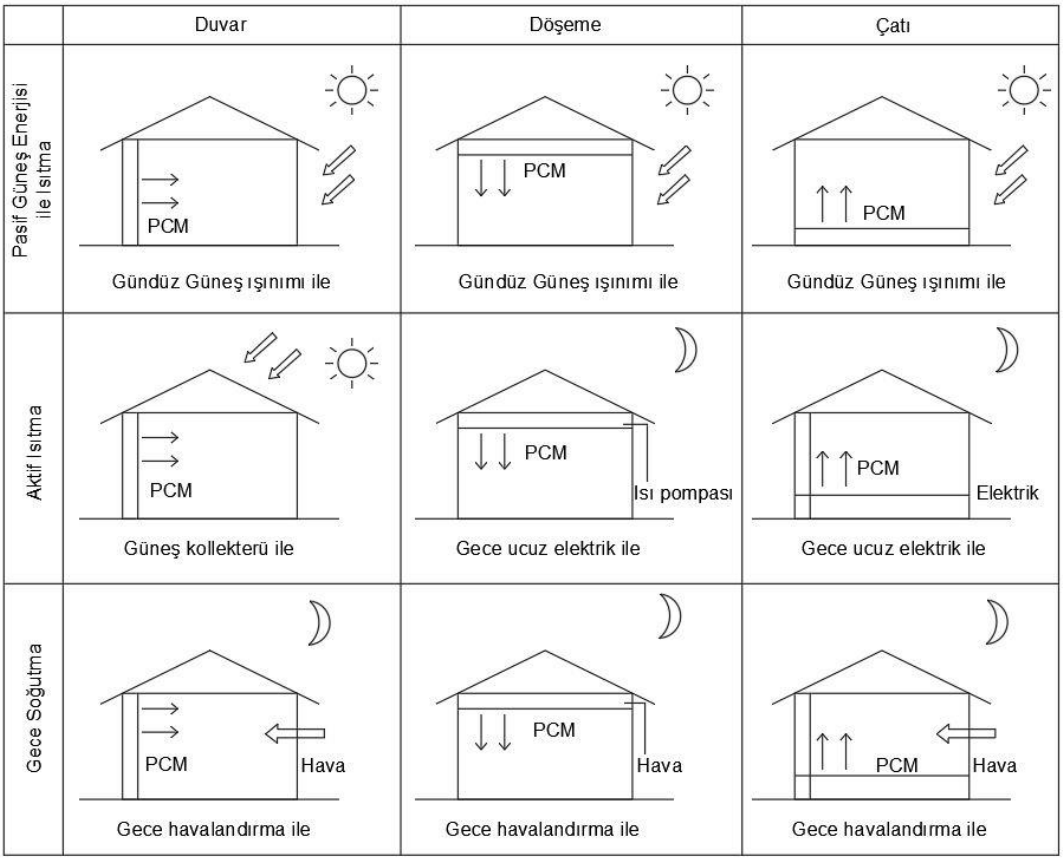
2.6.2 Faz Değiştiren Malzemeler

Faz değiştiren malzemeler, ısı, sıcaklık, basınç vb. dış etmenler etkisiyle hal değiştiren malzemelerdir [7]. Bu etmenler, malzemelerin fiziksel hallerinde değişimler yaratarak, farklı faz içerisinde bulunmasına neden olur. Bu durum "faz değişikliği" olarak isimlendirilir [103] (Şekil 2.32). Faz değiştiren malzemeler (FDM) ısıl enerjiyi, "maddenin faz değişimi sırasında çevreden aldığı veya verdiği ısı" şeklinde tanımlanan gizli ısı şeklinde depolar. FDM'lerin sabit sıcaklıkta faz değiştirmeleri, ısı depolama ve geri kazanma için uygundur. Isıtma ve soğutma uygulamalarının enerji verimliliğinin arttırılmasında bu malzemeler kullanılmaktadır [104].



Şekil 2.32 Farklı sıcaklıklarda malzemelerin faz durumları [103]

Faz değiştiren malzemeler öngörülebilir sıcaklıklarda enerjiyi emmek ya da serbest bırakmak için tasarlandığından, doğal olarak bir binanın termal çevre koşulları ile mücadelesine yardımcı olmak için mimaride kullanılabilmektedir [2]. Geleneksel mimaride ısı depolama sistemleri "ısıl kütle" kavramı ile birlikte tanımlanır. Bina kabuğu ısıl kütle yardımı ile gün boyu ısıyı emer, depolar ve genliklerini küçülterek dış ortam etkilerini geciktirir. Böylece iç ortamda konfor koşullarını dengeler ve ısıtma enerjisini azaltmış olur [105]. Faz Değiştiren Malzemeler (FDM) de, ısıl kütlenin gelişmiş versiyonu olarak açıklanabilir. İklim tiplerine göre farklı performans gösteren bu malzemeler gündüz ve gece depolayıp ortama saldıkları ısıl enerjiyle, kış dönemi ısıtma enerjisinin yanı sıra yaz dönemlerinde de soğutma enerjisini azaltıcı bir etki gösterir. Böylece FDM'lerin ısıl enerji depolama özelliklerinden yararlanılarak binalarda ısıtma ve soğutma enerjisi harcamaları da azaltılmış olur [106], [107]. Şekil 2.33'te faz değiştiren malzemelerin bir binadaki farklı yapı elemanlarına gündüz ve gece dönemlerindeki etkisi gösterilmektedir.



Şekil 2.33 Faz değiştiren malzemelerin gün içinde yapıya etkisi [34]

Mimari uygulamalarda faz değiştiren malzeme kullanımı 1970 yılında tuz hidratlarının bir binada kullanılması ile başlamıştır [108]. Son yıllarda piyasada üretilen faz değiştiren malzemelerin; yapı elemanlarında zemin, asma tavan ve duvarlarda, yapı malzemelerinde ise alçı panolar, levhalar, sıva, dolgu, saydam yüzeyler, yarı saydam yüzeyler, yapı malzeme blokları ve harçlarında kullanımı yaygındır. Bu kullanım şekilleri kapsamında günümüzde "yenilikçi malzemeler" şeklinde de tanımlanan, içinde faz değiştiren malzemelerin de yer aldığı akıllı cephe örnekleri bulunmaktadır [7]. İsviçre'de Marche büro binasında kullanılan tuz hidratı FDM bu binalara örnek olarak gösterilebilir. Şekil 2.34'te gösterilen bu malzeme, 20 cm beton eşdeğeri enerji depolama kapasitesindedir ve bütün sistem %50 ışık geçirgenliğine sahip bir duvar görünümündedir.



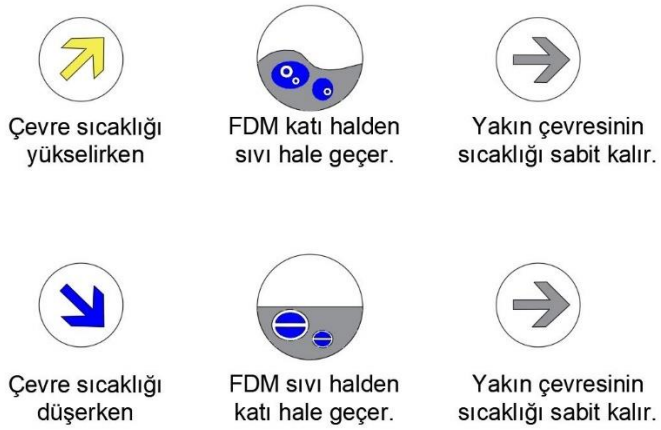
a

b

Şekil 2.34 Marché büro binasında FDM'li cephe sisteminin görünümü
a: gündüz görünümü, b: gece görünümü [109], [110].

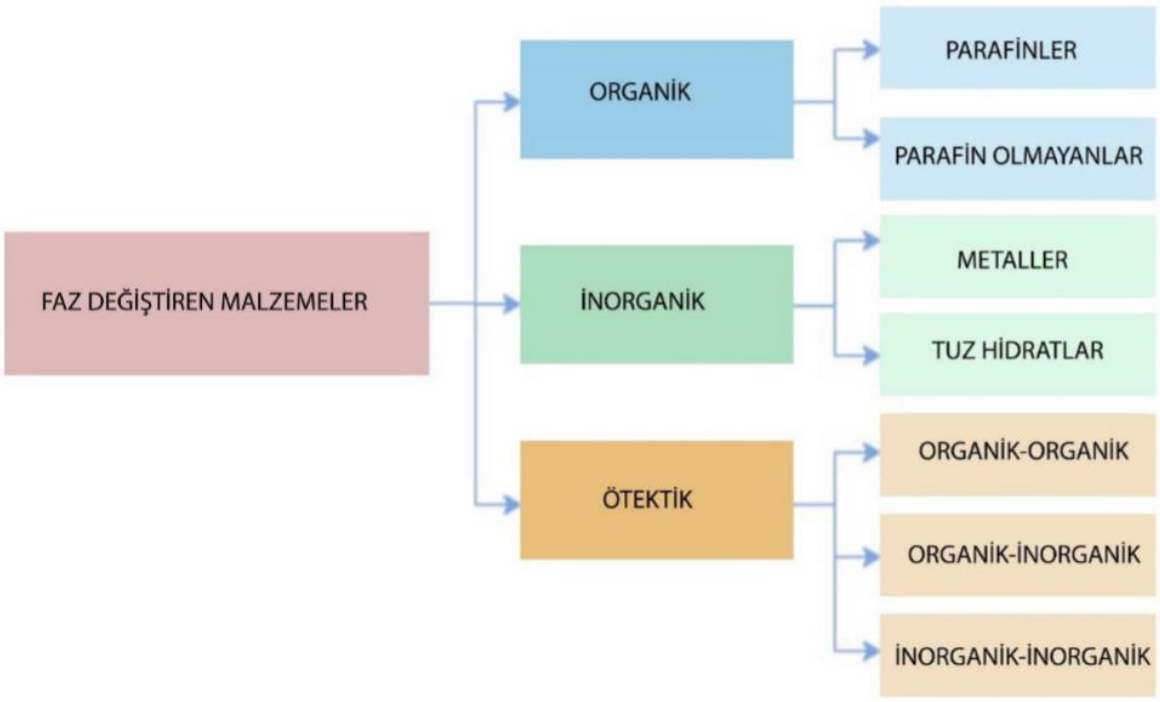
FDM'ler sistemlerde aktif veya pasif olarak uygulanabilmektedir. Aktif sistemde faz değiştiren malzemenin bünyesinde depoladığı enerjinin şarj edilmesi veya boşaltılması mekanik ekipmanlar yardımıyla gerçekleştirilir. Güneşten alınan enerji, bir ısı değişim cihazı ile FDM'nin bulunduğu gizli ısı depolama tankı içinde tutulur ve ısı pompası yardımıyla enerjinin derecesi yükseltilerek ısı depolama cihazına, sonra da ısı değişim cihazı ile ısıtma ya da havalandırma sistemine aktarılır (Şekil 2.35). Pasif sistemde ise FDM'ler binalarda beton, alçı plaka, sıva gibi yapı malzemelerinde kullanılarak, sıcaklık

değişimi ile erime-katılaşma döngüsünde enerjinin bünyesinde depolanıp serbest bırakılır [109],[110].



Şekil 2.35 Faz değiştiren malzemenin ısı depolaması ve ısı salınımı [109], [110].

Faz değiştiren malzemeler organik malzemeler, inorganik malzemeler ve ötektikler olmak üzere 3 başlık altında incelenmektedir [111]. Organik FDM'ler; parafin bileşikleri ve parafin olmayan bileşiklerden oluşur. İnorganik FDM'ler; metaller ve tuz hidratlarından oluşur. Ötektikler ise kendi içinde; organik-organik, organik-inorganik, inorganik-inorganik olmak üzere üç gruba ayrılır (Şekil 2.36) [112].



Şekil 2.36 FDM'lerin kimyasal özelliklerine göre sınıflandırılması [112]

Organik faz değiştiren malzemeler

Organik faz değiştiren malzemeler uzun vadede ısıl kararlılığa sahiptir ve katı fazdayken kristalleşme özelliği gösterir [113]. Organik malzemeler parafin ve parafin içermeyen organik malzemeler olarak ikiye ayrılırlar.

Kokusuz ve renksiz olan parafin, CnH (2n+2) formülünde petrollerin asil bir bileşiğidir ve doymuş karbon zincirinden oluşur. Zincirin uzunluğu ile ısı enerjisi depolama kapasitesi doğru orantılıdır. Bir parafinik moleküldeki karbon atom sayısı 13 ile 28 arasında olduğunda o FDM 'nin erime sıcaklığı -5 ile 60 °C arasında değişir ve bu sıcaklık aralığı, iklim açısından dünyanın çoğu yerinde kullanıma uygun bir özellik olarak tanımlanır [114]. Parafinlerin gözenekli yapıdan dışarı akması, yapılan araştırmaları kapsüllü kullanıma yöneltmiş olup bu kullanımın yaygınlaşmasıyla sızıntı sorunu önlenmeye çalışılmıştır [115]. Mikrokapsülleme, küçük katı veya sıvı parçalarının polimer ya da sıvı yüzey yapıcı membranlarla sarılmasına olanak tanır. Kullanılan mikrokapsüller, sıvı materyallerin katı bir şekilde kullanılmalarını sağlayıp, faz değişimi sırasında gerçekleşecek hacim değişimine izin verir [116]. Polimer mikrokapsüllenmiş

bir parafin mumu esaslı FDM'nin, yapılarda sıva, dolgu, levha, cam vb. malzemelere uygulanarak akıllı cephelerdeki kullanımı geliştirilmiştir [117].

Parafin olmayan türlerine ise yağ asitleri örnek olarak verilebilir. Kimyasal formülleri, CH3(CH2)2nCOOH 'tır. Yüksek enerji depolama kapasiteleri parafinlere göre daha fazladır. Düşük ısı iletkenliği, aşırı soğuma göstermeme ve yanmazlık özellikleri mevcuttur. Yağ asitlerinin de parafinlerde olduğu gibi gözeneklerden akabilme riskine karşın kapsüllü kullanımları yaygındır [118].

İnorganik faz değiştiren malzemeler

İnorganik faz değiştiren maddeler organik maddelere göre birim hacimde iki kat daha fazla depolama kapasitesine sahiptir [119], [120]. Ayrıca yüksek sayıdaki erime/donma süreçlerinden sonra dahi erime ısısını (350 MJ/m3) koruyabilmektedirler [121]. Tuz hidratlar, enerji depolama sistemlerinde en çok kullanılan ve araştırılan inorganik malzemedir [122].

Tuz hidratları, su ve tuzun belli oranlarda karıştırılmasıyla oluşan malzemelerdir. Bu malzemeler, yüksek füzyon ısısı ve uygun faz değişim sıcaklık aralığına sahiptir. Yüksek sıcaklıklarda (120 –1400 °C) ısı depolamak için kullanılabilirler. Tablo 2.1'de en sık kullanılan tuz hidratların bazı özellikleri verilmiştir [123]. Maliyetlerinin düşük olması ve kolay temin edilmesi bu malzemelerin tercih edilebilirliğini artırmaktadır. Ayrıca diğer ısı depolayan maddeler ile karşılaştırıldıklarında keskin bir erime noktasına ve yüksek ısıl iletkenliğe sahiptirler. Fakat donma noktalarında kristallenmeye başlamadıkları için aşırı soğuma davranışı gösterebilirler [123].

Tablo 2.1 Enerji depolamada en sık kullanılan tuz hidratlar [123]

Tuz Hidratlar	Erime Noktası	Yoğunluk (kg/m^3)	Erime Isısı (J/g)
$Na_2SO_4.10H_2O$	31,6 °C	1460,0	252,16
$Na_2CO_4.10H_2O$	32-36 °C	1440,0	248,48
$CaCl_2.6H_2O$	27-32 °C	1710,0	187,49
$Na_2HPO_4.12H_2O$	36,0 °C	1520,0	274,22

Ötektik faz değiştiren malzemeler

Ötektik karışımlar organik ve inorganik maddeler kullanılarak hazırlanabilen malzemelerdir. En az iki atom veya molekülün birleşimi ile elde edilir. Oluşturulan ötektik karışımlar saf madde gibi sabit bir erime ve donma noktasına sahip olurlar. Sabit sıcaklıkta katılaşırken reaksiyon göstererek malzemenin sıvı hali, iki ayrı katı faza dönüşür. Kesin ve net erime noktasına sahiptir ve özellikleri isteğe bağlı olarak değiştirilebilir [124]. Ötektik bileşimdeki bir karışım saf bir FDM'nin sahip olduğu ısıl özelliklere oldukça benzer bir davranış gösterir. Bu özelliğinden dolayı ötektik karışımlar termal enerji depolama uygulamaları için uygundur. Çok sayıda inorganik ve organik karışımların ötektikleri literatürde bulunmaktadır [125].

Cephelerde kullanılan akıllı malzemeler, çevresel uyaranlara verdikleri tepkiler çerçevesinde sınıflandırılmaktadır. Bu malzemelerin akıllı özellikleri, cephelerin performans davranışlarını geliştirmek ve çeşitli durumlar karşısındaki beklentileri karşılamak amacıyla kullanılmaktadır. Akıllı malzemelerin avantajları, dezavantajları, performans ölçütleri ve bu ölçütler kapsamında oluşabilecek sorunları değerlendirebilmek için, birtakım faktörlerin tanımlanması ve incelenmesi faydalı olacaktır. Bu kapsamda, çalışmanın devamında akıllı malzemelerin çevresel faktörler doğrultusunda performans ölçütleri ele alınacaktır.

3

AKILLI MALZEMELER KULLANILARAK OLUŞTURULAN CEPHELERİN PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ

19. yüzyılın başları itibari ile ülkelerin kalkınma çabası ve insanların bilinçsiz tüketimleri sonucu, yenilenemez enerji kaynaklarının kontrolsüzce kullanılmasıyla ciddi çevresel sorunlar ve ekolojik dengesizlikler ortaya çıkmıştır. Bu durum, çevresel, sosyal ve ekonomik olarak birçok soruna yol açmış ve yeni çözüm modelleri uygulanmaya başlanmıştır. Yapı sektörü bu kötü gidişatın büyük ve etkili sorumlularından biri olarak görülmektedir. Böylelikle, yeni yapım teknolojileri benimsenerek akıllı malzemelerden ya da akıllı sistemlerden oluşan bir yapılaşmaya gereksinim duyulmuştur. Binayı dış ortamdan ayıran tabaka olarak nitelendirilen yapı cephelerinde, söz konusu malzeme ve sistemlerin kullanımı bilinçsiz enerji tüketimini engellemede rol oynamaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak veya az enerji ile çok verim sağlayarak sürdürülebilir özellikler katılan akıllı cepheler, yapıya sürdürülebilirlik ve kullanıcı konforu kapsamında birçok avantaj sağlamaktadır. Fakat söz konusu avantajlara sahip olan bu malzemelerin beraberinde getirdiği bazı olumsuz durumlar da bulunmaktadır. Bu durum fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerden kaynaklı olan veya uygulama sırasında oluşan birtakım sorunlara neden olmakta ve yapı hasarlarına yol açmaktadır. Mevcut değerlendirmelerden yola çıkılarak, akıllı malzemelerin kullanımında dikkat edilecek birtakım ölçütler bulunduğu ve bu ölçütlerin malzeme özellikleri dikkate alınarak oluşturulması gerektiği söylenebilir. Bu kapsamda akıllı cephe malzemelerinin çevresel uyaranların etkisindeki performans ölçütleri değerlendirilmelidir. Bu değerlendirme, malzeme özelliklerinden kaynaklı veya yapım, kullanım süreci ölçütleri çerçevesinde yapılabilir.

3.1 Malzeme Kaynaklı Ölçütler ve Kullanıcı Üzerindeki Etkileri

Malzeme kaynaklı ölçütler ve bunların kullanıcı üzerindeki etkileri teknik performans ölçütleri, yapı fiziği ölçütleri, sürdürülebilirlik ve diğer ölçütler olmak üzere dört başlıkta incelenecektir.

3.1.1 Teknik Performans Ölçütleri

Akıllı malzemeler kullanılarak oluşturulan cephelerin malzeme kaynaklı teknik performans ölçütleri; durabilite, mekanik etkiler, yangın dayanımı, yüzey bakımları ve temizlik olarak değerlendirilmektedir.

3.1.1.1 Durabilite (Sağlamlık/ Mukavemet/ Dayanım) Ölçütü

Durabilite, malzemelerin çevresel etkiler karşısında yeterli mukavemete sahip olması ve böylelikle beklenilen performansları sürdürerek uzun ömürlü olması demektir [126]. Cephe elemanı olarak ele alındığında durabilite; malzemenin belirli bir süre içinde yaşam döngüsünü devam ettirmesiyle birlikte, yapı bileşenlerinde ortaya çıkan cephe sistemlerinin de aynı biçimde mukavemetli olması ve yeterli performansı gösterebilmesidir [126].

Her malzeme, bulunduğu çevre koşullarına bağlı olarak bir ömre sahiptir. Bu ömür, teknolojik gelişmelerle birlikte malzemeye birtakım katkılar yaparak uzatılabilir. Fakat durabiliteyi tek başına artırmak zordur. Bu nedenle farklı bileşenlerden oluşan her sistemin durabilite özelliği, içerdiği tüm bileşenlerin durabilite değerinin arttırılmasıyla artacaktır [127].

Cephe dayanımı, cephenin dışardan gelen doğal veya doğal olmayan dış etkilerle doğrudan bağlantılıdır. Cepheler, başta kendi yükü olmak üzere rüzgâr, yağmur, kar, sıcaklık değişimi gibi atmosferik etkilere, sel, deprem gibi doğal afetlere dayanmak durumundadır. Ayrıca yangın, çarpmalar, darbeler, kötü kullanım gibi insan kaynaklı etkilere karşı da dayanıklı olmaları beklenir. Cephenin kendi malzemesini oluşturan ölü yükün miktarında; kullanılan malzeme ve bileşenlerin birim ağırlığı ve boyutları etkilidir. Deprem ve rüzgâr yükleri de yapının konumu, yüksekliği, cephe yapım sistemine bağlı olarak göz önünde bulundurulması gereken unsurlardandır [126]. Bu nedenle cephenin karşılaması gereken tüm yükler hesaba katılarak değerlendirme yapılmalıdır. Ayrıca birleşim detaylarının doğru oluşturulması, cephenin sistemsel şekilde yeterince performans gösterebilmesi için oldukça önemlidir.

Akıllı malzemelerin cephelerde kullanılmasında durabilite performansı değerlendirilirken hava koşulları, bileşenlerin uyumu, taşıyıcı sistem mukavemeti ve cephedeki yüklerin etkisi göz önünde bulundurulmalıdır. Söz konusu akıllı malzemelerin

belirtilen etkenlere maruz kalmasıyla, kopma, aşınma, birleşim noktalarında mukavemet kaybı, bağlantılarda zayıflama, farklı türden malzemelerin birlikte kullanılmasıyla ortaya çıkabilecek genleşme ve kırılma sorunları ortaya çıkabilmektedir.

3.1.1.2 Mekanik Etkiler

Mekanik özellikler, yapı malzemelerinin çevresel kuvvetlerin etkisinde, gösterdiği şekil değişiklikleri ile malzemenin dayanma gücünü belirten özelliklerdir [128]. Bir yapının maruz kaldığı kuvvet ve yüklere güvenli bir şekilde karşı koyması malzemenin mekanik özellikleri sayesinde mümkün olmaktadır [129]. Mekanik özelliklerin kaynağı atomlar arasındaki bağdır fakat malzemenin iç özellikleri ve dış çevre koşulları da bu özellikleri büyük ölçüde etkilemektedir [129].

Yapılarda meydana gelen mekanik deformasyonlar; yapının maruz olduğu kuvvetler ve bu kuvvetlere bağlı olarak oluşan gerilmelerden dolayı meydana gelmektedir [130]. Binalarda karşılaşılan belli başlı deformasyon halleri aşağıdaki gibidir:

- Basınç ve Çekme
- Kayma (Makaslama)
- Burulma Dayanımı
- Sertlik ve Aşınma

Cephelerde kullanılan akıllı malzemeler; basınç, çekme, kayma, burulma, sertlik ve aşınma gibi etkenler nedeniyle birtakım dayanımsal bozulmalara maruz kalabilmektedir. Dayanımsal bozulma, yapı cephesinin elemanlarında ve/ veya bileşenlerinde oluşan deformasyon sonucu, cephenin statik dengesini kaybetmesi olarak tanımlanabilir [131]. Bu kapsamda akıllı cephelerde meydana gelen aşınma, rötre, gerilmelerden dolayı oluşan bozulmalar, şekil değişiklikleri gibi etkiler düşey elemanlara etki eden mekanik etkiler olarak sayılabilirler [132].

3.1.1.3 Yangın Dayanımı

Yanma olayı, yanıcı madde ve oksijenin belirli bir sıcaklıkta bir araya gelmesiyle ortaya çıkan kimyasal bir reaksiyondur [133]. Bu reaksiyon, malzemeler üzerinde fiziksel ve kimyasal değişikliklere yol açabilmektedir. Fiziksel değişiklikler, malzemede oluşan

ısısal deformasyon ve erimedir. Kimyasal değişimler ise malzeme türüne göre değişiklik göstermektedir. Bu durumda malzemelerin ısı tutma yeteneği, iletkenlik, genleşme vb. fiziksel nitelikleri etkilidir. Çünkü ısıl iletkenlik katsayısı fazla olan malzemelerde ısınma ve deformasyon etkisi fazladır.

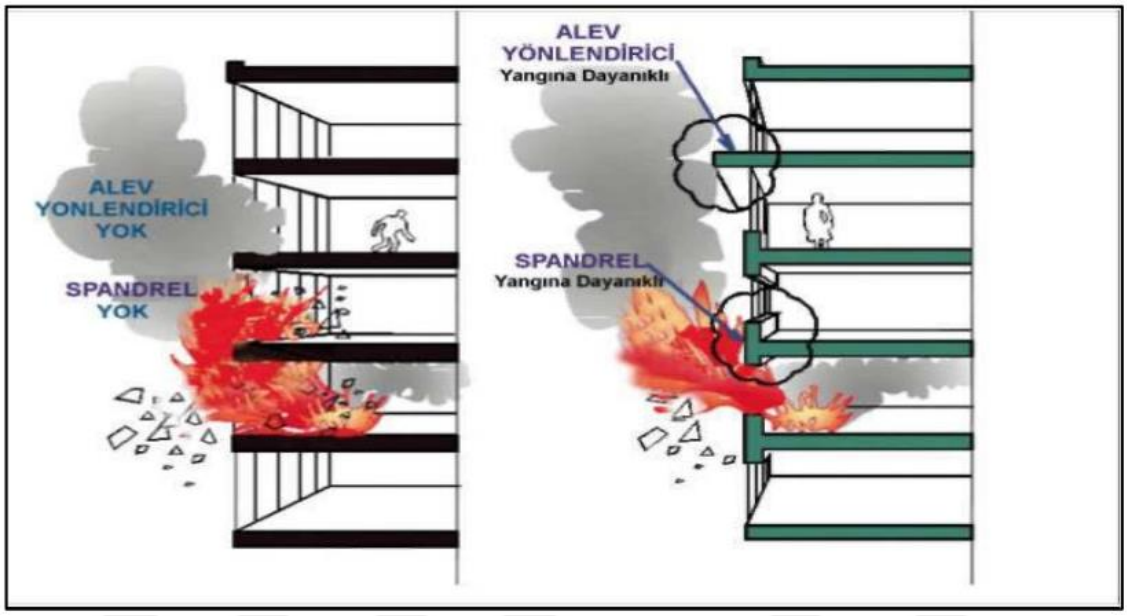
Malzemelerin yangın sırasındaki gerçek davranışı, yapıda kullanıldığı yere göre değişkenlik gösterir. Bu nedenle, can ve mal kayıplarının meydana gelmemesi için malzemelerin kullanıldıkları alana uygun olarak seçilmesi önemlidir. TS 1263 ve TS 4065 standartlarında malzemelerin yanma sınıfları verilmiştir. A sınıfında yanmayan malzemeler, B sınıfında ise yanıcı malzemeler bulunmaktadır [134]. Cephelerde yanmaz veya yanma süresi uzun malzemelerin kullanılması yapının yangın dayanımını arttırır ve kullanıcıların yapıdan tahliye edilebilmesi için zaman kazandırır. Şekil 3.1'de Dubai Tamweel Tower yangınında cephede kullanılan malzemelerin alevlendiği görülmektedir.



Şekil 3.1 Dubai Tamweel Tower yangını - 2012 [135]

Cam yünü, taş yünü, mineral yünler gibi yanmaz malzemelerin (A1 sınıfı) kullanılması, yangın ve duman yayılımını engelleyip kısıtlarken, kullanıcıların yangın yayılım hızına karşı binadan tahliyesini kolaylaştırmaktadır. Yangın direnimli malzemelere, bazı nano özellikler kazandırılarak elde edilen yeni akıllı malzemelerin de yangına karşı dirençli olmaları beklenmektedir. Bu duruma ek olarak akıllı cephelerde kullanılan cam giydirme cephe elemanlarının yangından korunmasında önemli noktalardan biri; cam ve çerçeve elemanlarının ısıya, aleve ve dumana karşı dayanıklılık göstermesidir [136]. Bu noktada, malzemelerin yanıcılık özelliklerinin yanı sıra sistemlerin doğru uygulanması da

önemlidir. Giydirme cephelerin çoğunda yapı ile kaplama arasında boşluklar bulunur ve bu boşluklar yangın esnasında bir baca görevi görerek alevlerin ve dumanın diğer katlara sızmasına neden olmaktadır. Bu durumda, yapı ile giydirme cephe arasındaki boşluk yanmaz ve hava geçirmez malzemeler ile kapatılarak önlem alınmalıdır. Giydirme cephe olmayan yapılarda ise yangının diğer katlara sıçramasını önlemek için alev yönlendirici ve yangına dayanıklı spandreller kullanılmalıdır (Şekil 3.2) [135].



Şekil 3.2 Alevlerin cephede spandrel uygulaması varken ve yokken yayılışı [135]

Akıllı cephe kaplama malzemeleri, enerji üretimi ve sürdürülebilirlik yönünden yüksek performanslı olsa da yapılarda yangını tetikleyen ek unsur görevi görebilmektedir. Her bir akıllı malzemenin kendine özel potansiyel yangın riskleri bulunmaktadır. Örneğin metal esaslı akıllı cephe malzemelerinin bir kısmı yandığında D sınıfı yangın oluşturmaktadır ve D sınıfı yangınlar; su ve kimyasal tozlu karbondioksitli söndürücülerle zararlı tepkimeler verdiği için bir noktada müdahaleye izin vermeyebilir [137]. Akıllı camlar ele alındığında, yangın sonucu oluşan en büyük tehlikelerden biri patlama riskidir. Elektrik üreten akıllı malzemelerde ise kısa devre, yüksek voltaj veya dış ortamdan gelen tutuşturucu kaynaklardan oluşan alevlenmeler, malzemedeki bozulmaların yanı sıra bağlantı elemanlarının dayanımını kaybetmesi ya da erimesi sonucunda malzemenin düşmesi gibi riskler oluşturabilir [138].

3.1.1.4 Yüzey Bakımları ve Temizlik

Çevre kirliliği, gelişen teknoloji ve artan nüfus ile birlikte her geçen gün artış göstermektedir. Bina cepheleri de bu çevre kirliliğinden en çok etkilenen yapı elemanlarıdır. Cephedeki kirler, havada uçuşan kirleticilerin yüzeylere yapışması sonucu oluşur. Tüm cephe sistemleri için önemli olan temizlik sorunu, öncelikle kirlenmeyen ya da zor kirlenen, sonra ise homojen kirlenebilen cephe oluşturma olarak çözülmeye çalışılmaktadır. Bu nedenle dış cephe tasarımında kullanılacak yapı elemanlarının kir tutmayan ve kolay temizlenebilen malzemelerden seçilmesi cephe temizliği için zaman ve maliyet avantajı sağlamaktadır [139].

Yapı cephelerinin kirlenmesinde rüzgâr faktörünün etkisi büyüktür. Rüzgâr, kirleticilerin taşınmasını ve yüzeylere tutunmasını hızlandırmaktadır. Buna bağlı olarak cephelerin kirlenmesi, rüzgâr faktöründen etkilenim biçimi, yapının konumu ve çevresel unsurlara göre değişim gösterebilir. Etkin rüzgâr yönüne paralel olan cepheler daha az kirlenmekte, ancak bu taraftaki cephelerde uygulanan girinti ve çıkıntılar toz tutmaktadır. Etkin rüzgâr yönüne dik olan cepheler ise her durumda paralel olanlara göre daha fazla kirlenmektedir. Cephelerde çıkıntıların üstünde biriken toz ve kirler, yağmur suyu ile birleşerek cepheyi daha çok kirletmektedir. Cephe tasarımında gerekmedikçe girinti ve çıkıntılardan kaçınarak, yapının dengeli olarak kirlenmesi ve yağmur suyunun temizleme etkisinden faydalanılması mümkün olabilmektedir [140].

Kirleticiler, pürüzlü ve dokulu yüzeylere daha kolay tutunmaktadır. Bu nedenle kirleticilerin kolaylıkla tutunamayacağı pürüzsüz yüzeye sahip olan malzemeler kirleticilerden daha az etkilenmektedir. Alüminyum kaplama malzemesi, pürüzsüz bir yüzeye sahip olduğundan cephe kaplamaları için faydalı çözümlerden biri olarak gösterilmektedir [141]. Seramik ve porselen esaslı dış cephe elemanları da kirleticilere karşı dirençlidir. Bunun aksine, kompozit, beton ve cam içeren cephe sistemleri çabuk kirlenmekte buna bağlı olarak yapıda; ısı, ışık ve görüntü sorunları oluşmaktadır [139]. Bu doğrultuda cephe temizliği, kullanıcı konforu ve cephe ömrü için özellikle akıllı cam cephelerde çok önemlidir. Geçirgenliği değişebilir akıllı camlarda kirleticiler camın özelliğini bozabilir ve yanıltıcı ışık geçirgenliklerine sebep olabilir. Bunların yanı sıra toz ve kirler derzlere veya birleşim noktalarına dolup cepheye zarar verebilir.

3.1.2 Yapı Fiziği Ölçütleri

Yapı fiziği ölçütleri; yapıyı fiziksel olarak etkileyen ısıl, su ve nem, yoğuşma, güneş kontrolü ve akustik ölçütleri kapsar. Malzeme kaynaklı olan bu ölçütler yapılarda belirli etkilerde bulunur ve bu etkiler de kullanıcı açısından olumlu ve olumsuz bazı sonuçlar yaratmaktadır. Bu nedenle yapı fiziği ölçütleri de akıllı malzeme kullanılarak oluşturulan cephelerde dikkatle ele alınmalıdır.

3.1.2.1 Isıl Ölçütler

Isıl enerjiye maruz kalan malzemelerin iç enerjisi artar ve sıcaklığı yükselir. Absorbe edilen ısıl enerjinin miktarı, iletim hızı ve boyutlardaki değişimler malzemenin cinsine, iç yapısına ve çevresel etkenlere dayalı birer ısıl özelliktir [13].

Yapı cephelerinin ana fonksiyonlarından biri, bulundukları yeri dış sıcaklık değişim koşullarından izole etmektir. Bu fonksiyonu yerine getirmedeki en önemli yapısal faktör ise; bulundukları yeri herhangi bir ısıl yalıtım olmasa dahi çevreleyen, doğru yapı kabuğudur [142]. Çünkü yapı kabuğu, içten dışa veya dıştan içe doğru olan ısı transferine karşı bir direnç göstermektedir. Dış ortamdaki ısı yapıya; iletim, ışıma ve yer değiştirme yoluyla girebilir veya yapı içindeki ısı da aynı yollarla dış ortama salınabilir [142]. Maddeyi oluşturan taneciklerin birbirine çarpması sonucu ortaya çıkan ısı transferi, iletim yoluyla ısı transferidir. En çok katı maddelerde oluşan iletim yoluyla ısı transferi cephelerdeki yapı elemanlarının uygun olmayan şekillerde kullanılmasıyla artar. Işıma yoluyla ısı transferinde iletimin tam aksine temas yoktur, ısı tanecikler olmadan ışınlarla yayılır. Bu duruma izin veren ve düzensiz ısı yayılımına sebep olan en önemli yapı malzemesi ise camlardır. Yer değiştirme ile ısı transferi ise hava akımı ile taneciklerin yer değiştirmesi sonucu oluşur. Bu kapsamda yapılardaki ısıl denge; ısı geçişine izin veren yanlış cephe elemanlarının kullanılması, Güneş ışınlarının kontrolsüz bir şekilde yapıda aşırı ısınma sorunlarına yol açması ve düzensiz hava geçirimliliği veya ışınım yoluyla enerji kazancı/kaybı sebeplerinden bozulabilmektedir [13].

Yapı kabuğunun ısıl direnci, yapı kabuğunda kullanılan gereçlerin kalınlıklarına ve ısı iletkenlik katsayılarına bağlıdır. Kalınlıkları fazla ve ısı iletkenlik katsayıları düşük olan öğelerin ısısal dirençleri yüksektir ve iletim yolu ile ısı transferini zorlaştırır [142]. Yapı malzemelerinin ısı iletim katsayısı ise, malzemelerin gözeneklilik durumu ile ilgilidir.

Gözenekler içindeki havanın ısı iletim katsayısının çok küçük olmasından ötürü, gözenekli malzemelerin ısı yalıtım etkinliği fazladır [143].

Isıl konforu etkileyen önemli faktörlerden bir diğeri ışınım yoluyla ısıl kazanç ve kayıplara ortam hazırlayan saydam yüzey oranlarıdır. Saydam yüzeylerde kullanılan malzemelerin termo-fiziksel özellikleri, yapının ısıl dengesini etkilemektedir. Bu özellikler ısı transfer miktarını ve hızını belirler [144]. Binalardaki saydam yüzeylerden en önemlisi cam cephelerdir. Camların ısıl performans açısından değerlendirilebilmesi için ise ısıl iletim katsayısı, ısıl kazanım katsayısı ve Güneş ışığının yeterli olması şeklinde üç genel kriter göz önünde bulundurulmalıdır [145].

Yer değiştirme yoluyla ısı transferi ve buna bağlı olarak yapılarda hava geçişinin belirlenmesi, yapının ısısal konforu ve enerji kullanımı açısından oldukça önemlidir. Yapılarda hava geçişine neden olan tüm boşluklar enerji kaybına ortam hazırlar. Hava geçirimliliğinden doğan sorunların en çok gözlendiği malzemeler camlardır. Cephe yüzeyleri rüzgâr ve yağmur etkisi altındayken, farklı basınçlar nedeniyle yağmur suyu içeri doğru ilerleyecek ve açıklık oluşan kısımlardan içeri girmeye çalışacaktır. Bu nedenle sistemin bütün olarak sızdırmaz hale getirilmesi önem taşımaktadır [146].

Isıl denge ile ilgili sorunlar konforsuz ortam şartlarına zemin hazırlamaktadır. EN ISO 7730 standardında ısıl konfor "Isıl olarak memnuniyet verici ortam koşullarının hazırlanması" olarak tanımlanmıştır. Konfor koşullarının yanı sıra yapıda sıcaklık farklarına bağlı olarak ortaya çıkan büzülmeler ve genleşmeler, malzemede yorulmaya neden olabilmektedir [146]. Isıl denge sorunları ayrıca, ısısal deformasyonlar sonucu malzemelerin kısa zamanda tahrip olmasına yol açmaktadır. Saydam yüzeyler oluşturmak adına kullanılan akıllı camlar, kalınlıkları ve modül boyutlarının standart dışı olasından dolayı ısıl konforsuzluklara yol açabilirler. Aynı zamanda metal veya metal altyapılı akıllı cephe sistemleri de yüksek ısıl iletkenliklerinden dolayı ısı köprüleri oluşturabilir ve ısısal konforu olumsuz yönde etkileyebilir. Diğer opak bileşenlerde ise akıllı malzemenin türü, kalınlığı, işlevine göre oluşturulan hatalı detaylar yoğuşmaya ve yapı içi niteliksiz hava oluşumuna neden olabilmektedir. Konfor koşullarının yanı sıra yapıda sıcaklık farklarına bağlı olarak ortaya çıkan büzülmeler ve genleşmeler, malzemede yorulmaya neden olabilmektedir [146]. Bu tür ısısal sorunların önüne geçmek amacıyla, cephelerde kullanılan malzemelerin ısıl genleşme katsayıları tespit edilerek ortam sıcaklığına uygun olup olmaması değerlendirilmelidir. Aynı zamanda, seçilen yalıtım malzemesinde

yoğuşma ve mekanik deformasyonlara karşı mukavemet de göz önünde bulundurulmalıdır.

3.1.2.2 Su ve Nem Ölçütü

Bütün yapı malzemeleri su ile karşılaştıklarında teknik özellikleri nedeniyle sudan etkilenir. Malzemelerin su geçirimi, gözenekliliğe, taneli malzemelerde de tane çapı ve düzenine göre değişim gösterir [13]. Cephe sistemleri, fazla sayıda değişik türden malzemelerin birleşiminden oluşmaktadır. Bu nedenle, yapı cephelerini oluşturan kaplama malzemeleri ve bu malzemeleri destekleyen tüm elemanlar su ve sıvı kaynaklı sızıntıların önüne geçmek için çevresel etkilere karşı beraber hareket etmeli, su sızdırmayan özellikte tasarlanmalı ve uygulanmalıdır [136]. Sızdırmazlık bölgelerinde detayların zayıflığı ve yanlış uygulamalar önemli sorunlara yol açabilir. Cephe malzemesi seçiminde su ve neme karşı dayanıklı malzemeler seçilse bile, farklı malzemelerin bir arada kullanılması kimyasal reaksiyonlara ortam hazırlayarak korozyona yol açabilir. Korozyon durumu dışında, harç ve sıva bağlantılarında zayıflama, yalıtıcı malzemelerin ıslanması ile yalıtım değerinde zayıflama, duvar boşluklarında zehirli gazların birikmesi ile sağlıksız ortamlar oluşması ve strüktürel zayıflamalar gibi birçok sorunu da beraberinde getirebilir [147].

Cephede kullanılan malzemelerin yeterli özellikte olmaması, sistemin doğal ya da mekanik havalandırmaya olanak tanımaması ve diğer yapı elemanlarıyla bağlantı sorunu gözlenmesi su ve nem etkisiyle oluşan yapı hasarlarına neden olabilmektedir. Suyun yapı içine nüfuz etmeye başlaması ve zarar vermesi; kılcal hareket ve cephenin drenaj sistemi ile gerçekleşir. Bunun sonucunda, bağlantı elemanlarında korozyon, dış cephe elemanlarında ve iç mekân bitişlerinde hasarlar, küf ve bakteri oluşumu gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bunların yanı sıra malzemelerin yağmur suyuna maruz kalması şişme ve genleşmeye, buna karşılık malzeme içindeki su oranının azalması ise büzülme ve rötre oluşumuna yol açar. Bu olayların meydana gelmesiyle gerilmeler ve iç kuvvetler ortaya çıkabilir [128]. Giydirme cephelerde ise su ve nem faktörü daha çok sızıntı şeklinde meydana gelmektedir.

3.1.2.3 Yoğuşma

Yoğuşma, basınç değişimi dolayısıyla, malzemeler arasında ortaya çıkan buharın suya dönüşmesi olayıdır. Yoğuşma ve terleme; malzemede fiziksel ve kimyasal bozulmalara zemin hazırlayarak elemanları korozyona uğratmakta, cephe katmanları içindeki ısı yalıtım malzemesinin değerini düşürmekte, yüzeysel çiçeklenmelere ve kaplama malzemelerinin dökülüp zarar görmesine neden olmaktadır [148]. Bu nedenle cepheler, yoğuşmaya karşı dirençli olacak şekilde tasarlanmalıdır. Cam veya alüminyum yüzeyler üzerinde buharın ısı kaybetmesi sonucu sıvı hale geçiş olayı gözlemlenir.

Cephelerde cam esaslı akıllı malzemeler, üzerindeki nanofilm kaplamalar veya kimyasal katkılardan dolayı özellikleri değiştirildiğinden ısı ve basınç farklarından kaynaklanan hal değişimlerine daha duyarlı olabilmektedir. Aynı şekilde, birlikte kullanıldıkları bağlantı ve sistem elemanları ile farklı ısıl iletkenlik katsayılarına sahip oldukları için, yoğuşma gözlemlenebilir. Bu gibi durumlar, akıllı malzemelerde ve bileşenlerinde bozulmalara, şekil değişimlerine, su, nem geçirimliliğine ve elemanlarda yatay, düşey hareketlere neden olabilmektedir [149].

Hem ısı yalıtımı üstünde hem de saydam yüzeylerde oluşacak yoğuşmanın denetlenebilmesi için; gerekli havalandırmayı sağlamak, yoğuşma suyunun drenajını sağlamak, buhar kesici malzemeleri cephenin sıcak tarafında tutmak ve giydirme cephelerde ısıl alışverişi engelleyecek profil malzemeleri kullanmak önem taşımaktadır [148].

3.1.2.4 Güneş Kontrolü

Güneş kontrolü, cephelerde enerji verimliliği açısından önemlidir. Güneş ışınları dış cephe elemanlarına hem ışıma ile hem de ısıl enerji olarak etki etmektedir. Işıma ile etkide, dış cephe malzemelerinin ışık geçirgenliği oldukça önemlidir. Opak malzemeler ışık dalgalarını kısmen yansıtan ve kısmen emen ışık geçirmez malzemelerdir. Saydam malzemeler ise güneş ışığını büyük oranda geçirirken, bir kısmını absorbe ederler. Cephenin vazgeçilmez saydam malzemesi olan camlar, ışık geçirgenliğine izin vererek Güneş kontrolü sağlamada etkilidir [150].

Camın ışık geçirgenliğinde istenen değerler iklim ve çevre koşullarına göre değişkenlik göstermektedir. Güneş ışınlarının yatay olarak geldiği ve bulutlu gökyüzünün etkin olduğu bölgelerde cam yüzeylerin olabildiğince fazla ışık geçirmesi istenirken, tam tersi

çevre koşullarının gözlemlendiği bölgelerde fazla parlamalardan kaçınmak amacıyla cam yüzeylerin ışık geçiriminin daha düşük olması istenebilmektedir. Şekil 3.3'te iklim şartlarına göre cam yüzlerinde low-e film kaplama şekilleri gösterilmiştir. Camların ışık geçirgenliği ile enerji geçirgenliği birbiriyle aynı durumlar değildir. Işık geçirgenliği, Güneş'in görünür ışınlarının geçişini ifade ederken; enerji geçirimliliği, güneşe ait bütün ışınların geçme oranını belirtir [150]. Düz şekilde bir pencere camından %90 civarı oranda doğrudan radyasyon geçmektedir [151]. Geleneksel pencere camları ile Güneş ışığı hacmin belirli derinliklerine kadar alınabilirken, yeni teknolojiler ile oluşturulmuş kaplamalı camlarda ışığın yönelimi ve yayılımı kontrol edilerek, günışığından daha fazla yararlanılması mümkündür [19]. Fakat Güneş ışığı kontrolü yapılarak fazla ışıma engellense de bunun sonucunda gün boyu yapay aydınlatmaya ihtiyaç duyulması ve doğal aydınlatmadan faydalanamayan kullanıcıların psikolojik olarak olumsuz etkilenmesi gibi olumsuz durumlarla da karşılaşılabilir (Şekil 3.4).



Şekil 3.3 İklim şartlarına göre çift cam yüzlerinde low-e film kaplama yeri [152]



Şekil 3.4 Film kaplamalı cam uygulanmış ortamda iç mekân aydınlatma durumu [152]

Cephe yüzeyine düşen güneş ışınımı, yüzey elemanlarının sıcaklığında değişikliğe sebep olur. Cephelerde Güneş ışıması ile alakalı önemli konulardan biri cephe elemanlarında oluşan ısıl büzülme ve genleşmelerdir. Bu tür etkiler daha çok dış yüzeylerde ve cam gibi saydam elemanlarda görülür. Camdaki bozulmalar, sızdırmaz ünitelerdeki boşluklarda bulunan havanın ısınıp soğumasıyla, iç ve dış yüzeylere ait sıcaklıkların farklı olmasından kaynaklanır. Güneş ışığı kaynaklı ısıl gerilim sorunları, dış cephede genellikle cam yüzeylerin kesikli güneş ışınlarının etkisi altında olması ve dolayısıyla farklı değerdeki ısıl enerjilerin emilmesi sonucunda oluşmaktadır. Söz konusu sorunlar, bölgenin aldığı Güneş ışınlarının şiddeti, gece ve gündüz arasındaki farklı sıcaklık değerleri, cam üzerine düşen gölgelerin sürekli olması, cam renginin koyuluğu, parapet boşluklarının geniş olması, havalandırma ve ısıtma sistemi gibi unsurlardan dolayı artmaktadır [147].

Cephe tasarımı yapılırken kullanılan malzemelerin ışık geçirgenlikleri ve bu geçirgenlikten doğan kamaşma kontrolleri iyi değerlendirilmeli, genleşme katsayıları ve iklim koşulları göz önüne alınmalı, belirli açıklıklarda ısıl genleşme derzleri bırakılmalı, uygulamada bu derzler şekil değiştirme yeteneği yüksek olan elastik malzemeler ile kapatılmalıdır. Cephe sistemlerinde genleşme katsayıları çok farklı malzemeler (metal, cam vb.) bir arada kullanılacak ise genleşmeden doğan gerilmeler dikkate alınmalıdır [147].

3.1.2.5 Gürültü Kontrolü

Binalarda kullanıcıların konfor koşullarını sağlamak için önemli faktörlerden biri gürültü kontrolüdür. Söz konusu kontrol kaynakta, kaynak ile alıcı arasında ya da alıcıda gerçekleştirilebilir (Şekil 3.5) [153]. Bu kapsamda iç mekândaki gürültü düzeyini azaltarak yaşam kalitesi üzerindeki olumsuz etkileri en aza indirmek için birtakım önlemler alınması gerekmektedir. Gürültü kontrolü adına alınabilecek mimari ve yapısal önlemler ise kaynak ile alıcı arasında bazı müdahaleler ile mümkündür. Kaynak ile alıcı arasında fiziki bariyerler oluşturulması, yeterli ses yalıtımını sağlayan yapı kabuğu tasarımı ve doğru detaylandırma gürültü kontrolü adına alınabilecek önlemlerdendir [154].



Şekil 3.5 Gürültü kontrolü süreci [153]

Yapılarda ses yalıtımı ihtiyacını karşılamak için cephe elemanlarının doğru belirlenmesi gerekmektedir. Yapı elemanının sahip olması gereken yalıtım değeri tespit edildikten sonra malzemeler ve yapım tekniği değerlendirilerek incelenmeli ve ihtiyaç duyulan performansı karşılayan sistemler tespit edilmelidir [153]. Opak malzemeler için ses yalıtımı değerlendirmesinde dikkate alınacak en önemli faktör malzemelerin yoğunluğudur. Yoğunluğu fazla olan malzemelerin ses iletkenlik katsayıları düşüktür. Bu doğrultuda cephelerde kullanılan akıllı malzemelerin ya da birlikte kullanıldığı elemanların ses geçirgenlik katsayısı önemlidir. Söz konusu malzemelerin yoğunluğu, ses geçişini önleyecek değerde olmalı ya da cam yünü, taş yünü, polietilen, kauçuk köpüğü, poliüretan esaslı köpükler, keçeler (tekstil atığı, polyester) ve delikli metaller gibi ses yalıtım malzemeleriyle birlikte kullanılabilmeye uygun olmalıdır [155].

Cephelerin saydam malzemesi olan camlar ise ses geçirgenliği konusunda dikkat edilmesi gereken malzemelerdir. Camlar düşük yoğunlukları sebebiyle ses yalıtımı açısından zayıftır. Bu nedenle akıllı camlar ile oluşturulmuş cephelerde alınabilecek en temel önlemlerden biri kalınlığın ve yoğunluğun arttırılmasıdır. Fakat cam kalınlığı artırılsa bile, belli bir seviyeden sonra bu uygulama gürültü kontrolünde yetersiz kalacaktır. Bu durumda çift cam uygulamaları devreye girer. Çift cam uygulamalarında iki cam arasındaki boşluk miktarı doğru yalıtım açısından büyük önem taşımaktadır [156].

Akıllı cephelerde doğru bir akustik performans analizi yapılabilmesi için; cephe yüzeyinin pürüzlülüğü, gözenekliliği, ağırlığı, yoğunluğu, katmanlar arasındaki boşluk, ara boşluktaki yalıtım malzemesinin cinsi, katmanların birbirlerine ve bağlı oldukları strüktürel elemanlara bağlanma biçimi, miktarları, saydam yüzeylerin alanı, konumu,

kalınlığı, türü, duvar bağlantı ve doğrama detayları gibi faktörler de göz önünde bulundurulmalıdır [157]. Özellikle akıllı camların ses yalıtım düzeyinin arttırılması için; çift camlardaki ara boşlukların, hava veya çeşitli gazlarla doldurulması, çift camı oluşturan camların kalınlığının birbirinden farklı detaylandırılması, ara boşluk kalınlığının değiştirilmesi gibi çözümler sonuç getirebilir [158].

3.1.3 Cephe Malzemelerinde Sürdürülebilirlik

Yapılarda sürdürülebilirlik; yenilenebilir kaynakların kullanımı, enerji etkin teknolojiler, doğaya saygılı malzemelerin kullanımı, geri kazanım ve yeniden kullanım faaliyetleri ile tasarım ve yapımın her evresinde tüm bu unsurları kapsayarak ekolojiyi düşünmeyi esas almaktadır. Sürdürülebilirlik kavramı bir yandan doğal kaynakların kullanımına devam edilirken, diğer yandan bu kaynakların gelecek nesiller tarafından da kullanılabilirliğini güvence altına almak için korunması seklinde tanımlanmaktadır [159]. Sürdürülebilirlik, sadece yapay ve doğal çevrenin korunması değil, aynı zamanda canlı varlıkların ve kaynakların sürekliliğini de sağlamayı amaçlamaktadır [160]. Akıllı cephelerin temelinde de sürdürülebilirlik kavramı vardır ancak her akıllı malzeme kullanım ömrü ve yaşam döngüsü kapsamında yüksek performans gösteremeyebilir ve birtakım sorunlara yol açabilir.

3.1.3.1 Atık Yönetimi ve Geri Dönüşüm

Son dönemlerde çevre sorunlarının doğal yaşamı tehdit edecek boyutlara ulaşması, enerji tasarrufuna duyarlı, atıkların doğru değerlendirildiği ve olabildiğince geri dönüştürülebilir malzemeler kullanılan yapı anlayışının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Söz konusu anlayış ile birlikte kaynakların yönetimi önem kazanmış ve yapıyı oluşturan malzemelerin geri dönüşümlü olmasına özen gösterilmeye başlanmıştır. Bu sayede, malzeme üretimindeki doğal kaynakların gereksiz kullanımı önlenmekte ve hammadde üretimi için harcanan enerjiden tasarruf edilmektedir [161].

Cepheyi oluşturan yapı malzemeleri; hammaddenin temini, üretimi, cepheye uygulanması, kullanılması ve kullanımının sona ermesi ile geri dönüşümü ya da yok edilmesi gibi süreçleri içine alan bir döngü boyunca çevre ile doğrudan ya da dolaylı bir etkileşim içerisinde olmaktadır [162]. Yapım sonrası aşamada ise atık yönetimi, geri

dönüşüm ve yeniden kullanım ölçütlerine dikkat edilmelidir. Cephe malzemelerindeki yapı atıklarının geri dönüştürülmesi; yaşam ve kullanım ömrü bitmiş malzemelerin, geri dönüşüm yöntemleriyle hammadde üretimine geri kazandırılmasıdır. Böylelikle ortaya çıkan atıklar, üretim ve tüketim sistemine geri verilmiş olur. Geri dönüştürülebilen malzemelerin yeniden kullanımı ise geri kazanma işleminin en iyi şeklidir [162].

Geri dönüştürülebilir malzeme, tamamen ya da kısmen daha basit bileşenlerine ayrıştırılarak yeni bir üründe kullanımı tekrar sağlanabilen malzemedir [163]. Geri dönüştürülen malzemelerin orijinal form ve yapıda olması şart değildir. Akıllı cephe kaplama malzemeleri ve sistemlerinin bileşenleri ve uygulama tekniği, geri dönüşüm potansiyelini etkilemektedir. Uygulama tekniği boya, sıva, nano kaplama vb. ekstra katkılarla uygulama gerektiriyorsa, malzemenin geri dönüşüm olanakları olumsuz yönde etkilenebilmektedir. Akıllı malzemelerin yeniden kullanılabilmesi ise daha basit parçalarına ya da bileşenlere ayrıştırılmadan verimli kullanımını devam ettirebilmesi ile doğrudan ilişkilidir [163]. Uygulama tekniği, söküm aşamasında malzemenin daha az zarar görmesini sağlayabiliyorsa, bu malzemeler daha sonra yeni bir sistemin yapımında kullanılabilecektir. Kullanılan malzeme türüne göre geri dönüşüm işlemleri Tablo 3.1'de gösterilmektedir. Buna göre, beton, tuğla ve doğal taş gibi malzemeler genellikle kırma ve ufalama, metaller doğrudan kullanım ve eritme, plastik esaslı malzemeler eritme, kırpma veya ufalama, cam ve seramik esaslı malzemeler ise kırma ve öğütme gibi işlemlerle geri dönüştürülebilir [164].

Tablo 3.1 Yapı malzemeleri/bileşenlerinin geri kazanım işlemleri [164]

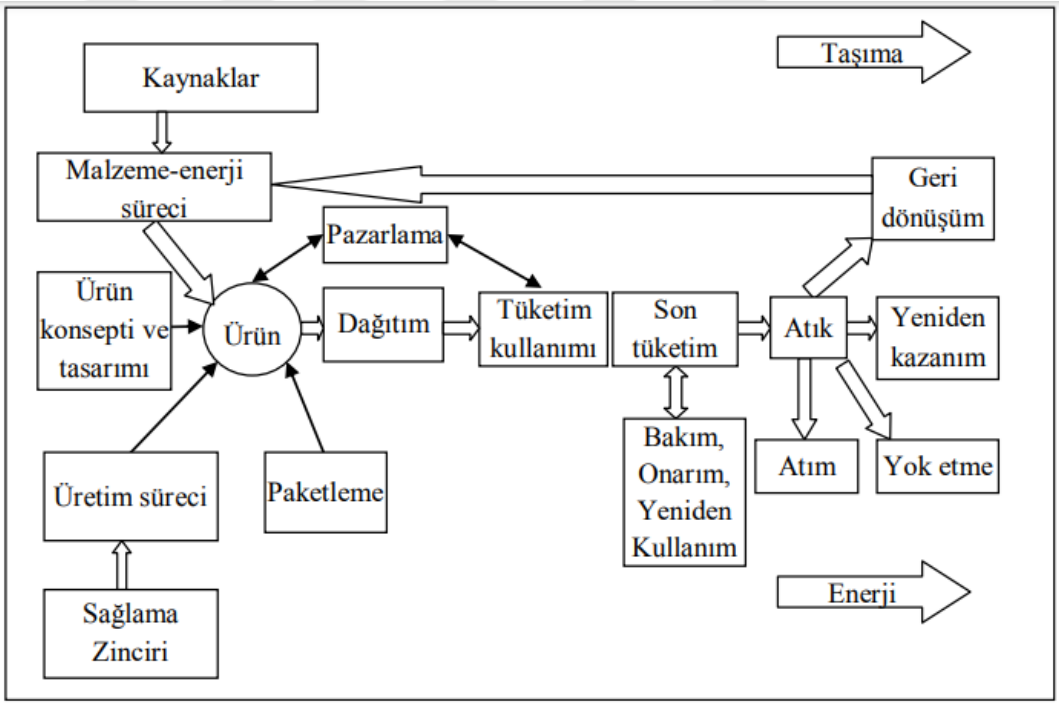
YAPI MALZEMELERİ/ BİLEŞENLERİ	GERİ DÖNÜŞÜM İŞLEMİ
Beton	Kırma, ufalama
Tuğla/ Kiremit	Harç atıklarının temizlenmesi Kırma, ufalama Yakılarak uçucu küle dönüştürme
Doğal Taş	Kırma, ufalama
Mermer	Kırma, toz haline getirme
Kağıt/ Karton	Temizleme
PVC Esaslı	Yıkama, kurutma, eritme Kırpma, kesme Kırma, ufalama Toz haline getirme
Cam	Doğrudan kullanım İkinci kalite cam üretimi Öğütme, ezme, eritme
Seramik	Kırma, öğütme

Akıllı malzemeler ile oluşturulmuş cephelerde kullanılan bileşenler geri dönüşüm kapsamında değerlendirilmelidir. Metal ve kompozit esaslı bileşenler, uygulama ve montaj biçimine göre dönüşüm sağlamaktadır. Seramik esaslı malzemeler, yapım sistemine göre değişkenlik göstermektedir. Seramiği cepheye oturtan alüminyum esaslı altyapı malzemeleri yapıştırma sistem olarak kullanılıyorsa yapıştırıcıların etkisiyle geri dönüşümü zorlaşır. Askı veya metal klipsli altyapı sistemleri ile oluşturulan sistemler, söküm aşamasının daha kolay olması ve malzemelere daha az zarar vererek söküm yapılması gibi sebeplerle malzemelerin yeniden üretimine, geri dönüşümüne ve yeniden kullanımına olanak tanımaktadır [165]. Cam malzemeler ise sonsuz bir döngü içerisinde geri dönüştürülebilir malzemelerdir. Camın geri dönüşümüyle kum, kireç ve soda gibi doğal kaynakların korunmasının yanı sıra enerji tüketiminde %25, hava kirliliğinde %20, maden atığında %80, su tüketiminde ise %50 azalma sağlanmaktadır [166]. Fakat camlara akıllı katkılar kazandırıldığında geri dönüşüm özelliği azalmaktadır [167]. Ancak

cephelerde kullanılan akıllı malzemelerin atık yönetimi ve geri dönüşümü doğru bir şekilde sağlandığında, çevreye verilen zarar azaltılacak ve hava kirliliği önlenebilecektir.

3.1.3.2 Kullanım Ömrü ve Yaşam Döngüsü

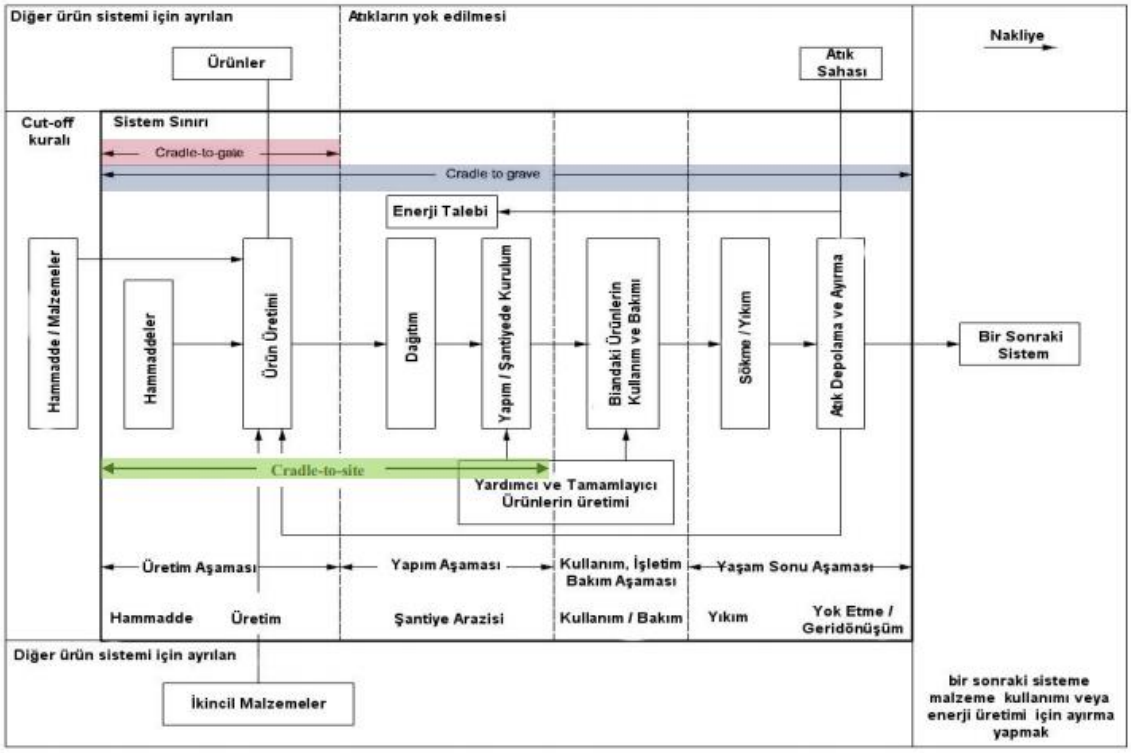
Malzemelerin kullanım ömrü, yaşam döngüleri ile ilişkilidir. Yapı malzemelerine ait hammadde ediniminden, üretimi, kullanımı, onarımı, geri dönüşümü, yeniden kullanımı veya yok etme süreçlerine kadar maruz kaldığı faktörler o malzemenin kullanım ömrünü etkiler. Bu doğrultuda cephelerde kullanılan malzemeler seçilirken yapı malzemelerinin yaşam döngüsü süreçleri göz önünde bulundurulmalıdır. Yaşam döngüsünün değerlendirmesi (YDD), bir malzemenin baştan sona kadarki yaşam döngüsünde çevresel durumunu ve olası çevresel etkilerini irdeler. Şekil 3.6'da malzemelerin yaşam döngüsü süreçlerinin birbiriyle ilişkisi gösterilmektedir [169].



Şekil 3.6 Bir ürünün şematik yaşam döngüsü [169].

Cephelerde kullanılan malzemeler, yaşam döngüsü içinde çevreye birçok etki göstermektedir. Bununla beraber, çevresel faktörler de malzemeleri birçok açıdan etkiler. Bu nedenle, cephelerde kullanılmak üzere akıllı malzeme seçimi yapılırken o malzemenin yaşam döngüsü süreçlerinin her aşamasındaki hususlar göz önünde bulundurulmalıdır.

Kullanılan malzemelerin yaşam döngüsü şeması Şekil 3.7'de gösterilmiştir [170]. Söz konusu süreçteki aşamalar; hammadde edinimi ve üretim süreci, taşıma süreci, kurulum ve kullanım süreci, geri dönüştürülerek yeniden kullanım veya yok etme süreci olmak üzere 4 başlık altında incelenebilir [170].



Şekil 3.7 Yapı malzemelerinin yaşam döngüsü şeması [170].

Hammadde Edinimi ve Üretim Süreci

Cephelerde kullanılacak akıllı malzemelerin hammadde temini ve işlenmesinde dikkat edilmesi gereken faktörler; malzemelerin zehirli kimyasallar içermemesi, yenilenebilir ve sürdürülebilir kaynaklardan elde edilmesi ve geri dönüştürülmüş içeriğe sahip olmasıdır [171]. Dolayısıyla üretim aşamasında çevreye en az zararı dokunacak ürünler seçilmelidir [172]. Bu kapsamda; akıllı malzeme üretimi için kullanılan enerji, materyal, oluşan atık miktarı vb. unsurlar önem taşımaktadır. [171].

Taşıma Süreci

Yapı malzemelerinin imal edildikleri yerden çalışma alanına sevkiyatı, çevresel kirliliğe sebep olan ölçütler arasında sayılabilir. Bu durumda, malzemelerin paketlenme biçimi ve nakliye yöntemleri önem taşımaktadır. Malzemeler, geri dönüştürülebilir malzemelerle paketlenmeli, etkin nakliye yöntemleriyle çalışma alanına ulaştırılmalıdır [171].

Yapım ve Kullanım Süreci

Nano katkılı akıllı malzemelerin yapıya uygulanma aşamasında kullanılan yapıştırıcılar ve boyalar hava niteliğini bozabilmektedir Kullanım aşamalarında bir yapının hava, su, aydınlatma, enerji tüketimi ve konfor koşulları gibi faktörler de özellikle yapı içi hava niteliğini etkilemektedir [172]. Bu durumda cephelerde kullanılmak üzere yapı malzemesi seçilirken, malzemeye ait uygulama ve kullanım süreçlerindeki unsurlar dikkate alınmalıdır. Bu unsurlar; fiziksel dayanım, kimyasal oran, gerekli olan bakım ihtiyacı ve ürünlerin mevcudiyet durumu olarak sayılabilir [171].

Geri Dönüşüm- Yeniden Kullanım- Yok Etme Süreci

Cephe bileşenlerini oluşturan malzemelerin geri dönüştürülebilir olmaması ya da yeniden kullanıma uygunluk göstermemesi, kaynak kullanımının ve çevre kirliliğinin artmasına ortam hazırlar. Oysa kullanılan malzemelerin geri dönüşümü ya da yeniden kullanımı sağlandığında yaşam döngüsünde, yeniden hammadde edinimi ve üretme süreçleri tekrarlanmayacak ve gereksiz atıklar önlenmiş olacaktır. Geri dönüştürme, yeniden kullanma ve yok etme aşamalarında dikkat edilecek unsurlar; malzemenin kurtarılabilirliği ve geri dönüşüm için biyolojik parçalarına ayrılabilirliği şeklinde sıralanabilir [171].

3.1.3.3 İklim Şartlarından Etkilenme

Enerjinin verimli kullanımına olanak sağlayan yapı tasarımları, yapıların iklim koşullarıyla bir bütün olarak değerlendirilmesiyle mümkün olmaktadır. İklim koşulları, yapının enerji tüketimi ve çevresel performansı ile birlikte kullanıcılar üzerinde de önemli bir etkiye sahiptir [173]. Yapılarda tüketilen enerji miktarı, iklimin direkt veya dolaylı

etkisinin bir sonucudur. Tipik iklim verilerindeki değerler genel olarak sıcaklık, güneş radyasyonu ve rüzgâr verileri gibi değişkenleri içermektedir. Bu kapsamda, cephelerde kullanılacak olan malzemelerin seçiminde yapının içinde bulunduğu iklim koşulları dikkate alınarak değerlendirme yapılmalıdır [174].

Cepheler sadece bir koruyucu yüzey değil, aynı zamanda yapının enerji tüketimini ve iklim koşullarını kontrol eden bir parçası olma görevini görür. Cephelerin; yapının teknik konseptine, ısıtma, soğutma, havalandırma ihtiyaçlarına aktif katkıda bulunması beklenir [175]. Böylelikle, mevcut dış iklimsel koşullar ile istenen iklimsel konfor koşullarını sağlayabilmek için tasarım unsurlarına ilişkin birtakım önlemler alınabilmektedir. Bu önlemlerin alınabilmesi için, tasarımın dayandırıldığı karakteristik gün veya dönemler için dış hava sıcaklığı, nemliliği, güneş ışınımı ve rüzgâr gibi dış iklim koşullarına ait değerler gerçek atmosfer koşullarına göre belirlenmelidir [174]. Tablo 3.2'de hava koşullarına göre tasarım stratejileri gösterilmiştir.

Tablo 3.2 Hava koşullarına göre tasarım stratejileri [176]

KONTROL STRATEJİLERİ			İLETİM	TAŞINIM	IŞINIM	BUHARLAŞMA
	KIŞ	KAZANCI ARTIRMAK			Güneş kazancını arttırmak	
		KAYBI ÖNLEMEK	İletkenlik yoluyla ısı akışını azaltmak	Dış hava akımını azaltmak Sızıntıyı azaltmak		
	YAZ	KAZANCI ÖNLEMEK	İletkenlik yoluyla ısı akışını azaltmak	Sızıntıyı azaltmak	Güneş kazancını azaltmak	
		KAYBI ARTIRMAK	Toprakla serinliği arttırmak	Havalandırmayı arttırmak	Işıma yoluyla serinliği arttırmak	Buharlaşma yoluyla serinliği arttırmak
		ISI KAYNAĞI		Atmosfer	Güneş	
		ISI YUTUCU	Toprak	Atmosfer	Gökyüzü	Atmosfer

Cephelerde akıllı malzeme kullanımında, o iklim bölgesindeki güneş, rüzgâr, nem, yağmur, kar ve benzeri meteorolojik veriler dikkate alınarak oluşturulan mimari çözümler aracılığı ile istenmeyen ısı kazanç ve kayıpları engellenebilmektedir. Aynı zamanda doğru malzeme seçimi ile gün ışığı kontrolü de sağlanabilmektedir. Cephenin çevrelediği binanın iç mekanlarındaki iklimsel konfor koşullarını sağlamada etkili olan yapma çevreye ilişkin başlıca tasarım unsurları olarak; cephenin bulunduğu yer, cephenin diğer

bina cephelerine göre konumu (bina aralıkları), cephenin yönlendiriliş durumu, cephenin formu, cephe kabuğunun özellikleri, cephede uygulanan havalandırma düzeni, cephede uygulanan güneş kontrolü ele alınabilir [174]. Bu unsurlar çerçevesinde farklı iklim koşullarına göre değerlendirmeler yapılarak uygun malzemeler seçilebilir ve uygulanabilir.

3.1.4 Diğer

Akıllı cephelerdeki performans ölçütleri değerlendirilirken malzeme kaynaklı ölçütlerden olan teknik performans, yapı fiziği ve sürdürülebilirlik ölçütleri ele alınmıştır. Diğer ölçütler ise; estetik, ekonomik ölçüt ve sağlık ölçütü olarak ele alınmaktadır. Bu ölçütler de yapının fiziksel ve kimyasal etkiler sebebiyle etkilenmesi kadar önemli olmakta ve belirli sorunlar teşkil etmektedir.

3.1.4.1 Estetik Ölçütler

Estetik kişiye, topluma ve bulunulan çevreye göre değişen öznel bir kavram olduğundan bir değerlendirme ölçütü belirlemek zordur. Çeşitli görünümlerin çeşitli biçimlerde kavranıp anlam kazanması ve yorumlanmasıyla estetik algısı oluşmaktadır. Uyarıcılar farklı kişilerde farklı algılar oluşturabileceği gibi; aynı kişi, aynı uyarıcıları değişik zaman dilimlerinde ve farklı bakış açısına göre farklı biçimlerde anlamlandırabilir [177]. Cephelerde estetik algı denildiğinde ise tasarlanan formlar ve kullanılan renkler önemli olmaktadır. Bu nedenle kullanılan malzemeler tasarımın esnekliğine uyum göstermeli ve bu hususlar çerçevesinde üretilmelidir. Görsel konforun niteliğine katkı sağlayan renkler dış cephede estetik bir algı uyandırırken, iç mekan yansımalarında da görsel ve psikolojik etki oluşturmaktadır [177].

Cephe tasarımı, yapıların estetik tasarımını büyük ölçüde etkilemektedir. Çünkü yapılar, çevresi, formu ve cephesi ile birlikte algılanır. Çeşitli formlarda tasarlanan bir yapının, cephesinin bulunduğu çevreyle uyumlu ve kullanıcı açısından estetik olarak algılanabilmesi için; cephe bileşenlerinin biçimi, oranı, boyutu, dengesi, rengi, kontrastı, ölçek ve ritmi/tekrarı etkili olmaktadır. Ayrıca doluluk-boşluk, malzeme-doku ve ışık-gölge oluşumu estetik algı yaratılması için önemli unsurlar olarak görülmektedir [177].

Şekil 3.8'de eski ve yeni formun birlikte kullanılmasıyla ortaya çıkan kontrast örnek bir yapı üzerinde gösterilmiştir [178].



Şekil 3.8 Royal Ontario Müzesi. Mimaride eski-yeni ve form farklılığı kullanılarak yaratılan kontrast [178]

Renk ve ışık yansımasının birbirini tamamladığı cam cepheler, ışığın bir kısmını soğururken bir kısmını yansıtmaktadır [158]. Buna bağlı olarak, içerdiği nano katkılar ve filmlerle özellikleri değiştirilen akıllı camlarda geçirgenliğin değiştirilmesi, ışık ve renk dağılımı çerçevesinde değerlendirilmelidir. Söz konusu malzemelerin yanlış kullanımı sonucu ortaya çıkan görsel sorunlar, çevredeki unsurların cephe üzerine düzensiz yansıması veya ışığın iç mekâna dengesiz yayılımı gibi dikkat çekici boyutlara ulaşabilmektedir (Şekil 3.9-Şekil 3.10) [179].



Şekil 3.9 Nanofilm kaplamalı camın katman katman renk değiştirmesi [180]



Şekil 3.10 Kaplamalı camın düzensiz dağılımı [31]

3.1.4.2 Ekonomik Ölçütler

Cephelerde ekonomik performans, genellikle malzemelerin yaşam döngüsü içindeki maliyet tekniği kullanılarak değerlendirilmektedir [40]. Ekonomik ölçütlerin değerlendirilmesine ilişkin unsurlar; yapım ve kullanım süreçlerine ilişkin ölçütlerdir. Yapım sürecine ilişkin ölçütler, malzemelerin üretim şekli ve temini ile ilişkilidir. Kullanım sürecine ilişkin ölçütler ise; bakım, onarım, işletme ve yenileme maliyetine ilişkin ölçütlerdir [181]. Bu doğrultuda cephelerden, işlevsel ve estetik olmasının yanı sıra ekonomik ölçütlere uygun olması da beklenir.

Cephelerde ekonomik değerlendirme yaklaşımlarından en yaygın olanı yaşam dönemi maliyeti (YDM) yaklaşımıdır [182]. Yapılacak olan cephenin değerlendirilmesi için öngörülen süre içinde, projeye ait olabilecek her türlü maliyet güncel olarak dikkate alınıp, ilk yatırım maliyetleri ile birlikte projenin yaşam dönemi maliyeti oluşturulur. Çeşitli proje seçeneklerinin yaşam dönemi maliyetleri karşılaştırılarak cephe malzemelerinin kullanım ömürleri boyunca ortaya çıkabilecek maliyetler de kıyaslanabilmektedir. Bu çerçevede, çeşitli yatırım seçenekleri arasında bir seçim yapmak gerektiğinde, en az yaşam dönemi maliyetine sahip seçenek, en uygun seçenek kabul edilmektedir [183].

Akıllı malzemelerin cephelerde kullanımı enerji tasarrufu bakımından önemlidir. Fakat kullanılan akıllı malzeme ve harcanan enerji birlikte düşünülerek ekonomik açıdan getiri ve götürüler iyi değerlendirilmelidir. Bu değerlendirme yapılırken malzemelerin yaşam dönemi maliyet analizleri (YDMA) dikkate alınmalıdır. YDMA, alternatif cephe sistemlerinin ve bu sistemleri oluşturan bileşenlerin ömrü boyunca sahip olduğu yatırım, bakım, onarım ve enerji maliyetleri üzerinde etkisi olan tasarım unsurlarının planlanmasında kullanılan ekonomik değerlendirme yöntemidir [182]. Bu değerlendirmedeki unsurlar; ilk yatırım maliyeti, bakım-onarım ve yenileme maliyeti, enerji maliyeti, hizmet ve çalışma süresi olarak sıralanabilir [182].

İlk yatırım maliyeti; cephe ihtiyacının belirlenmesine ilişkin işlemlerle başlayan ve cephe çalışmasının gerçekleştirilmesiyle sonuçlanan tüm işlemlerin maliyeti olarak tanımlanabilir [184]. Fizibilite çalışmaları, malzemelerin temini ve gerçekleştirme (inşaat) maliyetleri ilk yatırım maliyeti olarak sayılabilir. Bakım-onarım ve yenileme maliyetleri; her yıl hizmet süresi boyunca tekrarlanan, ivmeli ya da sabit oranlarda değişen, yıllık artış oranlarından etkilenen işletme ve bakım giderleridir [185]. Enerji maliyeti; yıllık enerji harcamalarını azaltmayı ve buna bağlı olarak cephelere uzun vadeli yatırım yapmayı hedefleyen maliyetlerdir [185]. Hizmet ve çalışma süresi ise cephe ile ilgili maliyetlerin yıl/ay cinsinden değerlendirildiği süredir. Bu değerlendirmede alternatiflerin çeşitliliği, aynı çalışma süreleri kapsamında değerlendirilmektedir [186]. Tüm bu maliyet ölçütleri dikkate alınarak cephelerde kullanılacak akıllı malzemelerin ekonomik performansı değerlendirilmelidir.

3.1.4.3 Sağlık Ölçütleri

Yapılarda kullanıcı emniyetini, sağlığını ve konforunu sağlamak, mimari tasarımın temel hedeflerinden biridir. Bu doğrultuda yapıların kullanıcılara güvenli, sağlıklı ve konforlu yaşam alanları sunabilmesi için fen ve sağlık açısından iyi bir performans sergilemeleri gerekmektedir. Özellikle cepheler; dış çevre ile doğrudan ilişkili olması, iç ve dış ortam arasında bariyer görevi görmesi ve diğer yapı elemanları ile bağlantılarının bulunması nedeni ile yapılarda sağlık ve konfor koşullarının sağlanmasında önemli bir yere sahiptir.

Yapı cephelerinde kullanılan nano katkılı akıllı malzemeler, çevre ve insan sağlığını tehdit eden bazı maddeler içerebilmektedir. Nano katkılı akıllı malzemelerin insanlara ve diğer canlılara etkisi genellikle malzemenin yüzey özelliklerine, kimyasal bileşenlerine, boyutlarına ve üretim şekline göre değişebilmektedir [187]. Yapılan çalışmalara göre bu malzemelerin potansiyel riskleri; canlının vücuduna girme miktarına, birikimine ve etki alanına bağlı olarak değişim göstermektedir. Nanopartiküllere maruz kalınması durumunda birtakım sağlık sorunları ortaya çıkmaktadır. Cephelerde kullanılan malzemelerdeki nano katkılar, temas yoluyla veya solumayla insan vücuduna girebilmektedir. Bu malzemelerin deriye temas etmesi sonucu deride ciddi sorunlar oluşturabilmektedir. Aynı zamanda deri tarafından emildiğinde kana karışarak dolaşım sistemi tarafından tüm vücuda yayılabilmekte ve diğer organlara da zarar verebilmektedir [187]. Solunum ile nano katkılı malzemelere maruz kalınması durumunda ise akciğerler ve dolayısıyla solunum sistemi etkilenebilir. Nano katkılı parçacıklar solunum sırasında akciğerlerde birikebilir ve solunum sistemi aracılığıyla karaciğere, beyne ve diğer organlara yayılarak vücuda zarar verebilir [188].

Nano malzemelerin bileşenlerinde, titanyum dioksit, çinko oksit, gümüş silisyum dioksit, karbon nano-tüpü gibi normal malzemelerde olmayan özellikler bulunmaktadır ve bu durum bazı öngörülemeyen tedirginlikleri ve sorunlarını da beraberinde getirmektedir [187]. Söz konusu bileşenleri içeren nano parçacıklar, diğer bileşenlerle bir araya gelerek toz bulutları oluşturup nano boyutta patlamalara sebep olabilmektedir [189]. Bu olay sırasında açığa çıkan zararlı gazlar, insan sağlığını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Ancak bu gazların insan sağlığına olan etkileri henüz araştırılma aşamasında olup konu ile ilgili çalışmalar devam etmektedir. Bu nedenle, kanıtlanmış bir vakaya rastlanmamış olup yalnızca risk olarak incelenmiştir.

3.2 Yapım ve Kullanım Süreci Ölçütleri

Yapılar, malzeme kaynaklı ölçütlerden etkilendiği gibi yapım ve kullanım sürecinde de birçok sebepten etkilenebilmektedir. Bunlar; tasarım süreci, üretim süreci, uygulama süreci ve kullanım süreçleri ile doğrudan ilişkili olmaktadır.

3.2.1 Tasarım Süreci Ölçütü

Cephelerde karşılaşılabilecek sorunların tanımlanması için en önemli aşamalardan biri tasarım aşamasıdır. Bu süreç gerçekleşmeden önce, sorunun tam olarak tespit edilmesi gerekmektedir. Sorun tam olarak analiz edilmeden onunla ilgili bilgi toplamak ve çözüm önerileri getirmek oldukça zordur. Bu nedenle, sorunla karşılaşmadan önce olası süreçler tahmin edilerek birtakım detaylar çıkartılmalıdır. Bu detaylar, cephelerde kullanılan akıllı malzemeler için de oldukça önemlidir. Çeşitli sistem kesitleri ve nokta detaylarıyla çözümlenen sorunlar, akıllı cephe malzemelerinin kullanıldıkları yere göre değişim göstermekte ve diğer yapı elemanlarıyla birlikte kullanımını ifade etmektedir.

Birleşim Detayları

Cephelerde kullanılan malzemeler, diğer yapı elemanlarıyla belirli yöntemlerle birleştirilmektedir. Birleştirilen elemanlar bir sistem oluşturur ve oluşan sistemde ortaya çıkan sorunların çözülmesi, birleşim detaylarının soruna uygun tasarlanması ile mümkün olmaktadır. Meydana gelen sorunların birçoğu cam cepheler ile diğer elemanların birlikte çalışmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle akıllı cam cephelerin doğru detaylandırılması gerekmektedir.

Dış cephede camlar, dolu yüzeyler arasına açılan boşluklara çerçeveleri ile birlikte yerleştirilir. Cam ile çerçeve birleşim detayında, geçirimsizliğin sağlanamaması birtakım sorunlara ve bozulmalara neden olabilmektedir (Şekil 3.11). Geçirimsizlik; su, hava, ses, ısı gibi dış ortam etkilerinin cephe elemanları tarafından kontrollü geçişinin sağlanması olarak tanımlanabilir [190]. Geçirimsizliğin sağlanamaması kontrolsüz geçişlere neden olarak kullanıcıların konfor koşullarına zarar verebilir. Örneğin; nem oranının fazla olması yapı bileşenlerinde paslanma ve küflenme gibi nemlilikten kaynaklanan sorunlar meydana getirebilir ve durum bu iç ortamın hava kalitesini bozarak kullanıcı sağlığını tehlikeye atabilir [190].



Şekil 3.11 Yağmur sızdıran cam ile çerçeve birleşiminde bozulma

Akıllı camların birlikte kullanılacağı çerçeve kesitlerinin tasarımları cepheyi tasarlayan kişiler tarafından yapılmasa da seçim yapılırken malzeme detaylarının bilinmesi ve ez az hata ile seçim yapılması gerekmektedir. Seçim konusunda dikkat edilmesi gereken temel noktalar; cephenin maruz kaldığı hâkim rüzgâr, yapının yüksekliği, rüzgarların oluşturduğu yatay yükler, kullanılan camların ebatları, çerçeveye ait bileşenlerin genleşme katsayıları gibi konulardır [190].

Çerçevelerin zemin ile bağlantısında; yanlış detay oluşturulması iç ortama hava, su, yağmur girişi ve böceklenme gibi sorunlara yol açabilir [190]. Çatı birleşiminde ise, doğrudan birleşmese bile bu elemanlardan birinin yanlış detaylandırılması sonucu rutubet, ısısal konforsuzluklar ve su girişi gibi etkiler meydana gelebilir. Bu nedenle, cephelerde tasarım kaynaklı sorunların nedenleri belirlenerek uygun detaylar oluşturulmalı ve bu detaylar oluşturulurken dış çevre koşullarının cephe üzerindeki etkileri göz önünde bulundurularak değerlendirme yapılmalıdır.

Akıllı malzemelerde birleşim detaylarının doğru tasarlanmaması ve yanlış uygulanması birçok soruna yol açabilir. Örneğin akıllı camların çerçeve ve zemin birleşim detaylarında, hava, su, ısı ve ses geçirimliliği konusunda geleneksel camlarla benzer özellikleri bulunmaktadır. Fakat akıllı camlar nano katkılı kimyasal içerdiğinden ya da nano film kaplamalı özelliklerinden dolayı bu tarz birleşim detaylarında daha hassas

çözümlere ihtiyaç duyabilirler. Bu noktada dikkat edilmesi gereken temel noktalar, yapının bulunduğu bölgede cepheye etki edecek rüzgar yükleri, kullanılan cam boyutu (camın bindireceği yük), çerçeve bileşenlerinin genleşme katsayıları ve cam ile uygunluğu olarak sıralanabilir [191]. Modüler yapı ve kalınlıkları geleneksel camlarla aynı özellikte olmayan akıllı camlar için, klasik birleşim çözümleri yeterli gelmeyerek özel üretimlere ihtiyaç duyulabilir. Aynı şekilde elektrik üreten ya da şekil değiştiren akıllı malzemelerde de birleşim detaylarının doğru çözülemediği durumlarda, geleneksel altyapı elemanları ile kısa devre ve kontrolsüz geçişler gözlemlenebilir. Bu doğrultuda, geçirimsizliğin sağlanamaması ile oluşan kontrolsüz geçişler su ve nem kaynaklı sorunlara yol açabilir ve iç ortam hava kalitesini olumsuz yönde etkileyerek kullanıcı sağlığını bozabilir [131].

3.2.2 Üretim Süreci Ölçütü

Cephe elemanlarının üretim aşaması, yapı üzerinde uygulama yapmadan önce malzemelerin üretildiği aşamadır. Üretim öncesinde projelendirmeye önem gösterilmelidir. Projelendirme tamamlandıktan sonra, cepheye uygulanacak olan elemanların verimlilik açısından deneysel kontrolleri yapılmalıdır. Sonraki süreçte ise üretim ve montaj birbirini takip etmelidir. Üretim yöntemleri ve dikkat edilmesi gereken unsurlar, malzemenin türüne göre değişkenlik göstermektedir.

Cam cephe elemanlarının üretimi, üretici firmalara göre değişmektedir. Her firmanın üretim yöntemi ve kullandığı detaylar birbirinden farklıdır. Dikkat ve titizlik gerektiren üretim aşaması; projelendirme, deneysel kontrol ve imalat olmak üzere üç ana başlık altında toplanabilir [130]. Projelendirme aşamasında, cam cephe sistemlerinin doğrama detayları belirlenmelidir. Mimari olarak belirlenen aks aralıkları, maliyet ve detay seçiminde önemli rol oynamaktadır. 1.00 – 1.20 metrelik aks araları, uygun ölçüler olarak kabul edilmektedir [192]. Mimari ve fonksiyonel gereksinimler göz önüne alındıktan sonra statik hesaplar ve sistemin performans ölçütlerinin belirlenmesinde, binanın konumu, fonksiyonu, yüksekliği, dış etkilere duyarlılığı, hâkim rüzgâr hızı, gece ile gündüz sıcaklık farkı, yağış miktarı, binanın ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemi gibi çeşitli seçim ölçütleri, projelendirme aşamasını etkileyen ölçütlerin başında gelmektedir [130]. Deneysel kontrol aşamasında, malzemelerin standartlara uygun olup olmadığı kontrol edilmedir. İmalat aşamasında ise, giydirme cam cephe bileşenlerinin üretileceği

kalıplar oluşturulur veya temin edilir. Teknik elemanlar tarafından oluşturulan detaylar, fabrikalarda profil makineleriyle şekillendirilerek, uygun profiller üretilmektedir. Profiller üzerindeki bütün bağlantı elemanları ve aksesuarların yerleri, özel kalıp ve şablonlar yardımıyla presler kullanılarak açılmaktadır. Profiller oluşturulduktan sonra kullanılacak olan camlar seçilip sisteme uygunluğu kontrol edilir. Bu durumda seçilen camların akıllı camlar olması, üretim kalıplarına ve standart ölçülere uygunluk olarak zorluk çıkartabilmektedir.

İmalat sırasında dikkate alınması gereken noktalardan biri de kullanılan malzemelerin, boya ve eloksal kaplamalarının standartlara uygun olmasıdır [193]. Birbirinden farklı metallerin bir araya gelmesiyle oluşan alaşımlarda, malzemelerin birbirine temaslarından dolayı karşılaşılabilecek korozyon sorununa karşı gerekli tedbirler alınmalıdır. Aynı şekilde, farklı malzemelerin farklı ısıl genleşmelerinden kaynaklanabilecek sorunlar da önceden düşünülerek dikkate alınmalıdır.

Beton ve kil esaslı akıllı malzemelerin üretiminde hammaddenin doğru şekilde tespit edilmesi önemlidir. Üretimde; enerji, ekonomiklik, teknoloji yeterliliği, çevre etkileri, şekil bozuklukları, pişirme şekli, kalite düşüklüğü ve renk farklılığı gibi birçok ölçüt bulunmaktadır [194]. Malzeme oranlarının fazla tutulması çatlamalara neden olabilmektedir. Pişirilme aşamasında ise sıcaklığın optimum düzeyden fazla olması malzemede kusma yaratabilir. Aynı zamanda kullanılan yöntemlerin farklılığı, aynı malzemelerde renk tonlarının farklı olmasına yol açarak görsel olarak bozulmalara ortam hazırlayabilmektedir.

3.2.3 Uygulama Süreci Ölçütü

Cephelerin uygulama süreci, hedef ve gereksinimlerin detaylandırıldığı yapım dökümanlarının eksiksiz bir şekilde uygulandığı süreçtir. Bu süreçte cephe malzemelerinin nakliye ve depolama durumu, montaj ve tadilat niteliği, bakım, onarım ve işletme aşamaları belirtilir. Uygulama süreci, cephelerde birçok sorunu beraberinde getirmektedir. Malzemelerin birbirleri ve diğer yapı elemanlarıyla uyumsuzluğu, doğru montajlama yapılamaması ve sağlamlığın sürdürülememesi, malzemelerin henüz yaygın olmaması nedeniyle bilgi düzeyinin yetersiz olması, uygulamada yetkin teknik personel ve uygulayıcı sayısının az olması gibi etkenler, akıllı malzemelerde depolama, nakliye, niteliksiz yapım ve montaj, tadilat sorunları, kullanım sürecinde malzemelerin bozulması

ve kullanıcı konforunun bozulması gibi sorunlara yol açabilir. Bu kapsamda cephelerde kullanılan akıllı malzemelerin de uygulama süreçlerinde söz konusu aşamaların dikkate alınıp değerlendirilmesi gerekmektedir.

3.2.3.1 Depolama Koşulları ve Nakliye

Uygulama öncesinde malzemelerin depolanması ve hasarsız sevkiyatı önemli ölçütlerden biridir. Malzemeler, tasarım ve üretim aşamasından geçtikten sonra gereksinimlere göre uygun depolama alanlarında depolanır ve uygulama sürecinde kullanılmak üzere bekletilir. Daha sonra kullanılacak olan malzemeler inşaatın durumuna göre özenli bir şekilde nakil edilir.

Depo, üretim hızı ile tüketim hızının farklılaştığı zamanlar oluşmaktadır. Ancak teknolojik ve ekonomik gereklilikler talepten fazla arz gerektirebilir. Dolayısıyla bir üründen tek seferde yapılması gereken en az miktar talepten fazla olabilir, bu da depo oluşturur [195]. Bu doğrultuda, inşaat öncesi üretilen ve depolanan akıllı malzemelerin ne şekilde ve hangi koşullarda muhafaza edildiği önemlidir. Bu durum, malzemenin türüne göre değişkenlik gösterebilmektedir. Akıllı malzemelere kazandırılan özellikler bu malzemeleri depolanma konusunda daha hassas hale getirebilir. Malzemelere uygulanan özel katkılar depolanma konusunda birtakım sorunlar yaratabilir. Bu sorunlar, malzemelere uygulanan katkıların ya da işlemlerin zarar görmesi, yanlış istiflenme sonucu bozulma, çizilme, şekil değişiklikleri, ısı ve basınç altında faz değiştiren ya da şekil değiştiren malzemelerin ortam koşullarının sağlanamaması, standart dışı modül ölçüleri sonucu depolama alanlarının optimum kullanılamaması, farklı türden malzemelerin farklı özelliklerinden dolayı aynı yerde muhafaza edilememesi şeklinde sıralanabilir. Aynı zamanda depolanma koşullarının yanı sıra malzemelerin pozisyonları da önemlidir. Yatay depolamada üst üste araya takozlama ile yerleştirme yapılır ve mümkünse aynı boyuttaki elemanlar istiflenir [196]. Düşey depolamada ise elemanlar arası boşluk bırakılarak yan yana yerleştirme söz konusudur. Düşey depolamada malzemelerin kapladığı alan küçülür fakat depolama daha güç olur [196].

Malzemelerin sevkiyatında en çok karşılaşılan sorunlardan biri nakliye araçlarına gereğinden fazla malzeme yüklenmesidir. Fazla ve üst üste yüklenen malzemeler, altta kalan malzemelerin hasar görmesine ve bozulmasına neden olabilmektedir. Bu durumda yüklenen malzemelerin türü, boyutları, ağırlıkları ve mukavemetleri önem taşır.

Karşılaşılan diğer bir sorun ise; ürünün ambalajlanmadan olduğu gibi istiflenerek sevk edilmesi ve buna bağlı olarak ürünün çok çabuk yıpranıp zarar görmesidir [195]. Bu ölçütler çerçevesinde akıllı malzemelerin de depolama ve nakliye aşamasında dikkat edilmesi gereken birçok ölçüt bulunmaktadır. Buradaki en önemli ölçüt sevkiyatın başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesidir. Zira yukarıda da belirtildiği üzere sevkiyat sırasında oluşabilecek bir kaza, malzemelerin kaybına yol açacaktır. Bir diğer ölçüt de depolamanın yeterli ve doğru planlanmış olmasıdır. Yanlış bir lojistik planı ile gerçekleştirilen depolama, ürünlerin yetersizliğine ve uygulamanın aksamasına yol açacaktır.

Cephelerde kullanılan akıllı malzemeler; beton, taş, kil, metal, cam, kompozit vb. esaslı olabilmektedir. Bu nedenle malzemelerin ana maddesi ve yapım türüne göre depolama ve nakliye işlemleri değişkenlik gösterebilir. Beton esaslı elemanların kalıp yüzeyleri ve yönleri, elemanların istifi bakımından önemlidir. Metal esaslı malzemeler genellikle rulo halinde veya istiflenerek depolanır, paletler yardımıyla taşınırlar. Fakat paletler yardımıyla taşınan metallerin galvanizli olması durumunda, galvaniz sacların ıslanarak aralarına su girmesi veya nem oluşması, galvanik pil oluşturarak, "beyaz pas" adı verilen çinko bileşiklerini meydana getirir ve bu durum kaplamayı incelterek malzemeyi olumsuz etkiler [197].

Metal kompozit olarak kullanılan malzemeler ise, alüminyum (Al), çinko-titanyum-paslanmaz çelik, galvanizli sac levha şeklinde akıllı cephelerde kullanılabilir. Al sac paneller muhafaza edilirken, malzeme ve çevre sıcaklığı +5 ºC altında olmamalıdır [198]. Malzemelerin sevkiyatında, uzun kenarı yere paralel olacak şekilde taşınmalıdır. Aksi takdirde plakalar kenar ve köşelerinden hasar görmektedir. Çinko-titanyum-paslanmaz çelik kompozit malzemeler ağır olduklarından bükülme eğilimine sahiptir. Bu nedenle taşınması zahmetlidir. Ayrıca panel yüzeyleri çok çabuk çizildiğinden imalat ve montaj esnasında bir film tabakasıyla kaplanır. Fakat montaj işleminden sonra uzun süre filmi bekletmek filmi çıkarmada büyük bir zorluğa neden olabilmektedir [199].

Cam esaslı malzemeler, stok ve depolama kapsamında özelleşir. Bu malzemeler, özel ambalaj ve stoklama sistemi ile depolanır. Cam malzemenin üretim boyutları, standart üretim boyutlarında veya özel üretim boyutlarında olabilir. Makinelerin üretim boyutuna uygun ve firesiz kesim boyutu, malzemelerin standart stok boyutudur. Fakat cephelerde kullanılan akıllı camlar, standart boyutlara uygunluk göstermediği ve fazla fireye neden

olduğu için depo ve sevkiyatta zorluklar yaşanmaktadır. Seramik esaslı malzemeler ise genellikle 23x46 - 33x66 - 33x50 - 46x46 - 60x60 - 60x120 cm. boyutlarında üretilir ve paletler yardımıyla taşınıp depolanır [197] Akıllı seramik malzemeler projeye göre standart dışı ölçülerde üretildiğinden özel paletler ve sandıklar gerektirebilmektedir [41].

3.2.3.2 Yapım, Montaj ve Tadilat Niteliği

Bina cephelerinde malzemelerin yapım, montaj ve tadilat niteliği önemli ölçütlerden biridir. Cephe sistemlerinde montajı kolay, hızlı uygulanabilen, depolanabilir, ihtiyaç halinde kolay bulunabilen malzemeler seçilmelidir. Akıllı malzemelerle oluşturulan cephelerde uygulama yapılırken malzemeye kazandırılan özellikler dikkate alınarak işlem yapılmalıdır. Yapılan işlemler ve dikkate alınacak ölçütler, akıllı malzemenin türüne göre değişkenlik gösterebilmektedir [130].

Akıllı camların kullanılacağı cephelerde aks aralıklarına göre yerleştirilen altyapı elemanlarının yapıya tespiti önemlidir. Öncelikle, hazırlanan projeye göre uygulanacak olan malzemenin yapıya hatasız olarak monte edilebilmesi için, aplikasyon çalışmasının çok dikkatli yapılması gerekmektedir [130]. Tespit elemanlarının akıllı camlarla olan uyumu ve birlikte çalışabilmesi önemlidir. Malzemelerin birbiri ile uyumsuz olması halinde sistem; rüzgâr, deprem, ısıl genleşme vb. dış faktörlerden olumsuz etkilenebilmektedir. Montaj işleminin hatalı yapılması sonucunda malzemede bozulmalar oluşması ve sarf malzeme oranının artması kaçınılmazdır. [197].

Metal kompozit esaslı akıllı malzemelerde birleşim detayları ve montaj niteliği önemlidir. Özellikle cephelerde kullanılan alüminyum, çinko, titanyum ve paslanmaz çelik kompozit paneller, nemli ve korozif ortamlarda bulunduğunda galvanik korozyona maruz kalabilir. Ayrıca, cephe paneli ve diğer metaller arasında elektriklenmeyi önlemek için bir yalıtım gerektireceğinden metal profiller boyaya gereksinim duyar [197]. Seramik esaslı akıllı malzemelerin cephede kullanımında birçok altyapı elemanı gerektirdiğinden sistem bütünüyle ele alınmalıdır. Bu kısımda en çok karşılaşılan sorunlardan biri, malzemelerin altyapı sistemleriyle uyum sorunudur. Katkılandırılan seramik esaslı akıllı malzemeler, metal esaslı altyapı malzemeleriyle reaksiyona girebilmekte ve ek bir koruma gerektirebilmektedir [41]. Ayrıca, elektrik üreten akıllı malzemelerde iletken altyapı malzemelerinin konumu ve özellikleri, değerlendirilmesi gereken sorunlardandır.

3.2.4 Kullanım

Yapılar kullanım süreçleri boyunca çevresel etmenlerin, biyolojik faktörlerin, katı zararlıların, doğal afetlerin ve çeşitli yüklerin etkisi altında kalmaktadır. Yapılara doğal olarak etki eden bu ölçütler, kullanım süreci ile ilgili ölçütler arasında yer almakta ve yapı ile dış cephe kaplamasında çeşitli hasarlara neden olabilmektedir. Hasarların akıllı dış cephe kaplama malzemelerini etkilemelerinin en büyük sebeplerinden biri de bu malzemelerin dış ortamdan gelebilecek her türlü etkiye ilk olarak maruz kalmasıdır. Bununla birlikte, kullanım süreçlerinde dış cephe kaplamalarında kullanıcı davranışlarından da kaynaklı birtakım sorunlar oluşabilmektedir. Bu sorunların oluşmasında, akıllı malzemelerin yeterince tanınmaması ve bu konudaki bilgi düzeyinin yetersiz olması etken olabilmektedir. Özellikle mimari cephenin korunmasında ve periyodik bakımlarda gerçekleştirilen birtakım hatalı uygulamalar ile cephelere sonradan uygulanan bazı katkılar dış kaplama malzemelerine zarar vermektedir [194]. Bu kapsamda bakım ve onarım için kullanılan malzemeler, yüzeylerde aşınma, çizilme, yıpranma gibi sorunlar oluşturarak akıllı özelliklerin zarar görmesine yol açabilir. Ayrıca söz konusu malzemeler, basınç ve aşınma gibi bazı mekanik etkilere de sıklıkla maruz kalarak zarar görebilmektedir [194].

4

CEPHELERDE KULLANILACAK AKILLI MALZEMELERİN SEÇİMİNDE ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME MODEL ÖNERİSİ

Akıllı malzemeler cephelerde kullanılırken malzeme tanımlarının ve bulunduğu ortam koşullarının değerlendirmesi yapılmalıdır. Değerlendirme yapılırken öncelikle malzemelerin teknik özellikleri ve uygulanabilirliği çeşitli ölçütler çerçevesinde incelenmelidir. Yapının konumu, işlevi, bulunduğu çevre koşulları, kullanıcı türü vb. etkenler söz konusu ölçütlerin tutarlı bir şekilde değerlendirilmesini sağlayarak çevresel uyaranların malzemeler üstündeki avantaj ve dezavantajlarını belirlemede önemli rol oynar. Cephe kurgusu yapılırken kullanılacak olan akıllı malzemelere karar verme sürecinde, bu avantaj ve dezavantajlar dikkate alınarak, ölçütler ve çevresel koşullar çerçevesinde bir seçim modeline gereksinim duyulmaktadır.

4.1 Karar Verme Süreci

Karar verme eylemi, belirli bir amacı gerçekleştirmek için kişilerin veya kurumların sahip oldukları hareket biçimlerinden birini veya birkaçını seçme süreci olarak ifade edilir [199]. Karar verme, genellikle bir sorunun çözüm aşamaları olarak düşünülebilir. Karar verilirken tüm ihtimaller, olumlu ve olumsuz tüm yönleri ile değerlendirilir. Karar verme eylemi, sahip olunan alternatifler arasından, belirlenen ölçütler ile gerçekleştirilmek istenen amaca ulaşmak için en optimal eylem biçiminin seçilmesidir [200].

Karar vericiler, karar verme eylemini gerçekleştirirken istedikleri amaçlara ulaşmak için en optimal olan alternatif, faaliyet, strateji, eylem, olasılık ve seçenek içinden bir veya birkaçını tercih edebilir [200]. Bir sorunun karar verme sorunu olarak tanımlanabilmesi için gereken şartlar;

- Birden çok hareket biçiminin (karar noktasının) olması,
- Her bir hareket biçiminin oluşturacağı etkinin birbirinden farklı olması,
- Ulaşılmak istenen amaç ve hedeflerin belirlenmiş olmasıdır [201].

Karar verme sürecinin temel aşamaları genel bir ifade ile; sorunun belirlenmesi ile başlar ve tüm karar alternatiflerinin sıralanması şeklinde ilerler. Karar vericilerin

kontrolünde olmayan tüm ihtimaller ve her bir alternatifin doğuracağı sonuçlar için karar matrisi tabloları ve modelleri oluşturularak, en optimal sonucu veren karar alternatifinin seçilmesi amaçlanır. Karar verme süreci aşamaları genel olarak;

- Sorunun belirlenmesi,
- Sorunun oluşmasındaki nedenler,
- Alternatiflerin belirlenmesi,
- Alternatiflerin değerlendirilmesi ve kontrol edilmesi,
- Alternatiflerin bazılarının elenmesi,
- En uygun alternatifin seçilmesi,
- Uygulama yönteminin belirlenmesi
- Kararın uygulanması

şeklinde sıralanabilir [202].

Karar verme süreci, belli bir sistem çerçevesinde, sorunun tanımlanmasından, ulaşılmak istenen hedeflere kadar planlanarak uygulanmalıdır. Belirlenen hedeflere ulaşabilmek için en optimal alternatifi seçebilmek, sıralayabilmek veya sınıflandırabilmek için yararlanılan birçok analiz ve yöntem mevcuttur. Bu tür karar verme analiz modelleri temel olarak üçe ayrılır. Bunlar 'Tek Amaçlı Karar Verme', 'Karar Destek Sistemleri' ve tez kapsamında bina cephelerinde son dönemlerde kullanım oranı artan akıllı malzemelerin seçiminde kullanılacak olan 'Çok Kriterli Karar Verme' (ÇKKV) şeklinde sıralanabilir [203].

Tek amaçlı karar verme yöntemleri, sadece tek bir amacın var olduğu hallerde karmaşık sonuçlar ile mevcut alternatifleri değerlendiren yöntemlerdir. Karar destek sistemleri, karar verme sürecinin aşamalarında yöntemleri, teknikleri, modelleri ve lazım olan diğer yardımcı araçları bir araya getirerek karar vericilere anlaşılması zor ve tanımlanamamış sorunların çözümünde yararlı olan yazılım programı ve sistemlerdir [203]. Çok kriterli karar verme yöntemleri ise; çoğunlukla karar sorununun birden fazla ve birbirleriyle çelişen nitel ya da nicel kriterlere göre alternatiflerden en optimal olanını seçmek, sıralamak veya sınıflandırmak için geliştirilen sayısal yöntemlere verilen genel bir tanımlamadır [204]. Çok kriterli karar verme yöntemlerinin başlıca amacı karar vericiler için en optimal alternatifi belirlemektir [205].

4.1.1 Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri

Çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri, birden fazla ve bağımsız alternatifi göz önünde bulundurarak en optimal alternatifin seçilmesini sağlayan yöntemlerdir [206]. Alternatif seçenekler ile ölçütlerin birden fazla olması karar sorununun karmaşıklığını arttırmakta ve karar verme sürecini uzatmaktadır. Soruna ait verilerin farklı türlerde olması ve birbirleri ile kıyaslama yapılamaması gibi zorluklar ÇKKV (Çok Kriterli Karar Verme) yöntemlerinin geliştirilmesine zemin hazırlamıştır [207].

Karar vericiler, süreç içinde karşılaştıkları sorunların çözümünde alternatif seçenekleri değerlendirirken, ölçütlerin çok sayıda olması ve eş zamanlı olarak değerlendirilmesi gibi zorluklarla karşılaşabilirler. Bu kapsamda, genellikle gerçekleştirilmek istenen amaç ile mevcut seçenekler arasında çelişki olması durumunda çok kriterli karar verme yöntemleri tercih edilmektedir. ÇKKV yöntemlerinin kullanılmasındaki en önemli nedenlerden biri, ölçüt ve seçenek sayısının çok fazla olduğu karar sorunlarında etkili ve hızlı karar vermektir. Karar verici tarafından sorunun doğru ve eksiksiz bir biçimde anlaşılarak tanımlanması çözüm üretmenin en önemli adımdır. Soruna ait alternatif karar verme biçimleri ve kriter değerlerinin gösterildiği bir karar matrisi oluşturularak, amaca en uygun ÇKKV yöntemi ile çözüme ulaşılabilir.

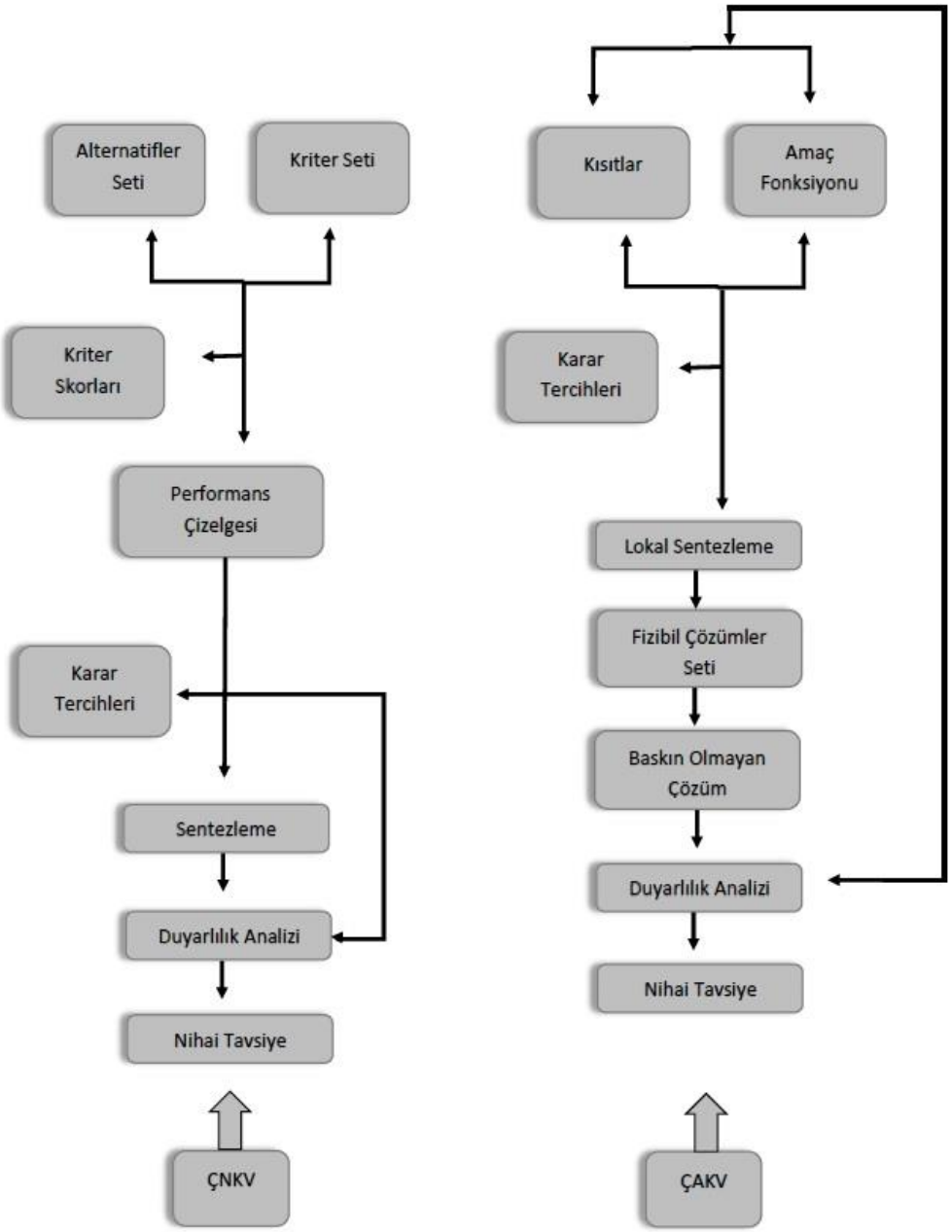
Çok kriterli karar verme yöntemleri, "Çok Nitelikli Karar Verme ve Çok Amaçlı Karar Verme" olarak iki başlık altında sınıflandırılabilir [208].

- Çok Amaçlı Karar Verme (ÇAKV): Alternatif karar verme biçimlerinin matematiksel kodlama yoluyla tanımlandığı, sonsuz sayıda seçeneğin üretilebildiği, süreklilik arz eden durumlarda uygulamak için geliştirilen yöntemlerdir [209].

- Çok Nitelikli Karar Verme (ÇNKV): Sonlu sayıda tanımlanan kesinleşmiş karar verme biçimleri arasından en uygun seçeneğin seçilmesi (sıralaması ya da sınıflanması) için geliştirilmiş yöntemlerdir [210]. Çok nitelikli karar verme problemlerinde alternatif hareket biçimleri sonlu durumdadır ve seçeneklerin sayısı da önceden bellidir. Kesikli bir süreç söz konusudur [204].

ÇAKV ve ÇNKV yöntemleri arasındaki en temel fark seçeneklerin sayısıdır. Karar vermede alternatif sayısının önceden belli olduğu durumlarda (sayıca daha az) ÇNKV, alternatif sayısının teorik olarak sonsuz (sayıca çok) olduğu durumlarda da ÇAKV yöntemlerinin kullanılması uygundur [211]. ÇNKV ile ÇAKV yöntemlerinde karar

verme süreçleri Şekil 4.1'de gösterilmiştir [212]. Sınırlı sayıda seçeneklerin değerlendirileceği bu çalışmada, ÇNKV yöntemleri değerlendirilerek en uygun yaklaşım biçimi geliştirilecektir.



Şekil 4.1 ÇNKV ile ÇAKV yöntemlerinde karar süreci [212]

ÇNKV sorunlarında alternatif seçeneklerin sayıları önceden bellidir ve her birinin önem değeri belirlenen ölçeğe göre hesaplanır. Bu tür karar verme sorunlarında her seçenek için, her bir ölçüt bazında karşılaştırmalar yapılır. ÇNKV yöntemlerinde alternatif hareket

biçimleri, değerlendirme ölçütleri ve sonuçları gerçek sayısal değerler ile ifade edilir. Bu yöntemler temel olarak; ELECTRE, PROMETHEE ve Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) başlıkları altında incelenebilir [212].

ELECTRE (Elimination and Choice Translating Reality) yöntemi, çeşitli alternatiflerin olası tüm çiftlerini her bir kritere göre kıyaslayan ve ölçütlere göre sonuçlandıran bir analiz yöntemidir. Bu yöntem, alternatifler arasındaki ikili üstünlük karşılaştırmalarına dayanmaktadır. PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method For Enrichment Evaluations) yöntemi, alternatifler arasında ikili kıyaslamalar yapılarak öncelik sıralamalarının yapıldığı bir yöntemdir. PROMETHEE yöntemi, karar alternatifleri arasından en optimum olanı tercih etmek için geliştirilmiştir. Tez kapsamında kullanılacak olan AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) yöntemi ise karar verme sürecinde nitel ve nicel ölçütleri birlikte değerlendirebilen, karar vericilerin edindikleri bilgi birikimi ve sezgilerle bir bütün olarak karar sürecine dahil olmalarına olanak sağlayan bir yöntemdir [213]. Çalışma kapsamında, AHP yöntemi detaylıca ele alınıp, akıllı malzeme seçiminde kullanılmak üzere seçilmiştir.

4.1.2 AHP Yöntemi

AHP yöntemi, birden fazla nitel ve/veya nicel ölçütlere sahip karmaşık sorunları çözmek için tasarlanmış bir seçim yöntemidir. AHP tekniğinin kullanım alanları oldukça geniştir. İnsan kaynakları, satış, pazarlama, satın alma, finans, nükleer teknoloji, bilgi teknolojileri, üretim, matematik, çevrebilimleri ve daha birçok alanda uygulamaları mevcuttur [214]. Bu doğrultuda söz konusu yöntemin, cephelerde kullanılacak olan akıllı malzeme seçiminde de bir seçim yöntemi olarak kullanılabilirliği incelenecektir.

AHP yöntemi, karar vericilere nasıl karar vermeleri gerektiğini empoze etmek yerine, karar vericilerin kendi karar verme süreçlerini belirlemelerine imkân vererek, esnek ve daha optimal sonuçlar üreten bir yöntemdir [214]. AHP, karar vericilerin ulaşmak istedikleri hedefe uygun olarak nitel ve nicel değişkenleri sayısal yöntemlerle birlikte değerlendirebilir [215].

AHP yönteminin ilk aşaması, karar vericinin ulaşılmak istenen hedefe göre belirlenen ölçütler ve olası alt ölçütleri belirleyerek, hiyerarşik yapıyı oluşturmasıdır. Söz konusu ölçütlerin belirlenmesinde; bilimsel kaynakların değerlendirilmesi, uzman veya kullanıcı

görüşüne başvurulması, kararlarda ağırlık verme yaklaşımı, yüz yüze görüşme ile bilgi toplama yaklaşımı ve bu görüşmelerde anket yapılması gibi yöntemler uygulanabilir [216]. Başka bir açıdan tanımlamak gerekirse, AHP yönteminde ilk olarak bir amaç (hedef) ve bu amaca uygun olan ölçütler belirlenir, son aşamada da alternatif seçenekler tanımlanarak hiyerarşik yapı oluşturulur [216]. AHP yönteminin etkin bir şekilde kullanılabilmesi için uygulanan adımlar;

- Sorunun tanımlanması
- Hiyerarşik yapının oluşturulması
- İkili karşılaştırmalarla önceliklerin belirlenmesi
- Kriterlerin ve alternatiflerin göreli önem değerlerinin belirlenmesi
- Alternatiflerle ilgili sıralamanın belirlenmesi
- Duyarlılık analizinin yapılması.

şeklindedir [217].

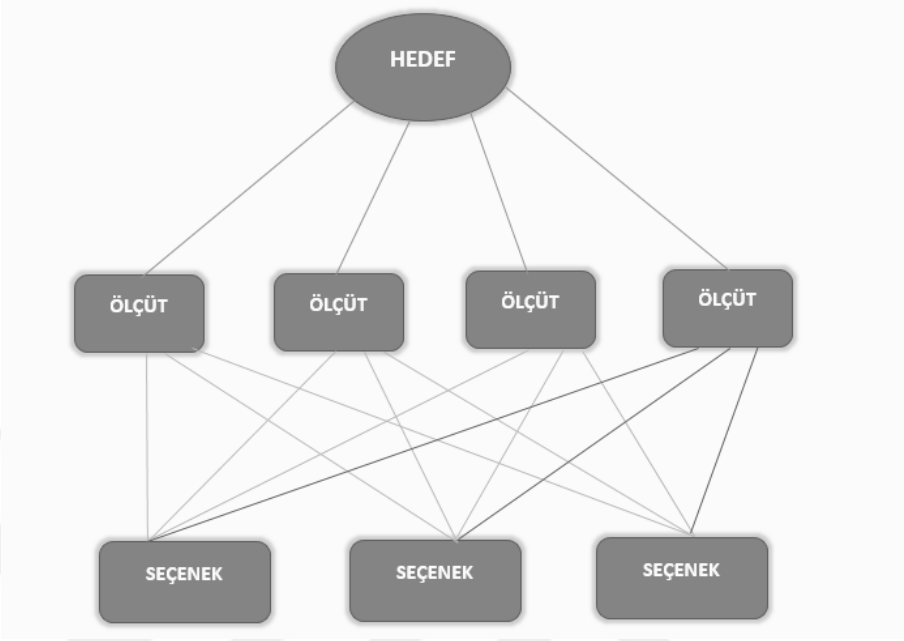
Sorunun Tanımlanması

Etkili bir karar verme süreci için sorunun iyi tanımlanması gerekmektedir. İlk aşamada alternatif karar biçimleri saptanarak kaç seçenek üzerinde değerlendirme yapılacağı belirlenir [218]. Ölçütlerin belirlenmesinden sonra bu ölçütlerin doğru ve net bir şekilde tanımlanması, ikili karşılaştırmaların tutarlılığını ve sorunun etkin bir şekilde çözülmesini sağlar [204].

Hiyerarşik Yapının Oluşturulması

Karar sorunlarının net bir şekilde tanımlanarak, hiyerarşik yapının oluşturulması AHP yönteminin ilk adımlarını oluşturur. Oluşturulan hiyerarşik yapıda en alt seviyede karar seçenekleri bulunur. Üst seviyedeki ölçütler ise bir üst seviyedeki ölçütlere bağlı biçimde en üst seviyede belirtilen hedefe kadar uzanır [219]. Üç seviyeli bir hiyerarşik yapı, karar sorununun en basit gösterim şeklidir. En üst seviyede karar sorununun gerçekleştirmek istediği amaç (hedef) yer alır. Bir altındaki seviyede karar sorununun sonucunu etkileyecek ölçütler bulunur. Ana hedefe etki edebilecek yeni ölçütler oluşursa, hiyerarşik

yapıya yeni seviye eklenebilir. Hiyerarşik yapıdaki seviyelerin sayısı, karar sorununun karmaşıklığı ile doğru orantılıdır. [220]. Şekil 4.2'de üç seviyeli hiyerarşi modeli gösterilmiştir [204].



Şekil 4.2 Üç seviyeli bir hiyerarşi modeli [204]

İkili Karşılaştırmaların Yapılması

Oluşturulan hiyerarşik yapıdaki tüm öğelerin ikili karşılaştırılmaları yapılarak birbirlerine olan üstünlükleri ikili karşılaştırma matrisleri biçiminde gösterilir. Böylelikle karar vericilerin belirlediği seçenek ve ölçütlerin önem ağırlıkları ikili karşılaştırma matrisleri sayesinde belirlenmiş olur [221]. İkili karşılaştırma matrisleri, AHP yönteminin temelini oluşturur. Bu karşılaştırmalarda eşit derecede öneme sahip olan ölçütler için 1 değeri verilir. Bir ölçüt diğer ölçüte göre zayıf üstünlük oluşturuyorsa 3, fark edilir bir üstünlükte 5, güçlü üstünlükte 7, mutlak olan önem üstünlüğünde ise 9 verilir. Ara değer olarak düşünülen önem dereceleri için de 2, 4, 6, 8 değerleri verilir [204]. Matrisler oluşturulurken Tablo 4.1'deki Thomas L. Saaty tarafından geliştirmiş olan 1 ve 9 arasında değişen değerler verilen karşılaştırma ölçeği olarak kullanılabilir [222].

Tablo 4.1 AHP'de kullanılan temel ölçek ve tanımları [223]

Rakamsal değerler	Karşılığı (Önem düzeyi)
1	Eşit
3	Daha önemli
5	Kuvvetli derecede önemli
7	Çok kuvvetli derecede önemli
9	Aşırı derecede önemli
2,4,6,8	Ara değerler

İkili karşılaştırma matrisi oluşturulurken hiyerarşik yapının en üst katmanında bulunan amaca ulaşmak için, en alt katmanda bulunan karar alternatiflerinin herbir ölçüt ve alt ölçütlere göre kıyaslanması gerekir. Örneğin; A ve B alternatifleri, X ve Y ölçütlerine göre kıyaslanırken, belirli durumlar çerçevesinde üstünlükleri belirlenir. X ölçütü ele alındığında, A seçeneği, B seçeneğinden 3 kat daha verimli performans gösteriyorsa A satırı ve B sütununun kesiştiği yerdeki değer 3 olur. Dolayısıyla tersinir olarak, B satırı ve A sütununun kesiştiği yerdeki değer de 1/3 olur. Aynı şekilde Y ölçütü ele alındığında, A seçeneği, B seçeneğinden 7 kat daha verimli performans gösteriyorsa A satırı ve B sütununun kesiştiği yerdeki değer 7 olur. Yine tersinir olarak, B satırı ve A sütununun kesiştiği yerdeki değer de 1/7 olur. Aynı seçeneklerin satır ve sütunda kesiştiği yerlerdeki değer ise daima 1 olur. A ve B seçeneklerinin X ve Y ölçütlerine göre karşılaştırma matrisleri Tablo 4.2'de gösterilmiştir.

Tablo 4.2 Alternatiflerin ölçütlere göre karşılaştırma matrisleri [224]

X		
	A	B
A	1	3
B	1/3	1

Y		
	A	B
A	1	7
B	1/7	1

Alternatiflerin ölçütere göre kıyaslandığı karşılaştırma matrislerinde performans skorları verilip satır ve sütunlara yerleştirildikten sonra bu alternatiflerin önem değerleri belirlenir.

Önem Değerlerinin Belirlenmesi

Karşılaştırma matrisleri oluşturulduktan sonra, tutarlılıklar kontrol edilerek karşılaştırılan öğelerin öncelik değerleri belirlenir. Öncelik değerleri belirlenirken ilk olarak ikili karşılaştırma matrisinin her bir sütununun toplamı hesaplanır. Matristeki tüm elemanlar bu sütun toplamına bölünür ve herbir sütun için bu işlem gerçekleştirilir (Tablo 4.3). Elde edilecek sonuç matrisi "normalize edilmiş" matris olur.

Tablo 4.3 Matristeki elemanların sütun toplamına bölünmesi [224]

X		
	A	B
A	1	3
B	1/3	1
TOPLAM	1,33	4

Y		
	A	B
A	1	7
B	1/7	1
TOPLAM	1,14	8

X		
	A	B
A	0,75	0,75
B	0,25	0,25

Y		
	A	B
A	0,88	0,88
B	0,12	0,12

Normalize edilmiş matrisin satır elemanlarının aritmetik ortalaması hesaplanır [224]. Bu ortalama değerler, önem derecelerini yüzdeler olarak belirlemiş olur ve karşılaştırılan alternatiflerin öncelikleri konusunda bir tahmin sağlar (Tablo 4.4). Böylece, karar sorununda ulaşılmak istenen hedefe göre hiyerarşideki her bir ölçütün göreceli önem değeri belirlenmiş olur [225].

Tablo 4.4 Önem derecelerinin belirlenmesi [224]

X			
	A	B	SATIR ARALIĞI
A	0,75	0,75	0,75
B	0,25	0,25	0,25

Y			
	A	B	SATIR ARALIĞI
A	0,88	0,88	0,88
B	0,12	0,12	0,12

İkili karşılaştırmalar sonucunda, öncelik değerleri sentezlenerek karar sorununun çözümünde ulaşılmak istenen hedefe yönelik seçeneklerin öncelikleri elde edilir. Sonraki adımda ölçütlerin öncelik değerleri ile seçeneklerin öncelik değerleri hesaplanarak birleştirilir. Oluşan sonuçlardan en yüksek değere sahip olan karar alternatifi, en uygun seçim olur [204].

Alternatiflerle İlgili Sıralamanın Belirlenmesi

AHP yönteminin bu aşamasında karar sorununda ulaşılmak istenen hedefe yönelik seçenekler, ağırlıklı sonuçlara göre sıralanır. Hedefe ilişkin karşılaştırılan ölçütler ve alt ölçütler için ayrı karşılaştırma yapılır. Son olarak hiyerarşide karar alternatiflerinin üzerindeki alt ölçütlerin her biri için ikili karşılaştırmalar yapılır. Bu karşılaştırma matrislerinden elde edilen öncelik değerleri birleştirilir ve en alt kademede bulunan karar alternatifleri için ağırlıklı sonuçlar oluşturulur. Böylelikle karar verici, bu ağırlıklı sonuçlara göre sıralanmış olan karar alternatiflerinden, hedefe en uygun olanını belirler [226].

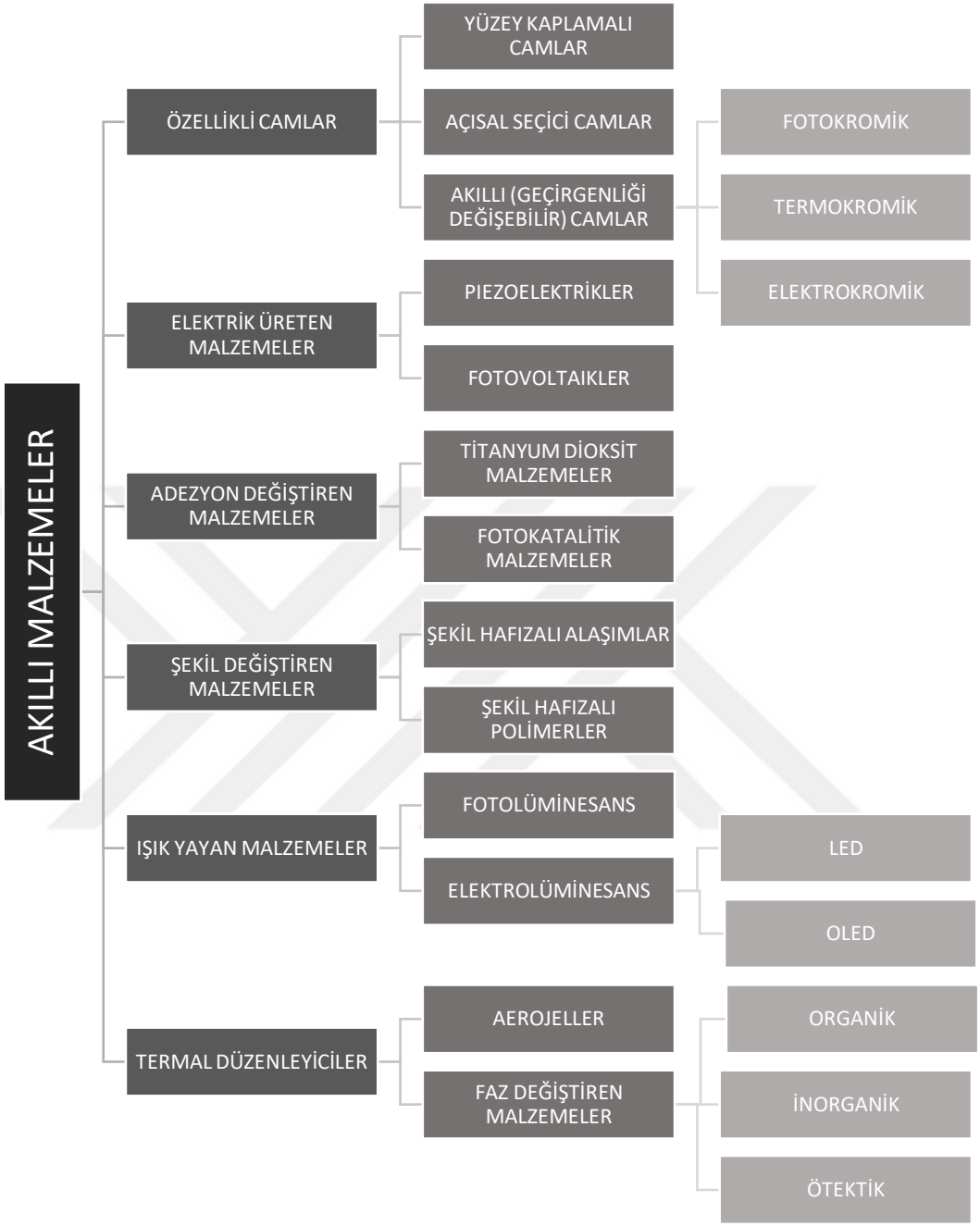
Duyarlılık Analizinin Yapılması

Duyarlılık analizi gerekli sıralamalar yapıldıktan sonra, karar verme sürecinin basamaklı olarak geriye dönük değerlendirilmesidir. Böylece sıralamada gerekli düzenlemeler yapılabilir. AHP yönteminde, duyarlılık analizi incelemesi, karşılaştırma sırasında ortaya çıkan yargıların değişebileceği temeline dayanır [227]. Bu nedenle yapılacak değişikliklere imkân tanıyan bir model oluşumunda duyarlılık analizinin yapılması faydalı olacaktır.

4.2 AHP Yöntemi ile Cephelerde Kullanılan Akıllı Malzemelerin Seçim Modeli Önerisi

Akıllı malzeme seçim modeli oluşturulurken, sistem elemanlarının işlevsel ilişkilerini ve bunların sistemin bütününe etkilerini analiz etmek yapılması gereken ilk adım olarak düşünülebilir. Bu analiz kapsamında bir sistem oluşturulurken alternatifler niteliklerine göre gruplara ayrılır. Grupları çeşitli başlıklar altında toplamak, ayrı ayrı grupların birbirleri ile ortak bazı nitelikler taşıması durumunda mümkün olur. Bu nedenle seçim modelinde değerlendirmeye alınacak akıllı malzemelerin nitelikleri ve çalışma prensiplerinin ifade edilmesi gerekir. Çeşitli niteliklere göre alt başlıklar altında sınıflandırılan akıllı malzemeler, oluşturulan karar verme modelinin olası alternatiflerini oluşturur. Tezin ikinci bölümünde detaylı bir şekilde sınıflandırılarak incelenen akıllı malzeme alternatiflerinden, değerlendirmeye alınacak alternatifler belirlenerek karar oluşturmak üzere kıyaslanır (Tablo 4.5). Kıyaslama yapılırken dikkate alınması gereken; teknik performans, yapı fiziği performansı, sürdürülebilirlik, yapım ve kullanım süreci performansı gibi birtakım ölçütler bulunur. Bu ölçütler, akıllı malzemelerin seçiminde etkili olan ve karar verme modelinde rol oynayacak performans ölçütleridir. Tezin üçüncü bölümünde detaylı olarak incelenen performans ölçütleri ise karar verme modelinin kıyaslama ölçütlerini oluşturacaktır (Tablo 4.6).

Tablo 4.5 Değerlendirmeye alınacak alternatif akıllı malzemeler



Tablo 4.6 Değerlendirmeye alınacak performans ölçütleri

		ÖLÇÜTLER	TANIM	ETKEN	AVANTAJLAR	OLASI SORUNLAR
MALZEME KAYNAKLI ÖLÇÜTLER	TEKNİK PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ	**DURABİLİTE**	Akıllı malzemelerin sağlamlık durumu [126]	Cephe yükü, rüzgar, yağmur, kar, sıcaklık değişimi, sel.	Yapısal katkıların malzemeye mukavemet katması, akıllı sistemlerin cephe statiğini destekleyerek nitelikli değişimler yapmasını sağlaması.	Birleşim noktalarında mukavemet kaybı, sarsıntı sonucu aşınma, kopma, fiziksel ve kimyasal bozulmalar, bağlantılarda zayıflama, genleşme, kırılma, şekil değişimi.
		MEKANİK ETKİLER	Akıllı malzemelerin dış kuvvetlere karşı şekil değişikliği ile gösterdiği direnç durumu [128].	Basınç, çekme, kayma (makaslama), burulma, sertlik, aşınma.	Hafif, işlenebilir ve şekil değiştirebilir malzemelerde uyarlanabilirlik özellikleri, teknik uygulamaların kontrol edilebilirliği, uzama, eğilmezlik ve önümleme özellikleri.	Çarpma, darbe, kötü kullanım vb. sonucu şekil değişiklikleri, gerilmelerden dolayı oluşan bozulmalar, rötre, vandallık, şekil değişimi.
		YANGIN DAYANIMI	Akıllı malzemelerin yangına karşı göstedikleri dayanım	Yanıcı maddeler, yakıcı gazlar, södürücülerdeki zararlı kimyasallar, sıcaklık, rüzgar yönü.	A sınıfı yanmaz özellikte olan malzemelerin yangına dayanıklı olması, akıllı camlardakı boşlukların yalıtımlı olması, malzemelerin yalıtım elemanları ile birlikte kullanılabilir olması.	Isıl deformasyonlar, genleşme, şekil değiştirme, alevlenme, duman sızdırma, zararlı tepkimeler, patlama, kısa devre, yüksek voltaj, bağlantı elemanlarında dayanımın kaybolması.

Tablo 4.6 Değerlendirmeye alınacak performans ölçütleri (devamı)

		ÖLÇÜTLER	TANIM	ETKEN	AVANTAJLAR	OLASI SORUNLAR
MALZEME KAYNAKLI ÖLÇÜTLER		**YÜZEY BAKIMLARI ve TEMİZLİK**	Akıllı malzemelerin çevresel kirleticilere karşı kir tutmama ve kolay temizlenebilme özellikleri	Çevre kirliliği, uçucu gazlar, tozlar, yağmur suyu, rüzgar yönü, temizlik malzemelerindeki zararlı kimyasallar.	Adezyon değiştiren akıllı malzemelerin kendi kendini temizleyebilen türlerinin olması, pürüzsüz yüzeye sahip olan akıllı malzemelerin kirleticilerden az ekkilenmesi ya da homojen kirlenmesi, yağmur suyu ile temizlenebilir özellikte olması.	Malzemelerde kirlenme, çizilme, aşınma, saydam yüzeylerde heterojen dağılım, temizleyicilerdeki katkılarla zararlı tepkimeler, kullanıcılarda solunum ve deri rahatsızlıkları, malzeme özelliklerinde bozulmalar.
	YAPI FİZİĞİ PERFORMANSI	**ISIL ÖLÇÜTLER**	Akıllı malzemelerin özgül ısısı, ısıl iletkenliği ve ısıl genleşme özellikleri	Sıcaklık, ısıl transferlere karşı direnç, iletim, taşınım, ışınımla ısı transferi, kalınlık, yoğunluk, ısıl iletkenlik kat sayısı, rüzgar, basınç ve yoğuşma.	Sıcaklık ve basınç etkisiyle nitelikli faz değişimi yapan akıllı malzemelerle ısısal konfor sağlanması, termal düzenleyici malzemelerin ısı geçişlerini ve ısıl köprüleri engellemesi.	Duvar çatlakları, aşınma, kopma, ısıl deformasyonlar, genleşme ve büzüşmeler, ısı köprüleri, yapı içi hava niteliğinde bozulmalar.
		SU ve NEM	Akıllı malzemelerin su geçirimliliği	Yağmur, nemlilik, yoğuşma, malzemlerin geçirgenliliği, gözenekliliği, tane düzeni, çapı, sızdırmazlığı, kimyasal reaksiyonlar.	Saydam özellikteki akıllı malzemelerin sızdırmaz membranlarla birlikte kullanımı, termal düzenleyici mlzemelerin buhar bariyeri görevi görerek su ve nem geçişini en aza indirebilen özellikte olması.	Korozyon, taşıyıcı sistem hasarları, nem, yoğuşma, terleme, kapiler su yükselmesi, küflenme, çürüme zehirli gazların birikmesi, strüktürel bozulmalar.

Tablo 4.6 Değerlendirmeye alınacak performans ölçütleri (devamı)

		ÖLÇÜTLER	TANIM	ETKEN	AVANTAJLAR	OLASI SORUNLAR
MALZEME KAYNAKLI ÖLÇÜTLER	YAPI FİZİĞİ PERFORMANSI	**YOĞUŞMA**	Akıllı malzemelere basınç farkından dolayı meydana gelen su buharı	Sıcaklık, nem, basınç.	Termal düzenleyici malzemelerin yoğuşmaya karşı buhar kesici bariyer özellikte olması.	Nem, yoğuşma, terleme, cephede çiçeklenme, yosun, mantar, zehirli gazların salınımı, hal değişimlerine duyarlılık, malzeme ve bileşenlerinde bozulmalar.
		GÜNEŞ KONTROLÜ	Güneş ışınlarının enerji verimliliği açısından cephe malzemelerine etkisi	Güneş ışınlarının geliş açısı, malzemelrin opaklığı, iklim, bulutlu gün sayısı, enerji geçirgenliği.	Tayfsal seçici, açısal seçici ve geçirgenliği değişebilir akıllı camların, Güneş ışınlarının geliş açısına göre opaklığını değiştirebilir özellikte olması, ısı, ışık ve elektrik etkisiyle geçirgenliğini ayarlayabilmesi.	Zararlı ışınların kullanıcılar ve malzemeler üzerindeki olumsuz etkileri, radyasyon etkisi, cephede renk solması, ışınım ile ısınma sorunları, kamaşmalar, şekil değişiklikleri.
		AKUSTİK	Akıllı malzemelerin gürültü kontrolü	Gürültü düzeyi, malzemelerin ses geçirgenlik katsayısı, yoğunluk, pürüzlülük ve gözeneklilik.	Gözenekli malzemelerin gülültü düzeyini azaltarak iç mekana geçirmesi, şekil değiştiren malzemelerin aynı zamanda az da olsa gürültü kontrolü sağlayabilmesi.	Gürültü kirliliği, akustik sorunlar, yalıtım malzemelerinin akıllı malzemeler ile detay sorunları, kullanıcılarda işitme ve psikolojik rahatsızlıklar.
	SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK	**YAPIM ATIKLARI ve GERİ DÖNÜŞÜM**	Akıllı malzeme üretiminde doğal kaynakların gereksiz kullanımını önleme ve atıkları geri dönüştürme	Ham madde üretimi, doğal kaynak durumu, atık yönetimi, fire oranı.	Şekil ve faz değiştiren malzemelerin atıkları azaltarak sürdürülebilirliği ve geri dönüşümü desteklemesi, enerji tasarrufu sağlayarak bilinçsiz tüketimin önüne geçilmesi. Elektrik üretebilen malzemelerin mekanik kuvvetleri elektrik enerjisine dönüştürebilmesi.	Doğal kaynakların gereksiz kullanımı, ham madde üretimindeki hatalar, atık yönetiminin başarısızlığı, malzemelerin geri dönüştürülebilir olmaması.

Tablo 4.6 Değerlendirmeye alınacak performans ölçütleri (devamı)

		ÖLÇÜTLER	TANIM	ETKEN	AVANTAJLAR	OLASI SORUNLAR
MALZEME KAYNAKLI ÖLÇÜTLER		**KULLANIM ÖMRÜ ve YAŞAM DÖNGÜSÜ**	Akıllı malzemelerin ham madde ediniminden, yeniden kullanım veya yok etme süreçlerine kadarki aşamaları	Sıcaklık, nem, basınç, rüzgar, üretim ve dağıtımdaki hususlar, bakım sıklığı, kullanım ömrü bittiğindeki söküm ve yıkım metodları.	Akıllı malzemelerin yaşam döngüsüne katkıda bulunması, adezyon değiştiren malzemelerin kendi kendini temizleyerek daha uzun ömürlü olması.	Üretim aşamasında çevresel zarara sebep olabilmesi, uygulanma aşamasında kullanılan yapıştırıcılar ve boyaların hava niteliğini bozabilmesi, geri dönüştürülebilir olmaması nedeniyle kaynak kullanımının ve çevre kirliliğinin artması.
		İKLİM KOŞULLARIN-DAN ETKİLENME	Akıllı malzemlerin iklim koşullarına ve çevresel uyaranlarına karşı tepkisi	İklim verileri, sıcaklık, nem, güneş radyasyonu, rüzgar verileri, meteorolojik veriler.	Akıllı camların güneşli gün sayısı ve geliş açısında göre opaklığının değişmesi, termal düzenleyici malzemelerin iklim koşullarına göre ısı yalıtımı yapabilmesi.	İstenmeyen ısıl kazanç ve kayıplar, yapı içi hava niteliğimdeki konforsuzluk, ısıtma, soğutma ve havalandırma sorunları.
	DİĞER	**ESTETİK ve RENK ÖLÇÜTÜ**	Akıllı malzemelerin tasarım esnekliğine ve görsel niteliğe karşı gösterdiği uyum	Cephe bileşenlerinin biçimi, oranı, boyutu, rengi, modülü, dengesi, kontrastı, ölçek ve tekrarı.	Hafif, işlenebilir ve şekil değiştirilebilir akıllı malzemelerin farklı tasarım ve formlara uygun olması, renk seçeneklerinin olması.	Doluluk boşluk, doku, ışık ve gölge oluşumlarının algıyı güçleştirmesi, her zaman istenilen renk ve boyutta üretilememesi, malzemedeki katkıların form değişikliklerine izin vermemesi, akıllı camlardaki heterojen koyulaşma, iç mekanda dengesiz ışık yayılımı.

Tablo 4.6 Değerlendirmeye alınacak performans ölçütleri (devamı)

		ÖLÇÜTLER	TANIM	ETKEN	AVANTAJLAR	OLASI SORUNLAR
MALZEME KAYNAKLI ÖLÇÜTLER	DİĞER	**EKONOMİK ÖLÇÜTLER**	Akıllı malzemlerin yaşam döngüsü içindeki maliyet tekniği	Malzemelerin üretim şekli ve temini, bakım, onarım, işletme ve yenileme maliyetleri, yaşam döngüsü maliyeti	Akıllı malzemelerin ilk yatırım maliyetleri yüksek olsa da kullanım sürecindeki enerji verimliliği ve çevresel uyaranlara verdiği nitelikli tepkilerle kullanım sürecinde daha ekenomik olması.	Ham madde yetersizliği, hatalı üretim, ilk yatırım maliyetleri, enerji maliyeti, yerli üretim azlığı
		SAĞLIK ÖLÇÜTÜ	Akıllı malzemelerde bulunan nano katkıların çevre ve insan sağlığına etkisi	Yüzey özellikleri, kimyadsal bileşenler, malzeme boyutları, üretim şekli, nano partikül sayısı, doğrudan temas	Termal düzenleyicilerin yapı içi ısısal ve nem konforunu sağlaması, şekil değiştiren malzemelerin kirleticileri uzaklaştırarak yapı içi hava niteliğini düzenlemesi, akıllı camların güneş kontrolü yaparak kamaşmayı ve UV ışınların zararlı etkilerinii önlemesi.	Üretici, uygulayıcı ve kullanıcılarda görülen sağlık sorunları, solunum, dolaşım ve deri hastalıkları, alerjik reaksiyonlar, zararlı gazlar ve toz bulutlarının nano patlamalara neden olabilmesi
	YAPIM ve KULLANIM	**TASARIM SÜRECİ ÖLÇÜTÜ**	Akıllı malzemelerin projelendirme aşaması	Sistem kesitleri ve nokta detayları, bağlantı elemanları, estetik, maliyet ve malzeme analizleri, hâkim rüzgar, yapı yüksekliği, malzeme boyutu.	Tasarım sürecinde akıllı malzemelerin geleneksel malzemelere uyumu, birlikte kullanılabilirliği, hatalı detaylara nitelikli çözümler sunması.	Su, hava, ses, ısı gibi dış ortam etkilerinin kontrollü geçişinin sağlanamaması (geçirimsizlik), küflenme, paslanma, hava kalitesindeki bozulmalar.

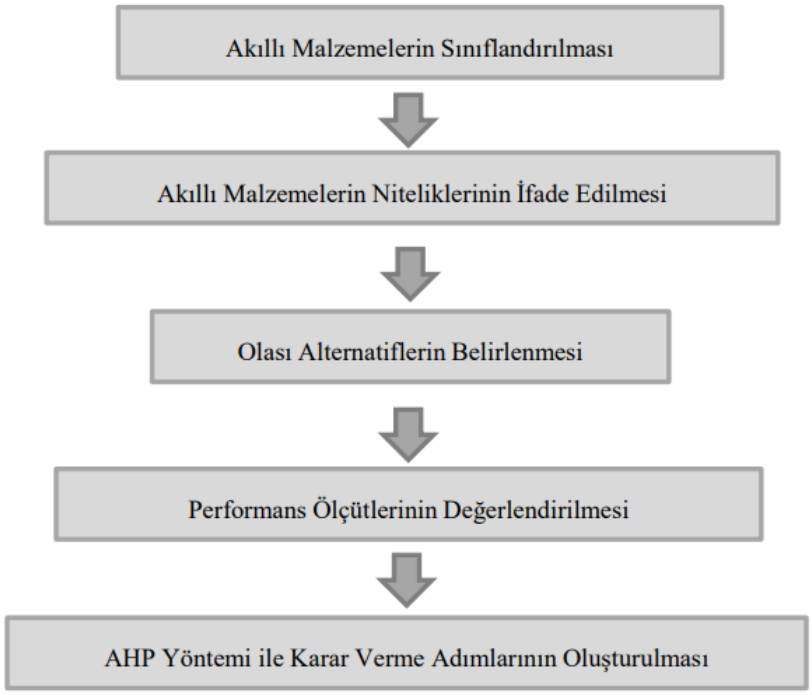
Tablo 4.6 Değerlendirmeye alınacak performans ölçütleri (devamı)

		ÖLÇÜTLER	TANIM	ETKEN	AVANTAJLAR	OLASI SORUNLAR
MALZEME KAYNAKLI OLMAYAN ÖLÇÜTLER	YAPIM ve KULLANIM SÜRECİ ÖLÇÜTLERİ	**ÜRETİM SÜRECİ ÖLÇÜTÜ**	Akıllı malzemelerin üretim aşaması	İmalat projeleri ve sistem detayları, malzemelerin plaka boyutları, kolay şekil verilebilmesi, statik hesaplar, profil uzunlukları, üretim kalıpları ve standart ölçülere uygunluk.	Akıllı katkıların geleneksel malzemelere kazandırılabilir olması, nano boyuttaki katkıların kolay üretilebilir olması.	Boya ve eloksal kaplamalarının standart dışı olması, enerji, ekonomiklik, teknoloji yeterliliği, çevre etkileri, şekil bozuklukları, pişirme şekli, kalite düşüklüğü ve renk farklılığı.
		UYGULAMA SÜRECİ ÖLÇÜTÜ	Akıllı malzemelerin uygulama aşaması	Uygulama projeleri ve sistem detayları, aks aralıkları, yapının konumu, formu, yüksekliği, sıcaklık, rüzgâr, yağış miktarı, nakliye ve depolama durumu, montaj ve tadilat niteliği.	Faz değiştiren malzemelerin dış ortam koşullarından az etkilenmesi, böylelikle depolama, nakliye ve uygulamasının kolay olması.	Depolamaya uygun alanların temini, malzeme muhafazasının zorluğu, hatalı ve hasarlı sevkiyat, yanlış paketleme ve istifleme, montaj zorluğu, farklı malzemelerin tespitindeki uyumsuzluk.

Tablo 4.6 Değerlendirmeye alınacak performans ölçütleri (devamı)

		ÖLÇÜTLER	TANIM	ETKEN	AVANTAJLAR	OLASI SORUNLAR
		KULLANIM SÜRECİ ÖLÇÜTÜ	Akıllı malzemelerin kullanım aşaması	Çevresel etmenler, biyolojik faktörler, zararlı atıklar, doğal afetler, hareketli ve hareketsiz yükler.	Akıllı malzemelerin enerji tüketimini azaltmasının yanı sıra enerji üretebilir özellikte olması, termal düzenleyicilerin ısısal konforu sağlaması, akıllı camların nitelikli güneş kontrolü yapması, adezyon değiştiren malzemelerin kendi kendini temizlemesi, ışık yayan malzemelerin aydınlatma özelliği.	Basınç ve aşınma, mekanik bozulmalar, kirlilik, hatalı kullanım sonucu oluşan konforsuzluklar, malzemelerde oluşabilecek zehirli gaz salınımlarının kullanıcı sağlığını tehdit etmesi, onarım maliyetlerinin yüksek olması.

Alternatifleri ve ölçütleri belirlenen yaklaşım modelinin bir sonraki aşamasında ise AHP yöntemi kapsamında oluşturulan karar verme adımları yer alır (Şekil 4.3).

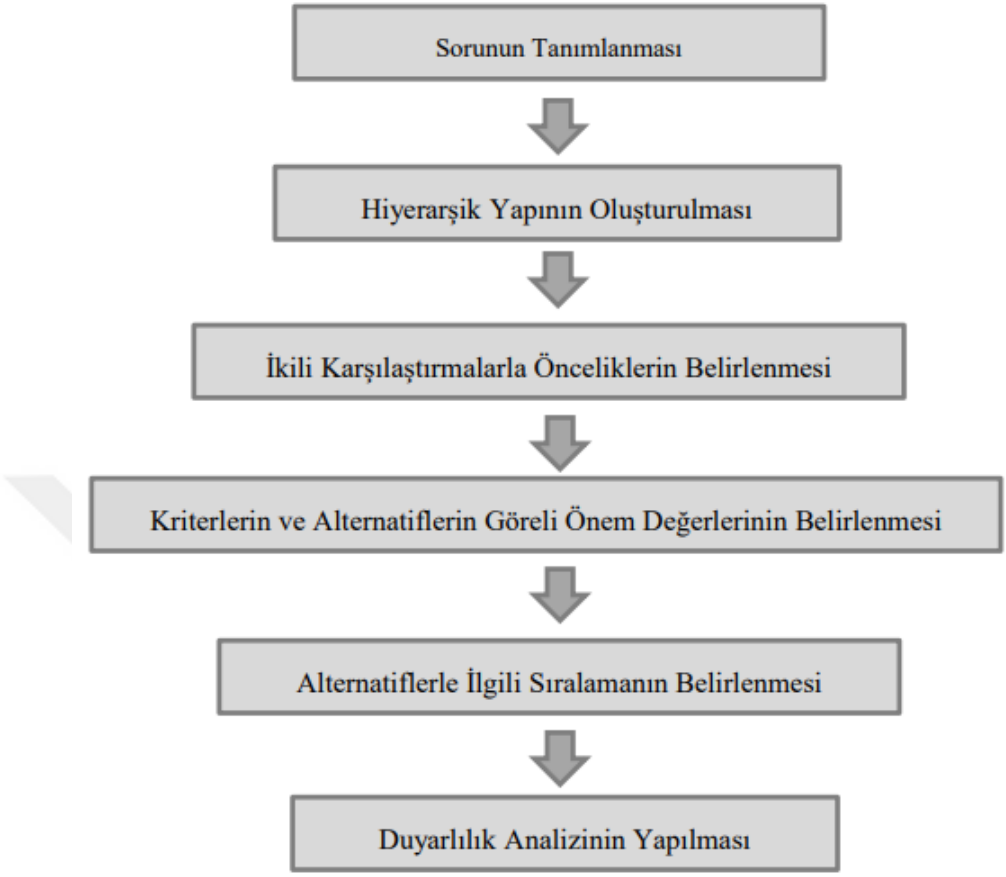


Şekil 4.3 AHP yöntemi kapsamında oluşturulan karar verme adımları

Cephelerde kullanılacak olan akıllı malzemelerin seçim modelinde AHP yönteminin kullanılması, alternatif malzemelerin ölçütler ve alt ölçütler çerçevesinde ikili karşılaştırma matrisleriyle kıyaslanmasına olanak tanır. Bu çerçevede, öncelikle cephelerde kullanılan akıllı malzemelerin sınıflandırılması ve sınıflandırılan malzemelerin niteliklerinin ifade edilmesi gerekmektedir. Malzeme özelliklerine göre olası alternatifler belirlendikten sonra ortam koşullarına göre o malzemeden beklenen performans ölçütleri çerçevesinde değerlendirme yapılır. Yapılan değerlendirmede AHP yönteminin karar verme adımları uygulanarak bir seçim modeli oluşturulur.

AHP yöntemi ile akıllı malzeme seçimi, bu yöntemin uygulama adımlarına göre sırasıyla gerçekleştirilecektir. Çeşitli başlıklar altında incelenecek olan değerlendirme adımlarında kullanılması ön görülen akıllı malzemeler, çeşitli performans ölçütleri çerçevesinde karşılaştırılıp genel bir seçim yaklaşımı oluşturulacaktır. Bu yöntemin etkin bir şekilde kullanılabilmesi için, akıllı malzeme seçimi doğrultusunda uygulanan adımlar, Şekil 4.4'te yer aldığı gibidir [217]. Söz konusu şekilde belirtilen adımlar çerçevesinde, alternatif malzeme seçenekleri ve performans ölçütleri kapsamında karşılaşılabilecek sorunlar değerlendirilerek genel bir model önerisi oluşturulacaktır. Ortaya çıkan ana

model, seçilecek olan alternatif malzemelerin karşılaştırılmasında referans model niteliği taşıyarak örnek bir çalışmaya zemin hazırlayacaktır.



Şekil 4.4 AHP yöntemi ile akıllı malzeme seçim adımları

Sorunun Tanımlanması

AHP yöntemi, etkili bir karar verme süreci için sorunun iyi tanımlanması gerektiğini belirtir. İlk aşamada alternatif karar biçimleri belirlenerek kaç seçenek üzerinde değerlendirme yapılacağı belirlenir [218]. Bu aşamada, dış cephe için kullanılacak olan alternatif akıllı malzeme seçenekleri saptanır. Sonrasında malzemelerin değerlendirilecek performans ölçütleri belirlenerek bu ölçütlerin doğru ve net bir şekilde tanımlanması, ikili karşılaştırmaların tutarlılığını ve sorunun etkin bir şekilde çözülmesini sağlar.

AHP yönteminde bir sorun olduğu belirlendikten sonra, sorunun ne olduğunu açık ve doğru bir biçimde tanımlamak önem taşır. Sorunun anlaşılması ve açıklığa kavuşturulması için hangi malzeme, hangi yarım kürede, hangi iklim ve topografik koşullarda, hangi ölçütler çerçevesinde ve hangi talepler doğrultusunda gibi birtakım

soruların yanıtlanması gerekir. Bu sorular, akıllı malzemelerde performans değerlendirmesi kapsamında yanıtlanırken, çeşitli faktörler karşısındaki performansları göz önünde bulundurulur. Bunlar; çevresel durum, iklim, yapının kullanım amacı, topografya, enerji, kaynak tüketimi, atmosferik etkiler, ekolojik kirlilik, sağlık, ekonomik etkiler, yapı cephesine etkiyen yükler, yangın vb. etkiler şeklinde sıralanabilir. Böylelikle; sorunun anlaşılması için yöneltilen sorular, cepheden beklenen performans ölçütlerine göre yanıtlanmış olur. Sorunu belirlemenin bir sonraki basamağı, o sorunu çözme sürecinin amaçlarını saptama ve sorunun çözüldüğünü gösteren kanıtların nasıl kabul edilebileceğini belirlemeyi içerir. Bu basamakta yanıtlanması gereken sorular ise "Yapı hangi bölgede bulunuyor?", "Yapı ne amaçla kullanılacak?", "Yapıdan beklentiler nelerdir?" olarak belirtilebilir. Alternatif cevapların oluşturulması için; akıllı malzemelerin niteliklerine ve belirlenen performans ölçütleri kapsamındaki davranış biçimlerinin verilerine ihtiyaç duyulur. Bu veriler birleştiğinde ortaya çıkabilecek sorunların kısa, açık ve doğrudan tanımlanabilir olması gerekmektedir.

Sorunun tanımlanması aşamasında incelenecek olan alternatif akıllı malzemeler; malzemenin kendi yapısından kaynaklı ölçütler ve yapım, uygulama ve kullanım süreci kaynaklı ölçütler çerçevesinde incelenir. Söz konusu ölçütler kapsamında sınıflandırılmış olan performans;

- Malzemenin yapısından kaynaklı ölçütler
- Teknik performans (durabilite, mekanik etkiler karşısında malzemenin davranışı, yangın dayanımı, temizlik)
- Yapı fiziği performansı (ısı, su-nem, yoğuşma, güneş kontrolü, gürültü kontrolü)
- Cephelerde sürdürülebilirlik (yapım atıkları ve geri dönüşüm, kullanım ömrü, insan ve çevre sağlığına etkileri, iklim koşullarından etkilenme)
- Diğer (estetik, ekonomik)
- Yapım, tasarım, uygulama ve kullanım sürecinden kaynaklı ölçütler
- Tasarım süreci (boyut, tutarsızlık)
- Üretim süreci (tedarik, yeterlilik)
- Uygulama süreci (nakliye ve stoklama, yapım, montaj ve tadilat niteliği)
- Kullanım süreci (geliştirme, sürdürülebilirlik)

şeklinde sınıflandırılabilir.

Sıralanan performans ölçütleri çerçevesinde kullanılması ön görülen malzeme seçenekleri ortaya konulur. Seçenekler, belirtilen performans ölçütleri kapsamında değerlendirilir ve bu ölçütlerin etkisinde ortaya çıkabilecek olası sorunlar belirlenir. Bu sorunlar;

- Duvar çatlakları, aşınma, kopma
- Rötre
- Korozyon
- Taşıyıcı sistem hasarları
- Birleşim noktalarında mukavemet kaybı
- Isıl deformasyon ile genleşme ve büzüşmeler
- Nem, yoğuşma, terleme
- Kapiler su yükselmesi ile cephenin su alması
- Küflenme, çürüme
- Cephede çiçeklenme, yosun mantar
- Zararlı ışınların olumsuz etkileri
- Radyasyon etkisi
- Işınım etkisi ile kamaşmalar
- Cephede renk solması
- Düzensiz ışık ve gölge dağılımları
- Zehirli gazların kullanıcılara etkisi
- Yapı içi hava niteliğinin bozulması
- Maddenin sıvı halinin teması
- Tasarım problemleri
- Tedarik sırasındaki yetersizlik
- Zararlı atıklar
- Enerji durumu
- Temizlik yetersizliği ve sağlığa olumsuz etkileri
- Oluşabilecek potansiyel yangınlar
- Alevlenme, duman sızdırma
- Zararlı tepkimeler
- Yüksek voltaj
- Nano patlamalar

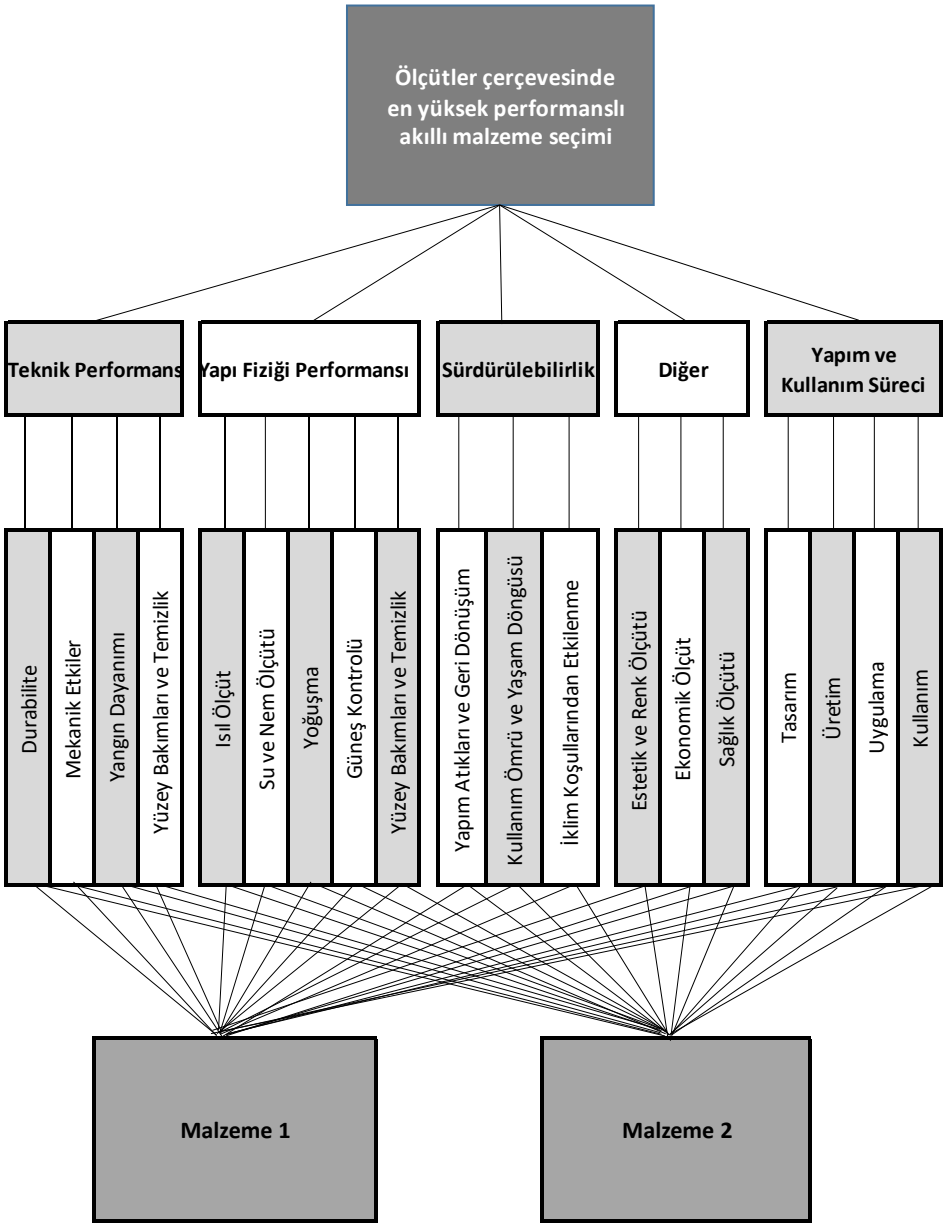
- Ekonomik sorunlar
- Düşük kalite

şeklinde sıralanabilir.

Hiyerarşik Yapının Oluşturulması

Alternatif malzemeler ve performans ölçütleri belirlendikten sonra ortaya çıkabilecek sorunlar kapsamında hiyerarşik yapının oluşturulması gerekmektedir. Oluşturulan hiyerarşik yapıda en alt seviyede seçenekler bulunur. Hiyerarşik yapı oluşturulurken, ana hedefe etki edecek dış ortam koşulları kapsamında değerlendirme yapılmalıdır. Yapının çevresel koşullarının oluşmasında, bulunduğu bölgenin iklim koşulları oldukça etkilidir. Bunlar; güneş ışınımı, dış hava sıcaklığı, gece-gündüz sıcaklık farkları, kar, dolu, yağmur etkisi, dış hava nemliliği, buzlanma oranı, rüzgâr ve sisten dolayı ortaya çıkan durumlar olabilir. Mevcut dış iklimsel koşullar yardımıyla gereksinim duyulan iç konfor koşullarını sağlayabilmek için tasarım, üretim, uygulama ve kullanım parametrelerine ilişkin birtakım önlemler alınmalıdır. Söz konusu önlemlerin alınabilmesi için, öncelikle bölgenin iklim koşullarına ait değerlerin elde edilmesi ve bu değerler çerçevesinde cephe elemanlarının davranışı ve gereksinimleri değerlendirilmelidir.

Hiyerarşik yapının oluşturulması aşamasında, kullanılması ön görülen akıllı malzeme seçenekleri belirlenir. Daha sonra bu seçeneklerin hangi ölçütler çerçevesinde ele alınacağı saptanır. Üst seviyede değerlendirmeye alınacak ölçütler ise; çeşitli alt başlıklar içeren, malzemenin yapısından kaynaklı ve yapım, uygulama, kullanım sürecinden kaynaklı ölçütler çerçevesinde oluşturulan ölçütlerdir. Bu kapsamda, dört seviyeli bir hiyerarşik yapı, karar sorununun en basit gösterim şeklidir. En üst seviyede karar sorununun gerçekleştirmek istediği amaç (hedef) yer alır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Dört seviyeli hiyerarşi modeli

Hiyerarşik yapının oluşturulması aşamasında, kullanılması öngörülen akıllı malzemeler arasından alternatif seçeneklerin belirlenmesi gerekir. Belirlenen seçenekler, çeşitli ortam koşulları ve performans ölçütleri çerçevesinde değerlendirilir. Değerlendirme yapılırken, seçilen malzemelerin ölçütler karşısındaki davranışı incelenir ve o malzemeye karşılık gelen bir skor değeri hesaplanır. Bu skor değerinin doğru bir şekilde hesaplanabilmesi için öncelikle akıllı malzemelerin maruz kaldığı faktörler ve o faktörler sonucunda

malzemede meydana gelen sorunlar incelenmelidir. Çeşitli faktörler ve sorunlar çerçevesinde performans ölçütleri değerlendirilen akıllı malzemelere, AHP yöntemi kapsamında Saaty tarafından belirlenen 1 ve 9 arasında bir skor değeri verilir. Bu skor değeri, söz konusu ölçütlerin birbiri ile eşit öneme sahip olduğu durumda 1, aşırı derecede önemli bir üstünlük olduğu durumda ise 9 olur.

Tablo 4.7'de AHP yöntemi kapsamında akıllı malzemelere uyarlanan skor değerleri ve bu değerlere karşılık gelen açıklamalar belirtilmiştir. Tabloda sunulan rakamlar, sayısal değerleri değil, malzemelerin birbirine göre olan önem derecesini tanımlamak için kullanılır. Saaty'nin 1-9 ölçeğinin kullanıldığı AHP yönteminde, bir ölçüte göre iki farklı alternatifin karşılaştırılmasıyla oluşan matris tablosunda karar vericiye; birinci alternatifin ikinci alternatife kaç kat (ne yoğunlukta) tercih edildiği ve bu alternatiflerin birbirlerine göre ne kadar önemli olduğu sorulur [222]. Oluşan matris tablosunda bu sorulara, 1-9 önem ölçeğinde belirtilen değerlere göre skorlar verilir. Bu işlem her bir ölçüt için tekrar edilerek ölçüt sayısı kadar matris elde edilir.

Alternatif akıllı malzemelerin seçilmesi ve seçilen malzemelerin birbirleri ile karşılaştırılması konusunda, o malzemeye karşılık gelecek skor değerleri oldukça önemlidir. Bu değerlerin doğru bir şekilde belirlenebilmesi için, skorlara karşılık gelen davranış durumları oluşturulmalıdır. Çevresel faktörler ve buna bağlı gelişen performans ölçütleri, malzemelerin çeşitli durumlar karşısındaki davranışını belirler. Bu doğrultuda akıllı malzemeler; çevresel faktörlerin oluşturduğu performans ölçütleri ve bu ölçütlerin malzemeleri nasıl etkilediği kapsamında değerlendirilmelidir. Tablo 10'da belirtilen durumlarda malzemelerin dış etkenlere karşı gösterebilecekleri olası davranış biçimleri ve bu davranışlara karşılık gelen skor değerleri belirtilmiştir.

Tablo 4.7 Akıllı malzemelerin performans skorları

		ÖLÇÜTLER	KOŞULLAR	OLASI SORUNLAR	PERFORMANS SKORLARI				
					EŞİT	DAHA ÖNEMLİ	KUVVETLİ ÖNEMLİ	ÇOK ÖNEMLİ	AŞIRI ÖNEMLİ
MALZEME KAYNAKLI ÖLÇÜTLER	TEKNİK PERFORMANS	DURABİLİTE	DURUM 1 - Yatay yüklerin ve hakim rüzgarların etkili olması	Birleşim noktalarında mukavemet kaybı, sarsıntı sonucu aşınma, kopma, fiziksel ve kimyasal bozulmalar, bağlantılarda zayıflama, genleşme, kırılma, şekil değişimi.	1	3	5	7	9
			DURUM 2 - Yatay yüklerin ve hakim rüzgarların az etkili olması						
		MEKANİK ETKİLER	DURUM 1 - Yatay yüklerin ve hakim rüzgarların etkili olması	Çarpma, darbe, kötü kullanım vb. sonucu şekil değişiklikleri, gerilmelerden dolayı oluşan bozulmalar, rötre, vandallık, şekil değişimi.	1	3	5	7	9
			DURUM 2 - Yatay yüklerin ve hakim rüzgarların az etkili olması						
		YANGIN DAYANIMI	DURUM 1 - Yapı elemanlarının A sınıfı yanmaz malzemelerden oluşması	Isısal deformasyonlar, genleşme, şekil değiştirme, alevlenme, duman sızdırma, zararlı tepkimeler, patlama, kısa devre, yüksek voltaj, bağlantı elemanlarında dayanımın kaybolması.	1	3	5	7	9
			DURUM 2 - Yapı elemanlarının B sınıfı yanıcı malzemelerden oluşması						

Tablo 4.7 Akıllı malzemelerin performans skorları (devamı)

		ÖLÇÜTLER	KOŞULLAR	OLASI SORUNLAR	PERFORMANS SKORLARI				
					EŞİT	DAHA ÖNEMLİ	KUVVETLİ ÖNEMLİ	ÇOK ÖNEMLİ	AŞIRI ÖNEMLİ
	YAPI FİZİĞİ PERFORMANSI	YÜZEY BAKIMLARI ve TEMİZLİK	DURUM 1 - Bölgede kirleticilerin yüksek seviyede olması	Malzemelerde kirlenme, çizilme, aşınma, saydam yüzeylerde heterojen dağılım, temizleyicilerdeki katkılarla zararlı tepkimeler, kullanıcılarda solunum ve deri rahatsızlıkları, malzeme özelliklerinde bozulmalar.	1	3	5	7	9
			DURUM 2 - Bölgede kirleticilerin düşük seviyede olası						
		ISIL ÖLÇÜT	DURUM 1 - Hava sıcaklığının 25 °C'den yüksek olması	Duvar çatlakları, aşınma, kopma, ısıl deformasyonlar, genleşme ve büzüşmeler, ısı köprüleri, yapı içi hava niteliğinde bozulmalar.	1	3	5	7	9
			DURUM 2 - Hava sıcaklığının 5 °C'den düşük olması						
		SU ve NEM	DURUM 1 - Bölgenin nem ve yağış oranlarının yüksek olması	Korozyon, taşıyıcı sistem hasarları, nem, yoğuşma, terleme, kapiler su yükselmesi, küflenme, çürüme zehirli gazların birikmesi, strüktürel bozulmalar.	1	3	5	7	9
			DURUM 2 - Bölgenin nem ve yağış oranlarının düşük olması						
		YOĞUŞMA	DURUM 1 - Bölgenin yoğuşma oranlarının yüksek olması	Nem, yoğuşma, terleme, cephede çiçeklenme, yosun, mantar, zehirli gazların salınımı, hal değişimlerine duyarlılık, malzeme ve bileşenlerinde bozulmalar.	1	3	5	7	9
			DURUM 2 - Bölgenin yoğuşma oranlarının düşük olması						

Tablo 4.7 Akıllı malzemelerin performans skorları (devamı)

		ÖLÇÜTLER	KOŞULLAR	OLASI SORUNLAR	PERFORMANS SKORLARI				
					EŞİT	DAHA ÖNEMLİ	KUVVETLİ ÖNEMLİ	ÇOK ÖNEMLİ	AŞIRI ÖNEMLİ
		GÜNEŞ KONTROLÜ	DURUM 1 - Bölgede güneşli gün sayısının fazla olması	Zararlı ışınların kullanıcılar ve malzemeler üzerindeki olumsuz etkileri, radyasyon etkisi, cephede renk solması, ışınım ile ısınma sorunları, kamaşmalar, genleşmelerden doğan şekil değişiklikleri.	1	3	5	7	9
			DURUM 2 - Bölgede güneşli gün sayısının az olması						
		GÜRÜLTÜ KONTROLÜ	DURUM 1 - Bölgede gürültü düzeyinin fazla olması	Gürültü kirliliği, akustik sorunlar, yalıtım malzemelerinin akıllı malzemeler ile detay sorunları, kullanıcılarda işitme ve psikolojik rahatsızlıklar.	1	3	5	7	9
			DURUM 2 - Bölgede gürültü düzeyinin az olması						
	SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK	YAPIM ATIKLARI ve GERİ DÖNÜŞÜM	DURUM 1 - Cephe malzemelerinin geri dönüştürülebilir olması	Doğal kaynakların gereksiz kullanımı, ham madde üretimindeki hatalar, atık yönetiminin başarısızlığı, malzemelerin geri dönüştürülebilir olmaması.	1	3	5	7	9
			DURUM 2 - Cephe malzemelerinin geri dönüştürülemez olması						
		KULLANIM ÖMRÜ ve YAŞAM DÖNGÜSÜ	DURUM 1 - Malzemeler-in kalıcı yapılarda kullanılması	Üretim aşamasında çevresel zarara sebep olabilmesi, uygulanma aşamasında kullanılan yapıştırıcılar ve boyaların hava niteliğini bozabilmesi, geri dönüştürülebilir olmaması nedeniyle kaynak kullanımının ve çevre kirliliğinin artması.	1	3	5	7	9
			DURUM 2 - Malzemeler-in geçici yapılarda kullanılması						

Tablo 4.7 Akıllı malzemelerin performans skorları (devamı)

		ÖLÇÜTLER	KOŞULLAR	OLASI SORUNLAR	PERFORMANS SKORLARI				
					EŞİT	DAHA ÖNEMLİ	KUVVETLİ ÖNEMLİ	ÇOK ÖNEMLİ	AŞIRI ÖNEMLİ
		İKLİM KOŞULLA-RINDAN ETKİLENME	DURUM 1 - Sıcak ve kurak iklim bölgesi DURUM 2 - Ilık ve nemli iklim bölgesi	İstenmeyen ısıl kazanç ve kayıplar, yapı içi hava niteliğimdeki konforsuzluk, ısıtma, soğutma ve havalandırma sorunları.	1	3	5	7	9
	DİĞER	ESTETİK ve RENK ÖLÇÜTÜ	DURUM 1 - Tasarım ve formun ön planda olası DURUM 2 - Fonksiyo-nelliğin ön planda olması	Doluluk boşluk, doku, ışık ve gölge oluşumlarının algıyı güçleştirmesi, malzemenin her zaman istenilen renk ve boyutta üretilememesi, malzemedeki katkıların form değişikliklerine izin vermemesi, akıllı camlardaki heterojen koyulaşma, iç mekanda dengesiz ışık yayılımı.	1	3	5	7	9
		EKONOMİK ÖLÇÜT	DURUM 1 - Yüksek bütçeli olması DURUM 2 - Düşük bütçeli olması	Ham madde yetersizliği, hatalı üretim, yüksek ilk yatırım maliyetleri, yüksek enerji maliyeti, yerli üretim azlığı	1	3	5	7	9
		SAĞLIK ÖLÇÜTÜ	DURUM 1 - Üretici, uygulayıcı ve kullanıcı-ların kronik hastalıklara yatkın olması DURUM 1 - Üretici, uygulayıcı ve kullanıcı-ların kronik hastalıkları olmaması	Üretici, uygulayıcı ve kullanıcılarda görülen sağlık sorunları, solunum, dolaşım ve deri hastalıkları, alerjik reaksiyonlar, zararlı gazlar ve toz bulutlarının nano patlamalara neden olabilmesi	1	3	5	7	9

Tablo 4.7 Akıllı malzemelerin performans skorları (devamı)

		ÖLÇÜTLER	KOŞULLAR	OLASI SORUNLAR	PERFORMANS SKORLARI				
					EŞİT	DAHA ÖNEMLİ	KUVVETLİ ÖNEMLİ	ÇOK ÖNEMLİ	AŞIRI ÖNEMLİ
MALZEME KAYNAKLI OLMAYAN ÖLÇÜTLER	YAPIM ve KULLANIM SÜRECİ ÖLÇÜTLERİ	TASARIM SÜRECİ ÖLÇÜTÜ	DURUM 1 - Tasarımcı bilgi düzeyinin yeterli olması DURUM 2 - Tasarımcı bilgi düzeyinin yetersiz olması	Su, hava, ses, ısı gibi dış ortam etkilerinin kontrollü geçişinin sağlanamaması (geçirimsizlik), küflenme, paslanma, hava kalitesindeki bozulmalar.	1	3	5	7	9
		ÜRETİM SÜRECİ ÖLÇÜTÜ	DURUM 1 - Üretim ve tedarik birimlerinin fazla olması DURUM 1 - Üretim ve tedarik birimlerinin az olması	Boya ve eloksal kaplamalarının standart dışı olması, enerji tüketimi, üretim maliyetleri, olumsuz çevre etkileri, şekil bozuklukları, pişirme şekli, kalite düşüklüğü ve renk farklılığı.	1	3	5	7	9
		UYGULAMA SÜRECİ ÖLÇÜTÜ	DURUM 1 – Uygulayıcı bilgi düzeyinin yeterli olması DURUM 2 - Uygulayıcı bilgi düzeyinin yetersiz olması	Depolamaya uygun alanların temini, malzeme muhafazasının zorluğu, hatalı ve hasarlı sevkiyat, yanlış paketleme ve istifleme, montaj zorluğu, farklı malzemelerin tespitindeki uyumsuzluk.	1	3	5	7	9
		KULLANIM SÜRECİ ÖLÇÜTÜ	DURUM 1 - Kullanıcı bilgi düzeyinin yeterli olması DURUM 2 - Kullanıcı bilgi düzeyinin yetersiz olması	Basınç ve aşınma, mekanik bozulmalar, kirlilik, hatalı kullanım sonucu oluşan konforsuzluklar, malzemelerde oluşabilecek zehirli gaz salınımlarının kullanıcı sağlığını tehdit etmesi, onarım maliyetlerinin yüksek olması.	1	3	5	7	9

Akıllı malzemelerin çeşitli durumlara göre değişen performans ölçütleri ve bu ölçütlere karşılık gelen skor değerleri belirtilmiştir. Karşılaştırılmak istenen akıllı malzemelerin bulundukları çevre koşullarına göre avantaj ve dezavantaj puanlamaları, tablodan seçilerek oluşturulur. Ele alınan ölçüt çerçevesinde, kıyaslanacak olan malzemelerin birbirine olan üstünlük durumuna göre performans skorları belirlenir. İkili matrislerin oluşturulması ve bu matrislerden elde edilen önem derecelerinin hesaplanmasıyla ortaya çıkan en yüksek puana sahip akıllı malzeme, seçilen bölge koşullarına en uygun malzemeler olarak belirlenmektedir.

4.3 Cephelerde Kullanılan Akıllı Malzeme Seçim Modelinin Bir Örnek Üzerinde Uygulanması

Cephelerde kullanılacak olan akıllı malzemelerin seçiminde AHP yöntemi ile bir karar verme modeli önerilmiştir. Bu model, akıllı malzemelerin farklı durumlarda gösterdiği farklı performans ölçütleri ve bu ölçütler sonucundaki performans skorlarını içermektedir. Malzemelerin avantaj, dezavantaj ve performans ölçütleri karşısındaki olası sorunların daha iyi değerlendirilebilmesi ve bu değerlendirme sonucunda tasarımda istenilen ölçütlere daha uygun seçimler yapılabilmesi için örnek bir yapı üzerinde model uygulanacaktır.

Seçim modelinin uygulanması için; yaz döneminde kuzeydoğu yönünden esen Poyraz, kış dönemlerinde ise güney ve güneybatıdan esen Lodos rüzgarların etkili olduğu, ılık ve nemli iklim koşullarının gözlendiği, en yüksek sıcaklığın Ağustos ayında 39,1 °C, en düşük sıcaklığın Ocak ayında -3 °C, yıllık ortalama sıcaklığın ise 14,7 °C, ortalama yağış miktarının 600-800 mm olduğu, %70 civarı nem oranına sahip olan, İstanbul ili Bakırköy ilçesi, Kartaltepe mahallesi, Tez sokakta bulunan on katlı bir konut yapısı örnek olarak seçilmiştir [229], (Şekil 4.6). Seçilen örnek yapı, bölgenin geniş sıcaklık aralığına sahip olması nedeniyle yıllık sıcaklık farkının ortalamadan yüksek olması, yazın kuzeyden kışın güneyden esen hakim rüzgâra maruz kalarak farklı cephelerin hava akımından etkilenmesi, yüksek nem oranına sahip olması, sonbahar ve kış aylarında şiddetli yağışların görülmesi, güneşli ve bulutlu gün sayılarının yıl içinde değişkenlik göstermesi ve yapı cephesinin rüzgar, kirletici ve diğer dış etkenlere daha çok maruz kalacağı yükseklikte olması gibi nedenlerden tercih edilmiştir.

Sıcaklığın yıl içindeki süreci incelendiğinde, aylık ortalama sıcaklık değerlerinin 6,0 ºC ile 24,7 ºC arasında arasında olduğu görülmektedir [229] (Tablo 4.8).

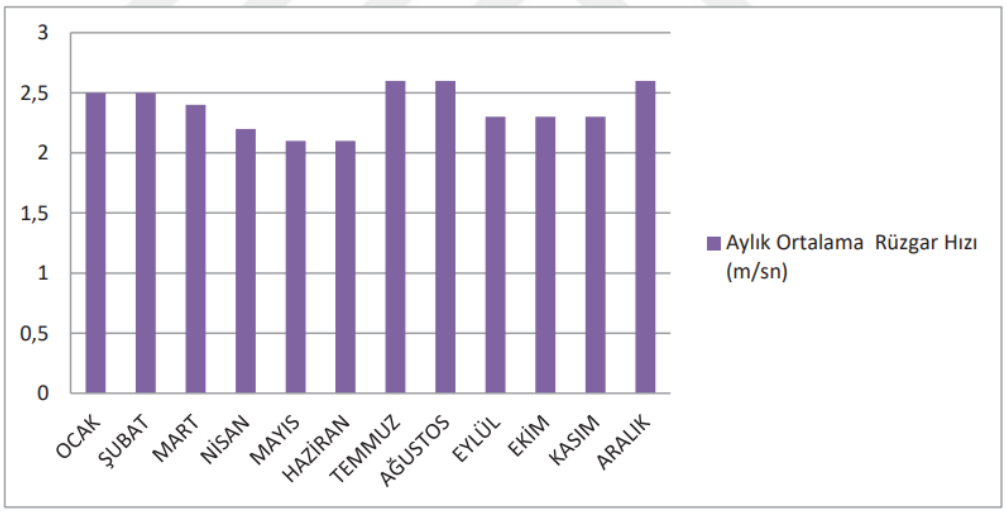


Şekil 4.6 Seçim modeli için değerlendirmeye alınan örnek yapı

Tablo 4.8 Sıcaklığın yıl içerisindeki dağılımı [229]

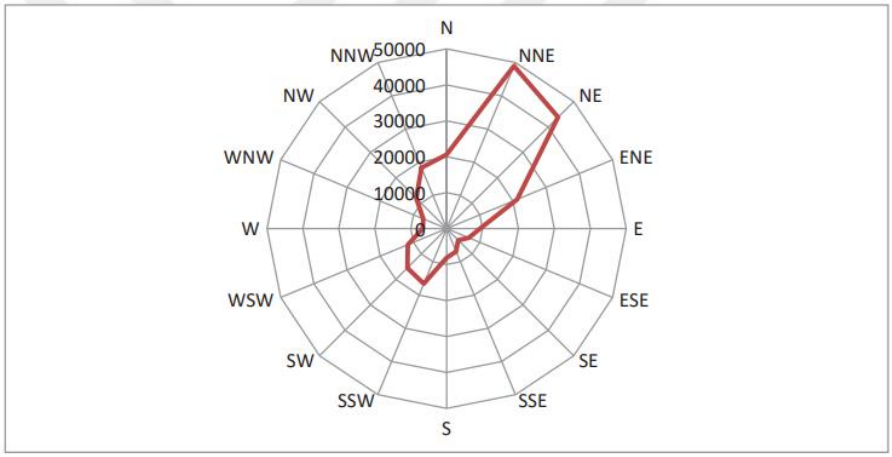
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Yıllık Ort. Sıcaklık
Ort. Sıcaklık (°C)	6,0	6,2	8,0	12,1	16,9	21,7	24,6	24,7	20,8	16,3	11,7	7,8	14,7

Bölgede yıllık ortalama rüzgâr hızı 2,3 m/sndir. En kuvvetli rüzgâr hızı ve yönü ise, güneybatıdan (SSW) 3,1 m/sn ile Ocak ayında görülmektedir. Örnek yapının bulunduğu alanda aylık ortalama rüzgâr hızı en yüksek Temmuz ayında 2,6 m/sn olurken en düşük hız Mayıs ve Haziran ayıdır (2,1 m/sn). Bölgedeki hakim rüzgârın aylık ortalama hızı Şekil 4.7'de göterilmiştir [229].



Şekil 4.7 Aylık ortalama rüzgâr hızı [229]

Rüzgâr, meteorolojik açıdan önemli bir unsur olmakla birlikte; özellikleri zamana, yere ve yüksekliğe göre farklılık gösterdiğinden, incelenmesi gereken bir iklim koşuludur. Yıl içerisinde rüzgârın frekansı incelendiğinde, Bakırköy ilçesinde hâkim rüzgâr yönü yaz döneminde kuzeydoğu yönünden esen Poyraz, kış dönemlerinde ise güney ve güneybatıdan esen Lodos şeklindedir (Şekil 4.8) [229].



Şekil 4.8 Bakırköy ilçesi rüzgâr grafiği [229]

Ilık ve nemli iklim bölgelerinin karakteristik özellikleri, bol yağış almaları ve dolayısıyla nem oranının çok fazla olmasıdır. Bu bölgelerde, rüzgârın serinletici etkisine ve gölgeli alanlara gereksinim duyulmaktadır. Dolayısıyla cephe tasarımlarının; havalandırmaya olanak sağlayan, gerekli durumlarda doğal aydınlatmaya izin veren, sıcak ve güneşli günlerde Güneş ışığı kontrolü sağlayabilecek, düşük ısı tutuculu, geniş saydam alanlara sahip ve hâkim rüzgâra kontrollü bir şekilde uyum sağlayan bir yapıda olması beklenir. Kat yüksekliği arttıkça iklim koşullarının ve yatay yüklerin etkisi daha çok görüleceğinden, yüksek yapılardaki değerlendirmede teknik ölçütler de etkili olacaktır.

Ilık ve nemli iklim koşullarının hâkim olduğu, İstanbul ili, Bakırköy ilçesinde bulunan örnek yapının cephesinde, elektrokromik malzemeler gibi elektrik enerjisi ile renk ve opaklık değişimi yapabilen ya da piezoelektrik malzemeler gibi elektrik enerjisini mekanik enerjiye, mekanik enerjiyi de tersinir olarak elektrik enerjisine çevirebilen alternatif akıllı malzemeler kullanılmak istenmektedir. Bu uygulamada iki alternatif malzemeden hangisinin daha uygun olacağını öngörebilmek için seçim modeli üzerinden değerlendirme yapılacaktır. Söz konusu bölgedeki örnek yapının, Tablo 4.9'da belirtilen durumlarda malzemelerin dış etkenlere karşı gösterebilecekleri olası davranış biçimleri ve bu davranışlara karşılık gelen skor değerleri belirtilmiştir. Skor değerleri belirlenirken Saaty'nin tablosu referans alınmıştır. Değerlendirme yalnızca alt ölçütler üzerinden yapılmış olup, ana ölçütler kapsam dışı bırakılmıştır.

Tablo 4.9 Elektrokromik ve piezoelektrik malzemelerin performans karşılaştırması

		ANALİZ		DEĞERLENDİRME			
		ÖLÇÜTLER	**KOŞULLAR**	**ELEKTROKROMİK MALZEME**	**SKOR**	**PİEZOELEKTRİK MALZEME**	**SKOR**
MALZEME KAYNAKLI ÖLÇÜTLER	**TEKNİK PERFORMANS**	DURABİLİTE	DURUM 1 - Yatay yüklerin ve hakim rüzgarların etkili olması	Yatay yüklerin hakim olduğu bölgelerde birleşim noktaları sağlam olduğunda mukavemetlidirler. Fakat aşınma ve kırılmalara karşı mukavemetleri azdır.	1	Piezoelektrik malzemelerin yüklere dayanımı yüksektir. Bu nedenle strüktürel davranışın izlenmesinde kullanılmaktadırlar.	5
			DURUM 2 - Yatay yüklerin ve hakim rüzgarların az etkili olması		1		3
		MEKANİK ETKİLER	DURUM 1 - Yatay yüklerin ve hakim rüzgarların etkili olması	Çarpma, darbe, kötü kullanım vb. sonucu kırılmalar ve bozulmalar gözlenebilir.	1	Piezoelektrikler üzerlerine uygulanan mekanik kuvvetlerle elektrik üretirler. Bu nedenle fiziksel kuvvetlerden beslenirler (Dogan, 2005).	6
			DURUM 2 - Yatay yüklerin ve hakim rüzgarların az etkili olması		1		3
		YANGIN DAYANIMI	DURUM 1 - Yapı elemanlarının A sınıfı yanmaz malzemelerden oluşması	Elektrokromik malzemeler yanıcı değildir. Fakat yanıcı malzemeler ile kullanıldıklarında tutuşma olabilir.	3	Elektrik akımının voltajı ve hatalı uygulamalar sonucu yangın riski oluşabilir.	1
			DURUM 2 - Yapı elemanlarının B sınıfı yanıcı malzemelerden oluşması		4		1
		YÜZEY BAKIMLARI ve TEMİZLİK	DURUM 1 - Bölgede kirleticilerin yüksek seviyede olması	Saydam yüzeylerde kullanılan elektrokromik malzemeler, kirleticilere maruz kaldığında heterojen kirlenmeye uğrayabilir ve renk değişimlerinde yanılmalar olabilir.	1	Piezoelektriklerin kullanıldıkları malzemelere göre kirlenme oranları değişebilir. Fakat basınç kuvvetlerinden kolayca etkilendikleri için temizleyicilere tepki verebilirler.	1
			DURUM 2 - Bölgede kirleticilerin düşük seviyede olası		1		1

Tablo 4.9 Elektrokromik ve piezoelektrik malzemelerin performans karşılaştırması (devamı)

		ANALİZ		DEĞERLENDİRME			
		ÖLÇÜTLER	KOŞULLAR	ELEKTROKROMİK MALZEME	SKOR	PİEZOELEKTRİK MALZEME	SKOR
MALZEME KAYNAKLI ÖLÇÜTLER	YAPI FİZİĞİ PERFORMANSI	YANGIN DAYANIMI	DURUM 1 - Yapı elemanlarının A sınıfı yanmaz malzemelerden oluşması	Elektrokromik malzemeler yanıcı değildir. Fakat yanıcı malzemeler ile kullanıldıklarında tutuşma olabilir.	3	Elektrik akımının voltajı ve hatalı uygulamalar sonucu yangın riski oluşabilir.	1
		ISIL ÖLÇÜTLER	DURUM 1 - Hava sıcaklığının 25 °C'den yüksek olması	Elektrokromik camlar, düşük ve orta sıcaklıkta (–20°C ve +80°C) sorunsuz bir şekilde kullanılabilirler (Yüksel Ayvaz, Ö.).	5	Piezoelektrik malzemelerde, sıcaklık arttıkça piezoelektrik etki düşer (APC International, 2006.). Çok düşük sıcaklıklarda ise malzemenin yapısı bozulmaya uğrayabilir.	1
			DURUM 2 - Hava sıcaklığının 5 °C'den düşük olması		4		1
		SU ve NEM	DURUM 1 - Bölgenin nem ve yağış oranlarının yüksek olması	Elektrokromik camlar, bağlantı noktalarında iyi yalıtım sağlanamadığında su ve nem sorunlarına açık durumdadır. Bu nedenle nemli ve yağışlı bölgelerde kullanımı uygun değildir. Yağış ve nemin az olduğu durumlarda sorunsuz bir şekilde kullanılabilir.	1	Piezoelektrik malzemeler (özellikle piezoseramikler) suya dayanıklı işlemlerden geçirilmekte veya suyu tahliye edebilen sistemlerle çalıştırılmaktadır. Bu nedenle yağışlı ve nemli bölgelerden olumsuz etkilenme durumu nadirdir.	5
			DURUM 2 - Bölgenin nem ve yağış oranlarının düşük olması		1		1
		YOĞUŞMA	DURUM 1 - Bölgenin yoğuşma oranlarının yüksek olması	Elektrokromik camlar, yüzey yoğuşmasına dayanıklı şekilde tasarlanmıştır. Fakat bağlantı elemanları ısıl köprüler oluşturarak yoğuşmaya neden olabilir.	1	Piezoelektrik malzemeler, (özellikle piezoseramik malzemeler) sistem gereği dış yüzeylerden açılan boşluklarla cephe havalandırmasına izin verirler. İçeriğindeki sırlama ve sinterleme işlemleri de yoğuşma faktörünü en aza indirmektedir.	3
			DURUM 2 - Bölgenin yoğuşma oranlarının düşük olması		1		2

Tablo 4.9 Elektrokromik ve piezoelektrik malzemelerin performans karşılaştırması (devamı)

		ANALİZ		DEĞERLENDİRME			
		ÖLÇÜTLER	KOŞULLAR	ELEKTROKROMİK MALZEME	SKOR	PİEZOELEKTRİK MALZEME	SKOR
MALZEME KAYBAKLI ÖLÇÜTLER	YAPI FİZİĞİ PERFORMANSI	GÜNEŞ KONTROLÜ	DURUM 1 - Bölgede güneşli gün sayısının fazla olması	Elektrokromik camlar, Güneş ışınları geldiğinde saydamlığını değiştirebilir. Fakat camın renk değişim hızı cam alanının artmasıyla azalmaktadır (Tavil, 2004). Bu durum, güneşli bölgelerde geniş ebatlı elektrokromik cam kullanımını kısıtlar. Güneşlenme süresinin az olduğu bölgelerde kullanımı ise doğal aydınlanmayı olumsuz etkileyebilir.	3	Piezoelektriklerin doğrudan güneş kontrol yetenekleri yoktur.	1
			DURUM 2 - Bölgede güneşli gün sayısının az olması		3		1
		GÜRÜLTÜ KONTROLÜ	DURUM 1 - Bölgede gürültü düzeyinin fazla olması	Elektrokromik camlar, normal camlar gibi ses ve gürültüyü bir miktar geçirmektedir. Bu nedenle gürültü düzeyinin fazla olması durumunda konfor koşullarını olumsuz etkileyebilir.	1	Piezoelektrik malzemeler direk akustik dönüştürücü olarak kullanılabildikleri gibi aynı zamanda ses yalıtımı da sağlayabilirler.	2
			DURUM 2 - Bölgede gürültü düzeyinin az olması		1		1
	SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK	YAPIM ATIKLARI ve GERİ DÖNÜŞÜM	DURUM 1 - Cephe malzemelerinin geri dönüştürülebilir olması	Elektrokromik malzemelere nanofilm katkılar kazandırıldığından bu malzemelerin büyük bir kısmının geri dönüşümü yapılamamaktadır ve kullanım ömrü bittiğinde zararlı atık olarak nitelendirilirler.	1	Mekanik enerji ve elektrik enerjisini birbirine dönüştürerek sürekli bir enerji dönüşümü ortaya çıkartır. Piezoelektrik malzemeler olarak adlandırılan kuarz, turmalin gibi malzemeler, geri dönüştürülebilir malzemelerdir.	3
			DURUM 2 - Cephe malzemelerinin geri dönüştürülemez olması		1		8

Tablo 4.9 Elektrokromik ve piezoelektrik malzemelerin performans karşılaştırması (devamı)

		ANALİZ		DEĞERLENDİRME			
		ÖLÇÜTLER	**KOŞULLAR**	**ELEKTROKROMİK MALZEME**	**SKOR**	**PİEZOELEKTRİK MALZEME**	**SKOR**
MALZEME KAYNAKLI ÖLÇÜTLER	**SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK**	KULLANIM ÖMRÜ ve YAŞAM DÖNGÜSÜ	DURUM 1 - Malzemelerin kalıcı yapılarda kullanılması	Üretim aşamasında çevresel zarara neden olmazlar. Uygulama tipleri ise geleneksel camlarla benzerdir. Bu nedenle üretim, yapım ve kullanım aşamasında ömürleri uzundur. Fakat mekanik etkilerden kolayca etkilenerek aşınma ve kırılma gözlemlenebilir.	1	Piezoelektrik malzemeler, mekanik ve elettrik enerjisini sürekli ve tersinir olrak dönüştürebilirler. Bu nedenle kullanım ömürleri uzundur.	3
			DURUM 2 - Malzemelerin geçici yapılarda kullanılması		1		1
		İKLİM KOŞULLARINDAN ETKİLENME	DURUM 1 - Sıcak ve kurak iklim bölgesi	Elektrokromikler, iklim koşullarına göre tepki verebilen akıllı özelliklere sahiptir. Akıllı Güneş kontrolü yapıp renk ve opaklık değiştirerek, yapı içi konforu optimum düzeyde tutmeyı hedeflerler.	5	İklim koşullarının zorlu olması piezoelektrik malzemeleri olumsuz etkiler. Fakat mekanik etki yaratacak (basınç, rüzgar vb.) iklim koşullarından olumlu etkilenirler.	1
			DURUM 2 - Ilık ve nemli iklim bölgesi (Hakim rüzgarlar etkin.)		1		3
	DİĞER	ESTETİK ve RENK ÖLÇÜTÜ	DURUM 1 - Tasarım ve formun ön planda olası	Elektrokromik camların Güneş ışınlarına göre optik renk değiştirmesi ve opaklığını artırıp azaltabilmesi, estetik ve renk açısından tasarım seçenekleri sunabilir.	1	Piezoelektrikler, geleneksel malzemelere de uygulandığı için estetik ve renk konusunda çeşitlilikleri vardır. Aynı zamanda yüzey alanını artırmak için yapılan girinti çıkıntılar, cepheye yeni form kazandırabiir.	2
			DURUM 2 - Fonksiyonelliğin ön planda olması		1		3

Tablo 4.9 Elektrokromik ve piezoelektrik malzemelerin performans karşılaştırması (devamı)

		ANALİZ		DEĞERLENDİRME			
		ÖLÇÜTLER	**KOŞULLAR**	**ELEKTROKROMİK MALZEME**	**SKOR**	**PİEZOELEKTRİK MALZEME**	**SKOR**
MALZEME KAYBAKLI ÖLÇÜTLER	**DİĞER**	EKONOMİK ÖLÇÜT	DURUM 1 - Yüksek bütçeli olması	Elektrokromik etki yaratmak için üretilen nanofilm kaplamalar veya nano katkılar oldukça pahalıdır. Fakat kullanım sürecindeki avantajları bu maliyetleri nötrleyebilmektedir.	1	Doğadaki kristallerden üretildikleri için hammadde temini nispeten kolaydır. Ancak piezoelektrik özelliğin malzemelere kazandırılması işlemi ve cephelere uygulanması maliyetlidir.	2
			DURUM 2 - Düşük bütçeli olması		1		2
		SAĞLIK ÖLÇÜTÜ	DURUM 1 - Üretici, uygulayıcı ve kullanıcıların kronik hastalıklara yatkın olması	Elektrokromik camların içerdiği nano katkılar ve kaplamalar, doğrudan etkili olmasa da dolaylı olarak yapı içi hava niteliğini bozarak insan sağlığına zarar verebilir.	1	Üretici, uygulayıcı ve kullanıcılarda elektrokromik etki ile sağlık sorunları oluşma ihtimali düşüktür.Ancak zararlı gazlar ve toz bulutlarının nano patlamalara neden olabilmesi alerjik reaksiyonlara neden olabilir.	1
			DURUM 1 - Üretici, uygulayıcı ve kullanıcıların kronik hastalıkları olmaması		2		1
MALZEME KAYNAKLI OLMAYAN	**YAPIM ve KULLANIM SÜRECİ**	TASARIM SÜRECİ ÖLÇÜTÜ	DURUM 1 - Tasarımcıların bilgi düzeyinin yeterli olması	Sistem kesitleri ve nokta detaylarının doğru yapılması önemlidir. Aksi taktirde bağlantıların hatalı yapılmasına neden olarak sızdırma, mukavemet ve tasarımsal sorunlarına yol açabilir.	1	Elektrokromik etki yapı elemanlarına kazandırılırken kullanılacak malzemelerle uyumunun doğru analiz edilememesi piezoelektrik etkiyi sonlandırır.	2
			DURUM 2 - Tasarımcıların bilgi düzeyinin yetersiz olması		1		1

Tablo 4.9 Elektrokromik ve piezoelektrik malzemelerin performans karşılaştırması (devamı)

		ANALİZ		DEĞERLENDİRME			
		ÖLÇÜTLER	**KOŞULLAR**	**ELEKTROKROMİK MALZEME**	**SKOR**	**PİEZOELEKTRİK MALZEME**	**SKOR**
MALZEME KAYNAKLI OLMAYAN ÖLÇÜTLER	**YAPIM ve KULLANIM SÜRECİ ÖLÇÜTLERİ**	ÜRETİM SÜRECİ ÖLÇÜTÜ	DURUM 1 - Üretim ve tedarik birimlerinin fazla olması	Boya ve eloksal kaplamalarının standart dışı olması ve nano katkıların üretim ve tedarik birimlerinde yeterince yapılamaması işlemi zorlu hale getirebilir. Aynı zamanda bu durum heterojen renk değiştirme ve kalite düşüklüğüne neden olabilir.	1	Ekonomiklik ve teknolojik yetersizlik şekil bozukluklarına, hatalı üretime ve kalite düşüklüğüne neden olabilir.	2
			DURUM 1 - Üretim ve tedarik birimlerinin az olması		1		3
		UYGULAMA SÜRECİ ÖLÇÜTÜ	DURUM 1 - Uygulayıcıların bilgi düzeyinin yeterli olması	Depolamaya uygun alanların temini zordur. Malzemeler kırılgan ve nano katkılı olduğundan muhafaza edilmesi güçtür. Aynı zamanda sevkiyat sırasında da dikkat gerektirir. Montajda ise farklı elemanlarla bağlantısı geleneksel malzemelerle benzer olduğundan nispeten daha kolaydır.	3	Malzemelerin basınç ile tepki oluşturması depolanması ve sevkiyatı sırasında istifleme yapılması piezoelektrik etkiyi bozabilir. Aynı zamanda montaj sırasındaki elektriksel alan ve basıncın ayarlanamaması durumunda malzeme uyumsuzluk yaratabilir.	1
			DURUM 2 - Uygulayıcıların bilgi düzeyinin yetersiz olması		3		1
		KULLANIM SÜRECİ ÖLÇÜTÜ	DURUM 1 - Kullanıcıların bilgi düzeyinin yeterli olması	Basınç ve aşınma, mekanik bozulmalar, kirlilik, hatalı kullanım sonucu oluşan konforsuzluklar gözlemlenebilir. Onarım maliyetleri yüksektir. Doğru kullanıldıklarında enerji tasarufu sağlarlar.	2	Hatalı kullanımda tersinir enerji dönüşümleri zarar görebilir. Ortaya çıkan elektriksel alan kontrolsüzce açığa çıktığında malzemelerde nano boyutta patlamalar oluşabilir ve piezoelektrik etki bozulabilir. Doğru kullanıldıklarında enerji üretimi sağlarlar.	1
			DURUM 2 - Kullanıcıların bilgi düzeyinin yetersiz olması		3		1

Önem Değerlerinin Belirlenmesi

Önem değerinin belirlenmesi aşamasında, kıyaslanacak olan akıllı malzemelerin, belirlenen performans ölçütleri ve skorlarına göre ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur. Matrislerde herbir ölçüt, iki farklı durum çerçevesine değerlendirilir ve performans skorlarına göre önem değerleri belirlenir. Önem değeri belirlenirken i, j=1, 2,……, n normalize edilmiş matrisin herbir satır toplamı, matrisin boyutuna bölünerek ortalaması alınır. Bulunan değerler herbir ölçüt için önem ağırlıklarını ifade eder. Bu ağırlıklar öncelik vektörünü oluşturur [230]. Tablo 4.10'da elektrokromik ve piezoelektrik malzemelerin performans ölçütleri ve skorlarına göre oluşturulan ikili karşılaştırma matrisleri gösterilmektedir.

Tablo 4.10 Elektrokromik ve piezoelektrik malzemelerin ikili karşılaştırma matrisleri

MALZEME KAYNAKLI ÖLÇÜTLER							
TEKNİK PERFORMANS							
DURABİLİTE (DURUM 1)				DURABİLİTE (DURUM 2)			
	ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	SATIR ARALIĞI		ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	SATIR ARALIĞI
ELEKTRO KROMİK	1	1/5	1/6	ELEKTRO KROMİK	1	1/3	1/4
PIEZO ELEKTRİK	5	1	5/6	PIEZO ELEKTRİK	3	1	3/4
TOPLAM	6	1,20	1,00	TOPLAM	4	1,33	1,00
ÖNEM DEĞERİ HESABI				ÖNEM DEĞERİ HESABI			
	ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	ÖNEM DEĞERİ		ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	ÖNEM DEĞERİ
ELEKTRO KROMİK	0,16	0,16	0,16	ELEKTRO KROMİK	0,25	0,25	0,25
PIEZO ELEKTRİK	0,84	0,84	0,84	PIEZO ELEKTRİK	0,75	0,75	0,75
MEKANİK ETKİ (DURUM 1)				MEKANİK ETKİ (DURUM 2)			
	ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	SATIR ARALIĞI		ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	SATIR ARALIĞI
ELEKTRO KROMİK	1	1/6	1/7	ELEKTRO KROMİK	1	1/3	1/4
PIEZO ELEKTRİK	6	1	6/7	PIEZO ELEKTRİK	3	1	3/4
TOPLAM	7	1,17	1,00	TOPLAM	4	1,33	1,00
ÖNEM DEĞERİ HESABI				ÖNEM DEĞERİ HESABI			
	ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	ÖNEM DEĞERİ		ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	ÖNEM DEĞERİ
ELEKTRO KROMİK	0,14	0,14	0,14	ELEKTRO KROMİK	0,25	0,25	0,25
PIEZO ELEKTRİK	0,86	0,86	0,86	PIEZO ELEKTRİK	0,75	0,75	0,75

Tablo 4.10 Elektrokromik ve piezoelektrik malzemelerin ikili karşılaştırma matrisleri (devamı)

YANGIN DAYANIMI (DURUM 1)				YANGIN DAYANIMI (DURUM 2)			
	ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	SATIR ARALIĞI		ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	SATIR ARALIĞI
ELEKTROK ROMİK	1	3	3/4	ELEKTROK ROMİK	1	4	4/5
PIEZO ELEKTRİK	1/3	1	1/4	PIEZO ELEKTRİK	1/4	1	1/5
TOPLAM	1,33	4	1,00	TOPLAM	1,25	5	1,00
ÖNEM DEĞERİ HESABI				ÖNEM DEĞERİ HESABI			
	ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	ÖNEM DEĞERİ		ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	ÖNEM DEĞERİ
ELEKTRO KROMİK	0,75	0,75	0,75	ELEKTRO KROMİK	0,20	0,20	0,20
PIEZO ELEKTRİK	0,25	0,25	0,25	PIEZO ELEKTRİK	0,80	0,80	0,80
YÜZEY BAKIMLARI VE TEMİZLİK (DURUM 1)				YÜZEY BAKIMLARI VE TEMİZLİK (DURUM 2)			
	ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	SATIR ARALIĞI		ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	SATIR ARALIĞI
ELEKTRO KROMİK	1	1	1/2	ELEKTRO KROMİK	1	1	1/2
PIEZO ELEKTRİK	1	1	1/2	PIEZO ELEKTRİK	1	1	1/2
TOPLAM	2	2	1,00	TOPLAM	2	2	1,00
ÖNEM DEĞERİ HESABI				ÖNEM DEĞERİ HESABI			
	ELEKTR OKROMİK	PIEZO ELEKTRİK	ÖNEM DEĞERİ		ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	ÖNEM DEĞERİ
ELEKTRO KROMİK	0,50	0,50	0,50	ELEKTRO KROMİK	0,50	0,50	0,50
PIEZO ELEKTRİK	0,50	0,50	0,50	PIEZO ELEKTRİK	0,50	0,50	0,50

Tablo 4.10 Elektrokromik ve piezoelektrik malzemelerin ikili karşılaştırma matrisleri (devamı)

YAPI FİZİĞİ PERFORMANSI							
ISIL ÖLÇÜTLER (DURUM 1)				**ISIL ÖLÇÜTLER (DURUM 2)**			
	ELEKTRO KROMİK	**PIEZO ELEKTRİK**	**SATIR ARALIĞI**		**ELEKTRO KROMİK**	**PIEZO ELEKTRİK**	**SATIR ARALIĞI**
ELEKTRO KROMİK	1	5	5/6	**ELEKTRO KROMİK**	1	4	4/5
PIEZO ELEKTRİK	1/5	1	1/6	**PIEZO ELEKTRİK**	1/4	1	1/5
TOPLAM	1,20	6	1,00	**TOPLAM**	1,25	5	1,00
ÖNEM DEĞERİ HESABI				**ÖNEM DEĞERİ HESABI**			
	ELEKTRO KROMİK	**PIEZO ELEKTRİK**	**ÖNEM DEĞERİ**		**ELEKTRO KROMİK**	**PIEZO ELEKTRİK**	**ÖNEM DEĞERİ**
ELEKTRO KROMİK	0,84	0,84	0,84	**ELEKTRO KROMİK**	0,20	0,20	0,20
PIEZO ELEKTRİK	0,16	0,16	0,16	**PIEZO ELEKTRİK**	0,80	0,80	0,80
SU VE NEM ÖLÇÜTÜ (DURUM 1)				**SU VE NEM ÖLÇÜTÜ (DURUM 2)**			
	ELEKTRO KROMİK	**PIEZO ELEKTRİK**	**SATIR ARALIĞI**		**ELEKTRO KROMİK**	**PIEZO ELEKTRİK**	**SATIR ARALIĞI**
ELEKTRO KROMİK	1	1/5	1/6	**ELEKTROK ROMİK**	1	1	1/2
PIEZO ELEKTRİK	5	1	5/6	**PIEZO ELEKTRİK**	1	1	1/2
TOPLAM	6	1,20	1,00	**TOPLAM**	2	2	1,00
ÖNEM DEĞERİ HESABI				**ÖNEM DEĞERİ HESABI**			
	ELEKTRO KROMİK	**PIEZO ELEKTRİK**	**ÖNEM DEĞERİ**		**ELEKTRO KROMİK**	**PIEZO ELEKTRİK**	**ÖNEM DEĞERİ**
ELEKTRO KROMİK	0,16	0,16	0,16	**ELEKTRO KROMİK**	0,50	0,50	0,50
PIEZO ELEKTRİK	0,84	0,84	0,84	**PIEZO ELEKTRİK**	0,50	0,50	0,50

Tablo 4.10 Elektrokromik ve piezoelektrik malzemelerin ikili karşılaştırma matrisleri (devamı)

YOĞUŞMA ÖLÇÜTÜ (DURUM 1)				YOĞUŞMA ÖLÇÜTÜ (DURUM 2)			
	ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	SATIR ARALIĞI		ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	SATIR ARALIĞI
ELEKTRO KROMİK	1	1/3	1/4	ELEKTROK ROMİK	1	1/2	1/3
PIEZO ELEKTRİK	3	1	3/4	PIEZO ELEKTRİK	2	1	2/3
TOPLAM	4	1,33	1,00	TOPLAM	3	1,50	1,00
ÖNEM DEĞERİ HESABI				ÖNEM DEĞERİ HESABI			
	ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	ÖNEM DEĞERİ		ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	ÖNEM DEĞERİ
ELEKTRO KROMİK	0,25	0,25	0,25	ELEKTRO KROMİK	0,33	0,33	0,33
PIEZO ELEKTRİK	0,75	0,75	0,75	PIEZO ELEKTRİK	0,67	0,67	0,67
GÜNEŞ KONTROLÜ (DURUM 1)				GÜNEŞ KONTROLÜ (DURUM 2)			
	ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	SATIR ARALIĞI		ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	SATIR ARALIĞI
ELEKTRO KROMİK	1	3	3/4	ELEKTRO KROMİK	1	1/3	1/4
PIEZO ELEKTRİK	1/3	1	1/4	PIEZO ELEKTRİK	3	1	3/4
TOPLAM	1,33	4	1,00	TOPLAM	4	1,33	1,00
ÖNEM DEĞERİ HESABI				ÖNEM DEĞERİ HESABI			
	ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	ÖNEM DEĞERİ		ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	ÖNEM DEĞERİ
ELEKTRO KROMİK	0,75	0,75	0,75	ELEKTRO KROMİK	0,25	0,25	0,25
PIEZO ELEKTRİK	0,25	0,25	0,25	PIEZO ELEKTRİK	0,75	0,75	0,75

Tablo 4.10 Elektrokromik ve piezoelektrik malzemelerin ikili karşılaştırma matrisleri (devamı)

GÜRÜLTÜ KONTROLÜ (DURUM 1)				GÜRÜLTÜ KONTROLÜ (DURUM 2)			
	ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	SATIR ARALIĞI		ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	SATIR ARALIĞI
ELEKTRO KROMİK	1	1/2	1/3	ELEKTRO KROMİK	1	1	1/2
PIEZO ELEKTRİK	2	1	2/3	PIEZO ELEKTRİK	1	1	1/2
TOPLAM	3	1,50	1,00	TOPLAM	2	2	1,00
ÖNEM DEĞERİ HESABI				ÖNEM DEĞERİ HESABI			
	ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	ÖNEM DEĞERİ		ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	ÖNEM DEĞERİ
ELEKTRO KROMİK	0,33	0,33	0,33	ELEKTRO KROMİK	0,50	0,50	0,50
PIEZO ELEKTRİK	0,67	0,67	0,67	PIEZO ELEKTRİK	0,50	0,50	0,50
SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK PERFORMANSI							
YAPIM ATIKLARI VE GERİ DÖNÜŞÜM (DURUM 1)				YAPIM ATIKLARI VE GERİ DÖNÜŞÜM (DURUM 2)			
	ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	SATIR ARALIĞI		ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	SATIR ARALIĞI
ELEKTRO KROMİK	1	1/3	1/4	ELEKTRO KROMİK	1	1/8	1/9
PIEZO ELEKTRİK	3	1	3/4	PIEZO ELEKTRİK	8	1	8/9
TOPLAM	4	1,33	1,00	TOPLAM	9	1,13	1,00
ÖNEM DEĞERİ HESABI				ÖNEM DEĞERİ HESABI			
	ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	ÖNEM DEĞERİ		ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	ÖNEM DEĞERİ
ELEKTRO KROMİK	0,25	0,25	0,25	ELEKTRO KROMİK	0,11	0,11	0,11
PIEZO ELEKTRİK	0,75	0,75	0,75	PIEZO ELEKTRİK	0,89	0,89	0,89

Tablo 4.10 Elektrokromik ve piezoelektrik malzemelerin ikili karşılaştırma matrisleri (devamı)

KULLANIM ÖMRÜ VE YAŞAM DÖNGÜSÜ (DURUM 1)				KULLANIM ÖMRÜ VE YAŞAM DÖNGÜSÜ (DURUM 2)			
	ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	SATIR ARALIĞI		ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	SATIR ARALIĞI
ELEKTRO KROMİK	1	1/3	1/4	ELEKTRO KROMİK	1	1	1/2
PIEZO ELEKTRİK	3	1	3/4	PIEZO ELEKTRİK	1	1	1/2
TOPLAM	4	1,33	1,00	TOPLAM	2	2	1,00
ÖNEM DEĞERİ HESABI				ÖNEM DEĞERİ HESABI			
	ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	ÖNEM DEĞERİ		ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	ÖNEM DEĞERİ
ELEKTRO KROMİK	1 / 4	1/3 / 1,33	0,25	ELEKTRO KROMİK	1 / 2	1 / 2	0,50
PIEZO ELEKTRİK	3 / 4	1 / 1,33	0,75	PIEZO ELEKTRİK	1 / 2	1 / 2	0,50
İKLİM KOŞULLARINDAN ETKİLENME (DURUM 1)				İKLİM KOŞULLARINDAN ETKİLENME (DURUM 2)			
	ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	SATIR ARALIĞI		ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	SATIR ARALIĞI
ELEKTRO KROMİK	1	5	5/6	ELEKTRO KROMİK	1	1/3	1/4
PIEZO ELEKTRİK	1/5	1	1/6	PIEZO ELEKTRİK	3	1	3/4
TOPLAM	1,20	6	1,00	TOPLAM	4	1,33	1,00
ÖNEM DEĞERİ HESABI				ÖNEM DEĞERİ HESABI			
	ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	ÖNEM DEĞERİ		ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	ÖNEM DEĞERİ
ELEKTRO KROMİK	0,83	0,83	0,83	ELEKTRO KROMİK	0,25	0,25	0,25
PIEZO ELEKTRİK	0,17	0,17	0,17	PIEZO ELEKTRİK	0,75	0,75	0,75

Tablo 4.10 Elektrokromik ve piezoelektrik malzemelerin ikili karşılaştırma matrisleri (devamı)

DİĞER ÖLÇÜTLER							
ESTETİK VE RENK (DURUM 1)				ESTETİK VE RENK (DURUM 2)			
	ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	SATIR ARALIĞI		ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	SATIR ARALIĞI
ELEKTRO KROMİK	1	1/2	1/3	ELEKTRO KROMİK	1	1/3	1/4
PIEZO ELEKTRİK	2	1	2/3	PIEZO ELEKTRİK	3	1	3/4
TOPLAM	3	1,50	1,00	TOPLAM	4	1,33	1,00
ÖNEM DEĞERİ HESABI				ÖNEM DEĞERİ HESABI			
	ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	ÖNEM DEĞERİ		ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	ÖNEM DEĞERİ
ELEKTRO KROMİK	1 / 3	1/2 / 1,50	0,33	ELEKTRO KROMİK	1 / 4	1/3 / 1,33	0,25
PIEZO ELEKTRİK	2 / 3	1 / 1,50	0,67	PIEZO ELEKTRİK	3 / 4	1 / 1,33	0,75
EKONOMİK ÖLÇÜT (DURUM 1)				EKONOMİK ÖLÇÜT (DURUM 2)			
	ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	SATIR ARALIĞI		ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	SATIR ARALIĞI
ELEKTRO KROMİK	1	1/2	1/3	ELEKTRO KROMİK	1	1/2	1/3
PIEZO ELEKTRİK	2	1	2/3	PIEZO ELEKTRİK	2	1	2/3
TOPLAM	3	1,50	1,00	TOPLAM	3	1,50	1,00
ÖNEM DEĞERİ HESABI				ÖNEM DEĞERİ HESABI			
	ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	ÖNEM DEĞERİ		ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	ÖNEM DEĞERİ
ELEKTRO KROMİK	0,33	0,33	0,33	ELEKTRO KROMİK	0,33	0,33	0,33
PIEZO ELEKTRİK	0,67	0,67	0,67	PIEZO ELEKTRİK	0,67	0,67	0,67

Tablo 4.10 Elektrokromik ve piezoelektrik malzemelerin ikili karşılaştırma matrisleri (devamı)

SAĞLIK ÖLÇÜTÜ (DURUM 1)				SAĞLIK ÖLÇÜTÜ (DURUM 2)			
	ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	SATIR ARALIĞI		ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	SATIR ARALIĞI
ELEKTRO KROMİK	1	1	1/2	ELEKTRO KROMİK	1	2	2/3
PIEZO ELEKTRİK	1	1	1/2	PIEZO ELEKTRİK	1/2	1	1/3
TOPLAM	2	2	1,00	TOPLAM	1,50	3	1,00
ÖNEM DEĞERİ HESABI				ÖNEM DEĞERİ HESABI			
	ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	ÖNEM DEĞERİ		ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	ÖNEM DEĞERİ
ELEKTRO KROMİK	0,50	0,50	0,50	ELEKTRO KROMİK	0,67	0,67	0,67
PIEZO ELEKTRİK	0,50	0,50	0,50	PIEZO ELEKTRİK	0,33	0,33	0,33

MALZEME KAYNAKLI OLMAYAN ÖLÇÜTLER							
YAPIM VE KULLANIM SÜRECİ ÖLÇÜTLERİ							
TASARIM SÜRECİ ÖLÇÜTÜ (DURUM 1)				TASARIM SÜRECİ ÖLÇÜTÜ (DURUM 2)			
	ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	SATIR ARALIĞI		ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	SATIR ARALIĞI
ELEKTRO KROMİK	1	1/2	1/3	ELEKTRO KROMİK	1	1	1/2
PIEZO ELEKTRİK	2	1	2/3	PIEZO ELEKTRİK	1	1	1/2
TOPLAM	3	1,50	1,00	TOPLAM	2	2	1,00
ÖNEM DEĞERİ HESABI				ÖNEM DEĞERİ HESABI			
	ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	ÖNEM DEĞERİ		ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	ÖNEM DEĞERİ
ELEKTRO KROMİK	0,33	0,33	0,33	ELEKTRO KROMİK	0,50	0,50	0,50
PIEZO ELEKTRİK	0,67	0,67	0,67	PIEZO ELEKTRİK	0,50	0,50	0,50

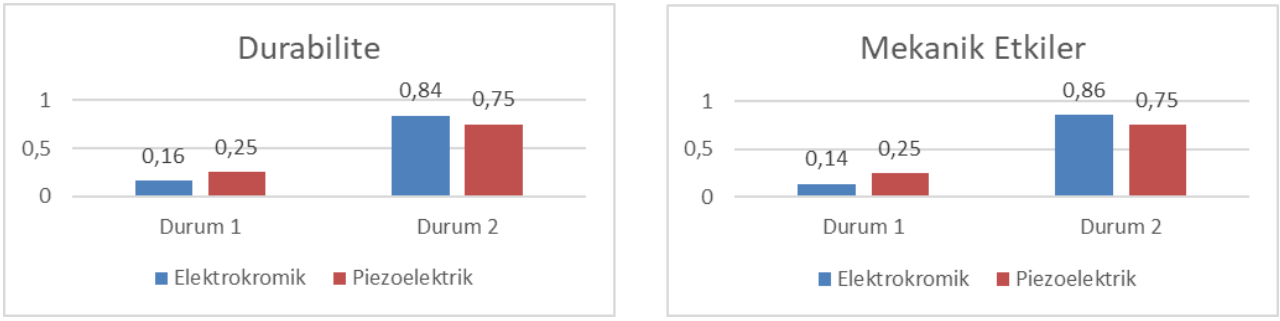
Tablo 4.10 Elektrokromik ve piezoelektrik malzemelerin ikili karşılaştırma matrisleri (devamı)

ÜRETİM SÜRECİ ÖLÇÜTÜ (DURUM 1)				ÜRETİM SÜRECİ ÖLÇÜTÜ (DURUM 2)			
	ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	SATIR ARALIĞI		ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	SATIR ARALIĞI
ELEKTRO KROMİK	1	1/2	1/3	ELEKTRO KROMİK	1	1/3	1/4
PIEZO ELEKTRİK	2	1	2/3	PIEZO ELEKTRİK	3	1	3/4
TOPLAM	3	1,50	1,00	TOPLAM	4	1,33	1,00
ÖNEM DEĞERİ HESABI				ÖNEM DEĞERİ HESABI			
	ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	ÖNEM DEĞERİ		ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	ÖNEM DEĞERİ
ELEKTRO KROMİK	0,33	0,33	0,33	ELEKTRO KROMİK	0,25	0,25	0,25
PIEZO ELEKTRİK	0,67	0,67	0,67	PIEZO ELEKTRİK	0,75	0,75	0,75
UYGULAMA SÜRECİ ÖLÇÜTÜ (DURUM 1)				UYGULAMA SÜRECİ ÖLÇÜTÜ (DURUM 2)			
	ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	SATIR ARALIĞI		ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	SATIR ARALIĞI
ELEKTRO KROMİK	1	3	3/4	ELEKTRO KROMİK	1	3	3/4
PIEZO ELEKTRİK	1/3	1	1/4	PIEZO ELEKTRİK	1/3	1	1/4
TOPLAM	1,33	4	1,00	TOPLAM	1,33	4	1,00
ÖNEM DEĞERİ HESABI				ÖNEM DEĞERİ HESABI			
	ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	ÖNEM DEĞERİ		ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	ÖNEM DEĞERİ
ELEKTRO KROMİK	0,75	0,75	0,75	ELEKTRO KROMİK	0,75	0,75	0,75
PIEZO ELEKTRİK	0,25	0,25	0,25	PIEZO ELEKTRİK	0,25	0,25	0,25

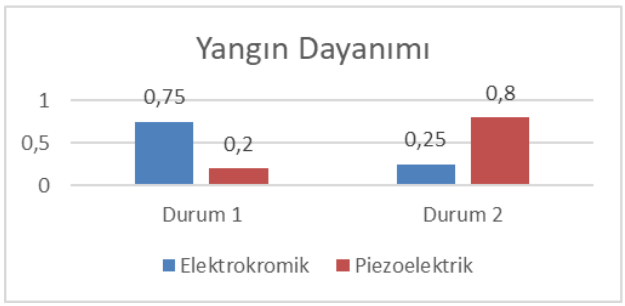
Tablo 4.10 Elektrokromik ve piezoelektrik malzemelerin ikili karşılaştırma matrisleri (devamı)

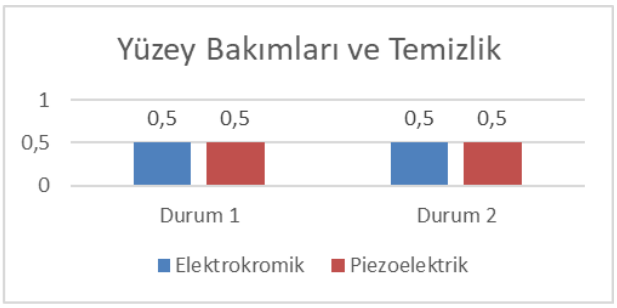
KULLANIM SÜRECİ ÖLÇÜTÜ (DURUM 1)				KULLANIM SÜRECİ ÖLÇÜTÜ (DURUM 2)			
	ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	SATIR ARALIĞI		ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	SATIR ARALIĞI
ELEKTRO KROMİK	1	2	2/3	ELEKTRO KROMİK	1	3	3/4
PIEZO ELEKTRİK	1/2	1	1/3	PIEZO ELEKTRİK	1/3	1	1/4
TOPLAM	1,50	3	1,00	TOPLAM	1,33	4	1,00
ÖNEM DEĞERİ HESABI				ÖNEM DEĞERİ HESABI			
	ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	ÖNEM DEĞERİ		ELEKTRO KROMİK	PIEZO ELEKTRİK	ÖNEM DEĞERİ
ELEKTRO KROMİK	0,67	0,67	0,67	ELEKTRO KROMİK	0,75	0,75	0,75
PIEZO ELEKTRİK	0,33	0,33	0,33	PIEZO ELEKTRİK	0,25	0,25	0,25

Oluşturulan matrislere göre belirlenen yeni skorlar, elektrokromik ve piezoelektrik malzemelerin performans ölçütleri ve dış ortam durumlarına göre önem değerlerini ifade eder. Şekil 4.9-4.19'daki sütun grafiklerinde Durum 1 ve Durum 2'ye göre değerlendirilen elektrokromik ve piezoelekterik malzemelerin önem değerleri, ölçütler çerçevesinde incelenmiştir.

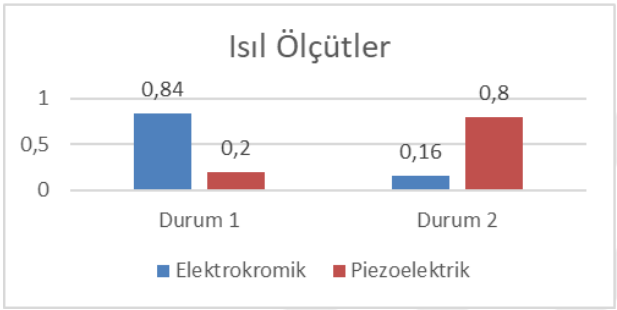


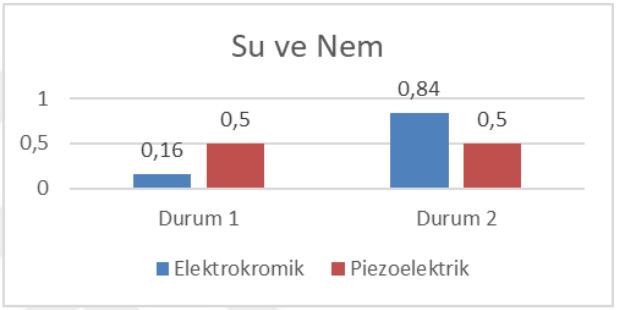
Şekil 4.9 Durabilite ve mekanik etkilerin Durum 1 ve Durum 2'ye göre değerlendirilmesi



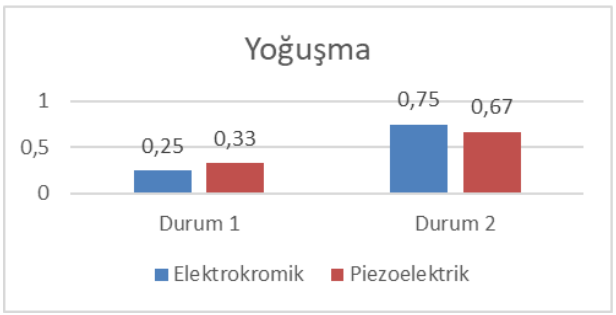


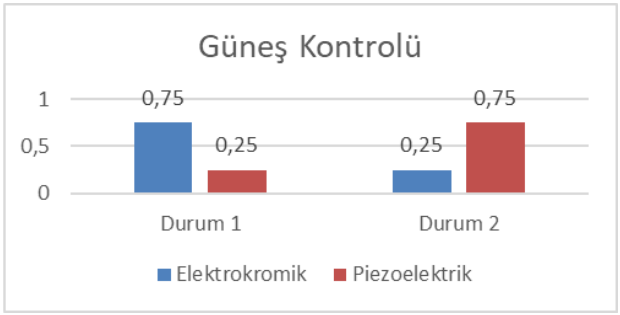
Şekil 4.10 Yangın dayanımı ile yüzey bakımları ve temizlik ölçütlerinin Durum 1 ve Durum 2'ye göre değerlendirilmesi



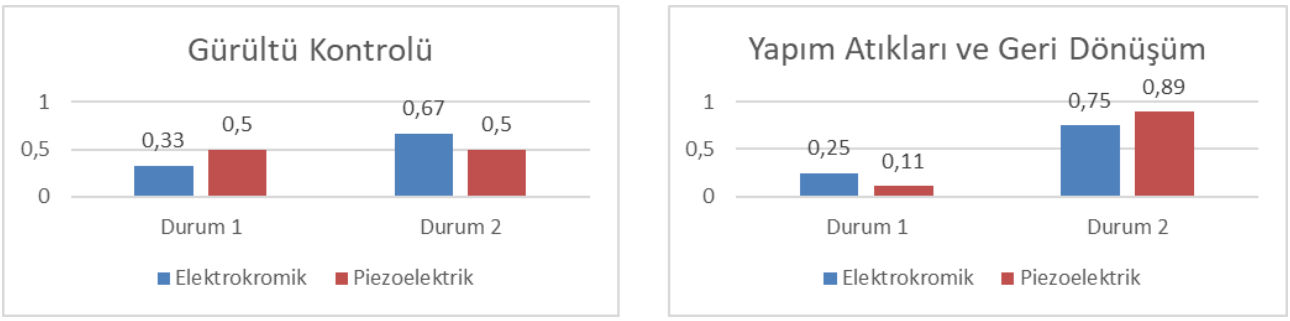


Şekil 4.11 Isıl ölçütler ile su ve nem ölçütlerinin Durum 1 ve Durum 2'ye göre değerlendirilmesi

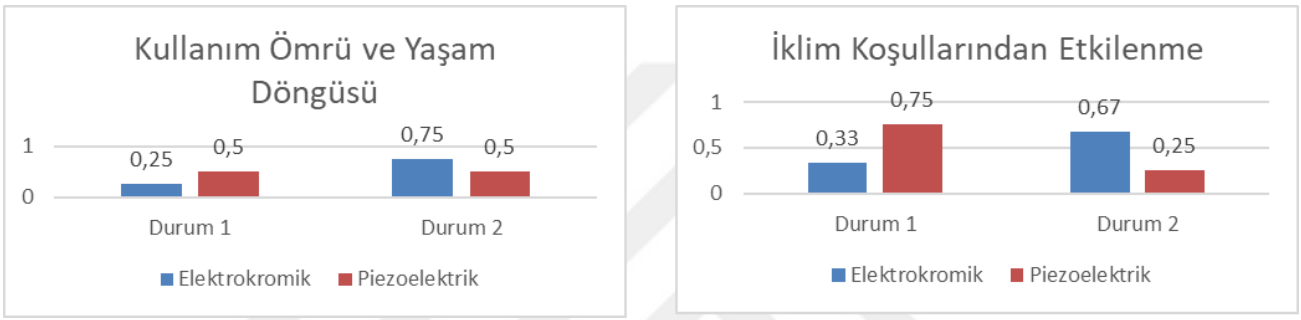




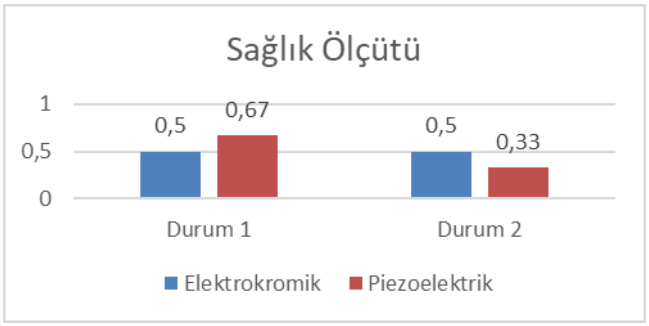
Şekil 4.12 Yoğuşma ile güneş kontrolü ölçütlerinin Durum 1 ve Durum 2'ye göre değerlendirilmesi



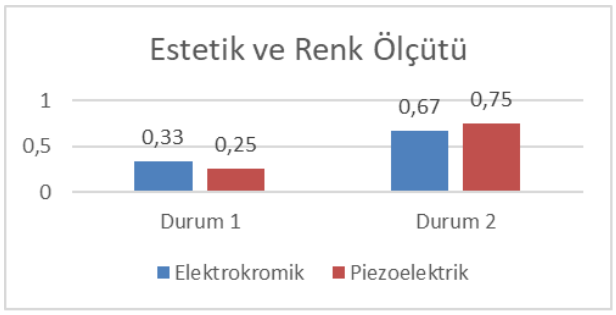
Şekil 4.13 Gürültü kontrolü ile yapım atıkları ve geri dönüşüm ölçütlerinin Durum 1 ve Durum 2'ye göre değerlendirilmesi

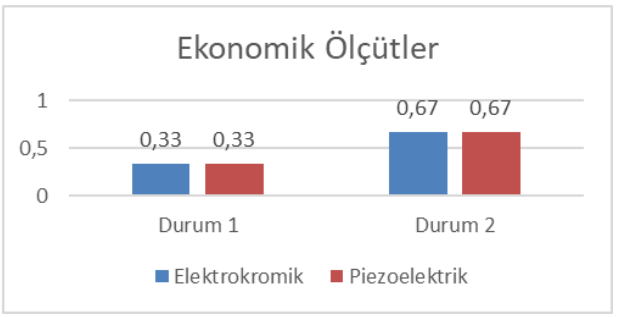


Şekil 4.14 Kullanım ömrü ve yaşam döngüsü ile iklim koşullarından etkilenme ölçütlerinin Durum 1 ve Durum 2'ye göre değerlendirilmesi

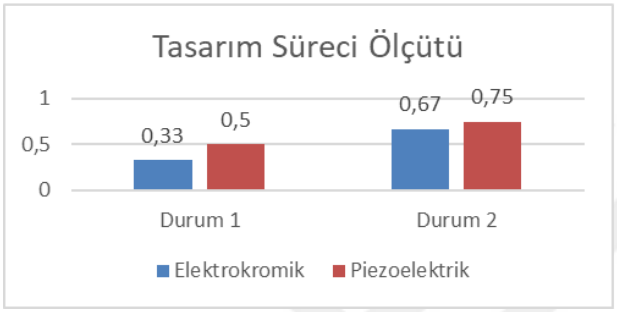


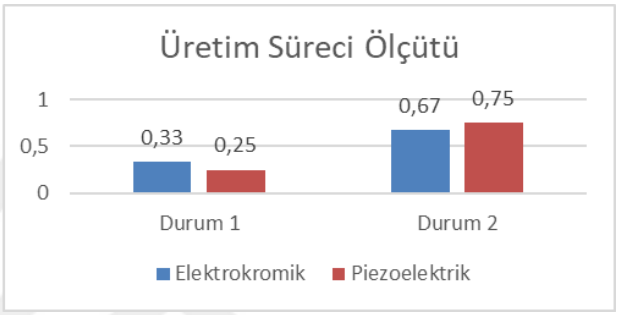
Şekil 4.15 Sağlık ölçütünün Durum 1 ve Durum 2'ye göre değerlendirilmesi



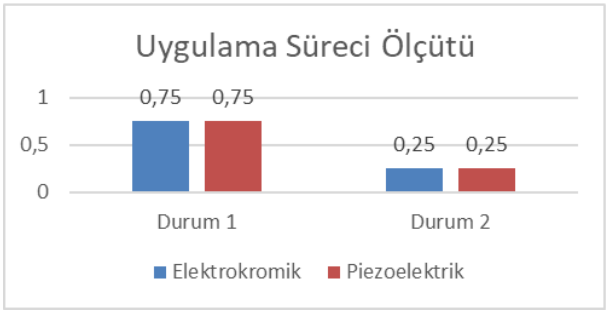


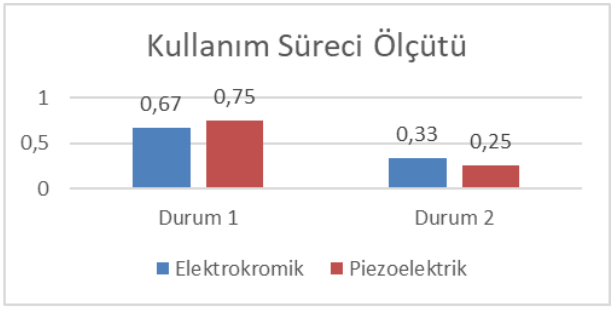
Şekil 4.16 Estetik ve renk ölçütü ile ekonomik ölçütlerin Durum 1 ve Durum 2'ye göre değerlendirilmesi





Şekil 4.17 Estetik ve renk ölçütü ile ekonomik ölçütlerin Durum 1 ve Durum 2'ye göre değerlendirilmesi





Şekil 4.18 Estetik ve renk ölçütü ile ekonomik ölçütlerin Durum 1 ve Durum 2'ye göre değerlendirilmesi

Alt ölçütler çerçevesinde yapılan karşılaştırma sonucunda; Durum 1 için, yangın dayanımı, ısıl ölçüt, güneş konrtolü, kullanım ömrü ve yaşam döngüsü, iklim koşullanırndan etkilenme, estetik, uygulama süreci ve kullanım süreci ölçütleri çerçevesinde elektrokromik malzemelerin önem dereceleri daha üstünken, durabilite, mekanik, su ve nem, yoğuşma, gürültü kontrolü, yapım atıkları ve geri dönüşüm, ekonomi, tasarım ve üretim süreci ölçütleri çerçevesinde piezoelektrik malzemelerin önem dereceleri daha üstündür. Sağlık, yüzey bakımları ve temizlik ölçütleri çerçevesinde ise söz konusu malzemeler hemen hemen eşit derecede önem değerine sahiptir. Durum 2 için ise, sağlık uygulama ve kullanım süreci ölçütleri çerçevesinde elektrokromik malzemelerin önem dereceleri daha üstünken, durabilite, mekanik, yangın dayanımı, ısıl ölçüt, yoğuşma, güneş kontrolü, yapım atıkları ve geri dönüşüm, iklim koşullarından etkilenme, estetik, ekonomi ve üretim süreci ölçütleri çerçevesinde piezoelektrik malzemelerin önem dereceleri daha üstündür. Yüzey bakımları ve temizlik, su ve nem ölçütü, gürültü kontrolü, tasarım süreci, kullanım ömrü ve yaşam döngüsü ölçütleri çerçevesinde ise söz konusu malzemeler hemen hemen eşit derecede önem değerine sahiptir.

Alternatiflerle İlgili Sıralamanın Belirlenmesi

Alternatiflerle ilgili sıralamanın belirlenmesi aşamasında, elektrokromik ve piezoelektrik malzemelerin karşılaştırma matrislerinden elde edilen önem değerlerleri ve bu değerler sonucundaki ortalama skorlar belirlenmiştir.

Malzemelerin genel değerlendirmesinin yapılabilmesi için, Tablo 4.11'de elektrokromik ve piezoelektrik malzemelerin önem değerleri gösterilmiştir. Söz konusu önem değerleri her iki malzeme için Durum 1 ve Durum 2 olarak tablodaki sütunlara yerleştirilmiş ve aritmetik ortalamaları alınmıştır. Bu ortalamalardan yüksek olan değere sahip akıllı malzeme, değerlendirmeye alınan ortam koşulları ve performans ölçütlerine göre kullanıma daha uygun olan malzemedir.

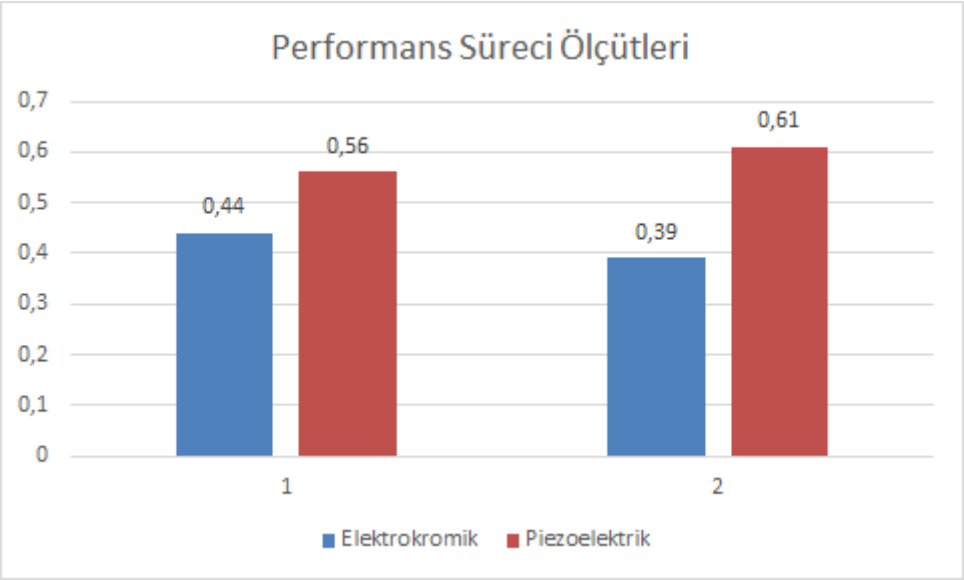
Tablo 4.11 Karşılaştırma matrisi

		ÖLÇÜTLER	DURUM 1		DURUM 2	
			ELEKTRO KROMİK MALZEME SKORU	PİEZO ELEKTRİK MALZEME SKORU	ELEKTRO KROMİK MALZEME SKORU	PİEZO ELEKTRİK MALZEME SKORU
MALZEME KAYNAKLI ÖLÇÜTLER	TEKNİK PERFORMANS	DURABİLİTE	0,16	0,84	0,25	0,75
		MEKANİK ETKİLER	0,14	0,86	0,25	0,75
		YANGIN DAYANIMI	0,75	0,25	0,20	0,80
		YÜZEY BAKIMLARI ve TEMİZLİK	0,50	0,50	0,50	0,50
	YAPI FİZİĞİ PERFORMANSI	ISIL ÖLÇÜTLER	0,84	0,16	0,20	0,80
		SU ve NEM ÖLÇÜTÜ	0,16	0,84	0,50	0,50
		YOĞUŞMA	0,25	0,75	0,33	0,67
		GÜNEŞ KONTROLÜ	0,75	0,25	0,25	0,75
		GÜRÜLTÜ KONTROLÜ	0,33	0,67	0,50	0,50
	SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK	YAPIM ATIKLARI ve GERİ DÖNÜŞÜM	0,25	0,75	0,11	0,89
		KULLANIM ÖMRÜ ve YAŞAM DÖNGÜSÜ	0,25	0,75	0,50	0,50
		İKLİM KOŞULLARI N-DAN ETKİLENME	0,83	0,17	0,25	0,75
	DİĞER	ESTETİK ve RENK ÖLÇÜTÜ	0,33	0,67	0,25	0,75
		EKONOMİK ÖLÇÜT	0,33	0,67	0,33	0,67
		SAĞLIK ÖLÇÜTÜ	0,50	0,50	0,67	0,33

Tablo 4.11 (devamı) Karşılaştırma matrisi

		ÖLÇÜTLER	DURUM 1		DURUM 2	
			ELEKTRO KROMİK MALZEME SKORU	PİEZO ELEKTRİK MALZEME SKORU	ELEKTRO KROMİK MALZEME SKORU	PİEZO ELEKTRİK MALZEME SKORU
MALZEME KAYNAKLI OLMAYAN	YAPIM ve KULLANIM SÜRECİ	TASARIM SÜRECİ ÖLÇÜTÜ	0,33	0,67	0,50	0,50
		ÜRETİM SÜRECİ ÖLÇÜTÜ	0,33	0,67	0,25	0,75
		UYGULAMA SÜRECİ ÖLÇÜTÜ	0,75	0,25	0,75	0,25
		KULLANIM SÜRECİ ÖLÇÜTÜ	0,67	0,33	0,75	0,25
		ORTALAMA	**0,44**	**0,56**	**0,39**	**0,61**

Performans ölçütlerinin çeşitli dış koşullara göre incelenmesi sonucunda, Durum 1 için elektrokromik malzemelerin ortalama önem değeri 0,44, piezoelektrik malzemelerin ortalama önem değeri 0,56 olarak, Durum 2 için ise, elektrokromik malzemelerin ortalama önem değeri 0,39, piezoelektrik malzemelerin ortalama önem değeri 0,61 olarak hesaplanmıştır, Buna göre, belirlenen koşullar çerçevesinde her iki durum için de piezoelektrik malzemelerin kullanımı elektrokromik malzemelere göre daha uygun bulunmuştur. Şekil 4.10'da elektrokromik ve piezoelektrik malzemelerin ikili karşılaştırma grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.19 Sıralamanın belirlenmesi

Elektrokromik ve piezoelektrik malzemeler, Durum 1 ve Durum 2'ye göre alt ölçütler çerçevesinde karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma yapılırken, alt ölçütlerin yanı sıra ana ölçütlerin de önem değerleri belirlenebilmektedir. Ana ölçütler çerçevesinde hesaplanan katsayılar ile alt ölçüt değerleri çarpılarak ortaya çıkan yeni değerler daha duyarlı sonuçların ortaya çıkmasına olanak tanır. Ancak çalışma kapsamında, alt ölçütler üzerinden değerlendirme yapılıp, ana ölçütler kapsam dışı bırakılmıştır.

5
SONUÇ VE ÖNERİLER

Akıllı malzemeler, geleneksel malzemelerin kullanıcı gereksinimlerini ve teknik beklentileri yeterli ölçüde karşılayamamasından ötürü geliştirilmiş, teknolojinin etkisiyle geliştirilmeye devam eden malzemelerdir. Kullanıcı, yapı, çevre arasındaki sistem ilişkileri yapının işlevsel, biçimsel ve fiziksel boyutlarına ilişkin gereksinmeleri belirler ve bu gereksinimler çerçevesinde cephelerde akıllı malzeme kullanımı detaylandırılır [228]. Bu kullanım sonucunda elde edilen performans özellikleri, yapının genel performansını oluşturarak çevresel uyaranlara verdiği yanıtı belirler. Böylelikle, "çevresel koşullarla mücadele eden" yapı anlayışı yerine, "çevrelerine akıllıca uyum sağlayan" yapı anlayışı ortaya çıkmış olur [7].

Performans koşulları açısından akıllı malzemelerin, çevresel koşullarla, diğer geleneksel malzemelerle ve yapı elamanları ile uyumluluğu önemlidir. Bu doğrultuda, cephelerde kullanıldığında yapıya birçok olumlu katkısı olan ve enerji verimliliğine imkân tanıyan akıllı malzemelerin, beraberinde getirdiği bazı dezavantajlı durumlar da mevcuttur. Söz konusu olumsuz durumlar, tasarım aşamasından kullanıcıya ulaşana kadarki süreçte çözümü gerekli bir sistem sorunu olarak ortaya çıkar ve bir seçim süreci gereksinimi doğurur.

Yapılan literatür taraması sonucu cephelerde kullanılan akıllı malzemelerin özellikleri, davranışları ve kullanım alanları konusunda çeşitli akademik çalışmalar tespit edilmiştir. Fakat söz konusu malzemelerin oluşturabileceği birtakım sorunlar çerçevesinde, olumlu ve olumsuz yönlerinin ortaya konularak cephe malzemesi seçiminde karar verme sürecine katkı sağlayacak bir yaklaşıma rastlanmamıştır. Elde edilen verilere göre; mevcut konudaki bilgi düzeyinin yetersizliği ve yeni yaklaşımların ortaya konmasının gerekliliği ile tez çalışması oluşturulmuştur.

Bu gereksinim çerçevesinde çalışmada;

- Kullanılacak akıllı malzemelere ilişkin tanımlamalar yapılarak genel özellikler belirlenmiş,

- Akıllı malzemelerin cepheyi oluşturan diğer ürünlerle birlikte kullanımınında ortaya çıkabilecek olumsuzluklar ortaya konmuş,
- Yapılarda malzeme kaynaklı oluşabilecek hasarlar ve bu hasarların yapıya verdiği zararlar tespit edilmiş,
- Malzemelerin olumsuz koşullar karşısındaki davranışı incelenmiş,
- Akıllı malzeme seçiminde modele girdi oluşturacak ölçütler belirlenmiş,
- Cephelerde akıllı malzeme kullanımı konusundaki çalışmalara veri sağlayacak, yapı durumuna göre malzeme seçimi ile ilgili bir karar üretilmesine olanak tanıyan, nitelikli ve kolay anlaşılabilir bir değerlendirme yaklaşımı ortaya konulmuştur. Belirtilen adımlar kapsamında, oluşabilecek sorunların bilincine varılıp, önlem alınmasına katkı sağlayacağı öngörülmüştür.

Yapı cephelerinde kullanılacak olan akıllı malzemelerin özellikleri, bu özelliklere göre sınıflandırılması, avantajları, dezavantajları, performans ölçütleri ve bu ölçütler doğrultusunda oluşabilecek olası sorunlar incelenip analiz edilmiştir. Akıllı malzemeler özelliklerine göre sınıflandırılmış, özellikli camlar, elektrik üreten malzemeler, adezyon değiştiren malzemeler, şekil değiştiren malzemeler, ışık yayan malzemeler ve termal düzenleyiciler olmak üzere altı başlık altında incelenmiştir. İncelenen malzemelerin sürdürülebilir enerji ve kullanıcı konforu açısından birçok avantajı olmasının yanı sıra beraberinde getirdiği birtakım sorunların (duvar çatlakları, aşınma, kopma, rötre, korozyon, birleşim noktalarında mukavemet kaybı vb.) olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu tespit sonucu, akıllı malzemelerin çeşitli faktörler sonucunda gösterdikleri performans ölçütleri ve bu ölçütler kapsamında oluşabilecek sorunlar belirlenmiştir. Bu ölçütler, malzeme kaynaklı ölçütler (teknik performans, yapı fiziği, sürdürülebilirlik, diğer) ve yapım, kullanım süreci ölçütleri (tasarım, üretim, uygulama, kullanım süreci) kapsamında ele alınarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme kapsamında cephelerde akıllı malzeme kullanımının çeşitli koşullarda, aşınma, kopma, çatlak oluşumu, korozyon, taşıyıcı sistem hasarları, ısıl deformasyon ile genleşme ve büzülmeler, nem, yoğuşma, terleme, cephede su sızıntısı, küflenme, çürüme, çiçeklenme, radyasyon etkisi, renk solması, zehirli gaz salınımı ile kullanıcılarda solunum yolu rahatsızlıklarının oluşması, kimyasal tepkimelerin malzemeleri ve kullanıcı sağlığını olumsuz etkilemesi, tasarım,

tedarik, depolama, uygulama ve kullanım sorunları, olası yangınlar ve kirlenme gibi sorunlara yol açabildiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle cephelerde kullanılacak olan akıllı malzemelerin performans ölçütlerinin oluşabilecek sorunlar kapsamında değerlendirilip, tasarımcı ve uygulayıcıların yapının bulunduğu çevresel koşullara ve kullanıcı isteklerine en uygun akıllı malzeme seçimini yapılabileceği bir seçim modeli önerilmiştir. Bu model önerilirken çok ölçütlü seçim modellerinden biri olan AHP yöntemi kullanılarak karar verme adımları oluşturulmuştur. Bu yöntem, birden fazla ölçüte sahip karmaşık sorunları çözebilen ve karar vericilere ulaşmak istedikleri hedef doğrultusunda nitel ve nicel değişkenleri sayısal yöntemlerle değerlendirmeye olanak tanıyan bir yöntemdir. Bu kapsamda seçim modelinin uygulanması için, İstanbul ili Bakırköy ilçesinde, on katlı bir yapı seçilmiş ve önerilen seçim modeli uygulanarak elektrokromik ve piezoelektrik malzemeler karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada ana ölçütler ve bunlara bağlı alt ölçütler iki farklı durum için üstünlük derecelerine göre puanlanmış ve AHP modelinin işlem adımları ile önem dereceleri belirlenmiştir. Çıkan sonuçların farklı ölçütlerde herbir malzemenin ölçüte bağlı üstünlük derecesini ortaya koyduğu ve seçim yapmak isteyen tasarımcıya alt ölçütler çerçevesinde, yapının ihtiyaçları doğrultusunda, hangi malzemenin daha uygun olacağını ortaya koyduğu görülmüştür.

Böylelikle akıllı malzeme seçim modeli önerisiyle,

- Çeşitli durumlara göre dış ortam koşullarının değerlendirilmesine olanak sağlanmış,
- Alternatif akıllı cephe malzemelerinin dış ortam koşullarına göre davranışları ortaya konmuş,
- Söz konusu malzemelerin belirlenen dış ortam koşullarına göre avantaj ve dezavantajları saptanmış,
- Seçim modelinde kullanılmak üzere ölçütler belirlenmiş,
- Alternatiflerin, oluşturulan ölçütler ve yapı çevresel koşulları çerçevesinde değerlendirilmesini sağlayan skor tabloları oluşturulmuş,
- Tasarımcı, üretici ve uygulayıcılar için gerekli koşullara en uygun akıllı cephe malzemesinin seçimini sağlayacak bir model önerilmiştir.

Akıllı malzemelerin cephelerde kullanılmasıyla ilgili karar vermeye olanak tanıyan model önerisinin gelecek çalışmalara kaynak ve kılavuz olması hedeflenmiştir.

Oluşturulan öneri seçim modeli ile yapı cephesinde ve yapıda hatalı seçimlerden kaynaklanacak olumsuz koşulların en aza indirilerek, bakım, onarım masraflarının düşürülebileceği ve uygulama aşamasında yaşanacak zaman kayıplarının en aza indirilebileceği düşünülmektedir. Çalışma, bu yönleriyle önem taşımaktadır.

KAYNAKÇA

[1] İ. M. Akman, "İş Sağlığı Ve Güvenliği Yönetim Sistemi Ve İnşaat Sektöründe Uygulanması" Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2003.

[2] M. Addington ve D. Schodeck, "Smart Materials and New Technologies For Architecture and Design Professions", Harvard University, Architectural Press, Elsevier, New York, 2005.

[3] C. A. Rogers, C. A. "Workshop summary ARO Smart Materials, Structures and Mathematical Issues Workshop Proceedings", Virginia Polytech. Inst. and State Univ., Blacksburg, VA, Sept., 15–16, 1–9, 1988.

[4] J. M. Jani, A. M. Leary ve M. A. Subic, "A review of shape memory alloy research, applications and opportunities", Materials & Design. 56, 1078–1113, 2014.

[5] "Are smart materials intelligent?": https://www.theiet.org/publishing/inspec/researching-hot-topics/are-smart-materials-intelligent/ (Erişim Zamanı; 08,06,2021)

[6] O. Okay, "Polimerik Malzemelerin Bugünü ve Yarını", İTÜ, Kimya Böl., 2003.

[7] A. V. Orhon, "Akıllı Malzemelerin Mimarlıkta Kullanımı" Ege Mimarlık, 82, 18–21, 2012.

[8] J. Böke, U. Knaack ve M. Hemmerling, "State-of-The-Art of İntelligent Building Envelopes İn The Context of İntelligent Technical Systems", Intelligent Buildings international, Vol. 11, No. 1, 27-45, 2019.

[9] M. Casini, "Active dynamic windows for buildings: A review", Renewable Energy, 119, 923-934, 2018.

[10] S. Attia, S. Bilir, T. Safy, C. Struck, R. Loonen ve F. Goia "Current Trends And Future Challenges İn The Performance Assessment Of Adaptive Façade Systems", Energy and Building 179, 165-182, 2018.

[11] E. P. Garmo, E. Paul ve J. R. Canada, "Engineering Economy", New-York: Mc Millan, 1973.

[12] A. Balanlı, "Yapıda Ürün Seçimi", Yıldız Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Eğitim ve Kültür Hizmetleri Derneği Yayını, İstanbul, 1997.

[13] N. Tekin, "Malzeme Özelliklerinin Yapı Hasarlarındaki Rolü ve Dış Duvarlarda Isı-Su Etkisinde Davranışı", İstanbul: İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003.

[14] A. Ritter, "Smart Materials in Architecture", Interior Architecture and Design, Birkhause, Publishers for Architecture. Almanya, 2007.

[15] F. Favoino, C. G. M Roel, D. Maxime, G. Francesco; B, Chiara ve B. Francesco, ELETTRONICO, 2018.

[16] S. Al-Masrani, K. Al-Obaidi, N. A. Alin ve M. A. Isma, "Design Optimisation Of Solar Shading Systems For Tropical Office Buildings", Challenges And Future Trends, 170, 2018.

[17] A. Köknel-Yener ve R. Güvenkaya, "Binalarda Günışığının Etkin Kullanımı", Tasarım Dergisi, vol.157, 80- 84, 2005.

[18] A. Compagno, Intelligent Glass Facades, Birkhauser Publishers, Basel, 2002.

[19] B. Manav, R. Kutlu ve M. Ş. Küçükdoğu, "Mimaride Kullanılan Cam Türlerinin Aydınlatma Açısından İncelenmesi", Ulusal Elektrik Tesisat Kongresi, V. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, İzmir, Türkiye: 7-10 Mayıs, 2009.

[20] A. Sev, V. Gür ve A. Özgen "Cephenin Vazgeçilmez Saydam Malzemesi Cam", 2. Ulusal Yapı Malzemeleri Kongresi, İstanbul, 75-86, 2001.

[21] M. Wigginton, "Glass in Architecture", Phaidon Press Ltd., London, 1996.

[22] E. Turhan, "Mimari Tasarımda Cam Kullanımı ve Alışveriş Merkezlerinde Değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul, 2007.

[23] D. Button ve B. Pye, "Glass in Building", Butterworth-Heinemann, Oxford, 1993,

[24] E. S. Lee ve A. Tavil, "Energy And Visual Comfort Performance Of Electrochromic Windows With Overhangs", Building and Environment, 42; 6, 2439-2449, 2007.

[25] Ö. Eşsiz, "Teknolojinin Cam Cephe Panellerine Getirdiği Yenilikler", Çatı Cephe Fuarı-CNR 2-3 Nisan, 2004.

[26] N. J. Kreidl, "Photochromic Glass", Leonardo, vol 3, Pegumon Press, Britain, 429-432, 1970.

[27] C. Açıksarı ve B. Karasu, "Akıllı Camlar ve Teknolojik Gelişimleri", El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi Cilt: 5, No: 2, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 2018.

[28] Ö. Ergin, "Uyarlanabilir Cephe Sistemlerinde Güncel Yaklaşımlar ve Akıllı Malzemelerin Kullanımı", Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, İstanbul, 2019.

[29] H. K. Gürakın, "Elektrokromik Uygulamalar İçin İletken Polimer Elektrolitlerin Hazırlanması Ve Karakterizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi , Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012.

[30] T. Kazanasmaz ve Y. Diler, "Gelişmiş Cam Teknolojileri İle Enerji Etkinliğin Değerlendirmesi", VI. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu ve Sergisi, Kasım, İzmir, Bildiriler Kitabı, 84-93, 2011.

[31] T. Inoue, M. Ichinose ve N. Ichikawa, “Thermotropic Glass With Active Dimming Control For Solar Shading And Daylighting”, Energy and Buildings, Volume 40, Issue 3, 385-393,2 008.

[32] I. P. Parkin ve T. D. Manning, “Intelligent Thermochromic Windows”, Journal of Chemical Education, Vol. 83(3), 2006.

[33] J. Yao ve Z. Neng, “Evaluation Of İndoor Thermal Environmental, Energy And Daylighting Performance Of Thermotropic Windows”, Building and Environment, 2011.

[34] Y. Gao, H. Luo, Z. Zhang, L. Kang, Z. Chen, J. Du, M. Kanehira ve C. Cao, “Nanoceramic VO2 Thermochromic Smart Glass: A Review On Progress İn Solution Processing”, Nano Energy 1, 221–246, 2012.

[35] P. Kiria, G. Hyett ve R. Binions, "Solid State Thermochromic Materials", Advanced Materials Letters, Vol. 1(2), 86-105, 2010.

[36] R. Baetens, B. P. Jelle ve A. Gustavsen, “Aerogel İnsulation For Building Applications: A State-Of-The-Art Review”, Energy and Buildings. 43(4), 761-769, 2011.

[37] E. Lee, S. Selkowitz, R. Clear, D. DiBartolomeo, J. Klems, L. Fernandes, G. Ward, V. Inkarojrit ve M. Yazdanian, “Advancement of Electrochromic Windows”, Sacramento, CA: California Energy Commission, PIER, 2006.

[38] E. Ilter, A. Tavil ve O. C. Celik, “Full-Scale Performance Testing And Evaluation Of Unitized Curtain Walls”, Journal of Facade Design and Engineering, vol. 3, no. 1, pp. 39-47, 2015.

[39] Sageglass (2021). “Solution”: https://sageglass.com/sitesads/default/files/mos_casestudy.pdf (Erişim Zamanı; 01,06,2021)

[40] V. Gür, “Mimaride Sürdürülebilirlik Kapsamında Değişken Yapı Kabukları İçin Bir Tasarım Destek Sistemi”, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.

[41] Ö, Türker, “Pzt/Polimer Esaslı Aktif Titreşim Kontrolüne Uygun Akıllı Kiriş Tasarımı ve İmalat”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009.

[42] C. Ergun, Ş. Yılmaz, E. Özdemir, Ö. Gül ve Ö. Kalenderli, “Piezoelektrik Malzemeler ve Uygulamaları”, 11. Uluslararası Malzeme Sempozyumu, Denizli, Nisan, Bildiriler Kitabı, 595-606, 2006.

[43] S. Bayar, "Malzeme Özellikleri Sıcaklığa Bağlı Olan Bir Piezoelektrik Plağın Statik Analizi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.

[44] H. E. Sevgi, "Piezoelektrik Yamalı Katmanlı Kompozit Bir Kirişin Titreşim Analizi ve Kontrolü", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009.

[45] R. A. Islam ve S. Priya, "Realization Of High-Energy Density Polycrystalline Piezoelectric Ceramics", 88, 2009.

[46] M. Akgün, "Piezoelektrik Özellikli, Polimer Nanokompozit Malzeme Geliştirilmesi ve Titreşim Sensörü Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, FBE, Bursa, 2018.

[47] Y. H. Chen, K. Uchino, M. Shen ve D. Viehland, "Substituent Effects On The Mechanical Quality Factor of Pb(Mg1/3Nb2/3)O3-PbTiO3 and Pb(Sc1/2Nb1/2)O3-PbTiO3 Ceramics", Journal of Applied Physics, 90 (3), 1455-1458, 2001.

[48] "PVDF Ve PTFE Için Hangi Membran Malzemesi Daha Iyidir?": https://www.bdir.com/tr/haber/bu-zar-madde-is-iyi-icin-pvdf-ve-ptfe (Erişim Zamanı; 08,06,2021)

[49] İ. Ayçam ve N. Ö. Kanan"Ekolojik Mimarlık Kapsamında Bina Bütünleşik Nano-PV Malzemenin İncelenmesi", V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, pp 73-77, 2009.

[50] S. Sayın ve İ. Koç, "Güneş Enerjisinden Aktif Olarak Yararlanmada Kullanılan Fotovoltaik (PV) Sistemler ve Yapılarda Kullanım Biçimleri", Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 26 (3), 89-106, 2011.

[51] S. Yılmaz ve N. Vural, "Sürdürülebilir Yapıların Tasarlanmasında Nanoteknolojinin Rolü", 2nd International Sustainable Buildings Symposium, Ankara, 2015.

[52] P. Eilfert ve G. J. Kiss, "Building Integrated Photovoltaic Design for Commercial and Institutional Structures", A Source Book for Archiects, U.S. Department of Energy, 58-63, 2000.

[53] H. Hullmann, H. "Photovoltaik in Gebauden", Handbuch für Architekten und Ingenieure, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2000.

[54] Ö. Dağoğlu, "Toplu Konutlarda Fotovoltaik Sistem Kullanımlarının Farklı İklim Bölgelerine Göre Değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2019.

[55] B. Çakmaklı, S. Ateş-Can ve E. Muraçal, "Deprem ve Mimarlıkta Kullanılan Polimer Malzemeler", Uluslararası Burdur Deprem ve Çevre Sempozyumu, Mayıs, Burdur, Bildiriler Kitabı, 448-455, 2015.

[56] S. Yağlı, "Teknolojik Gelişmelerin Etkisi ile Yüzeylerde Malzeme Kullanımı: Akıllı Malzemeler", Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Anabilim Dalı, Ankara, 2019.

[57] E. Demirhan, "Alüminyum Yüzey Üzerindeki Emaye Kaplamalara Titanyum Dioksit Katkısı İle Fotokatalitik Özellik Kazandırılması", Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Kimya Mühendisliği, 2014.

[58] S. Bardakçı, "Sol-Jel Yöntemi İle Hazırlanan Tio2 İnce Filmlerin Optik Özelliklerinin Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.

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

[60] W. Barthlott ve N. Ehler, "Raster-Elektronenmikroskopie der Epidermis-Oberflächen von Spermatophyten", Tropische und subtropische Pflanzenwelt (19), 367-467, 1977.

[61] E. D. Şam, M. Ürgen ve F. Z. Tepehan, "TiO2 Fotokatalistleri, İtüdergisi", 6, 5-6, 8192, 2007.

[62] E. Çakıroğlu, "Titanyım Dioksti Esaslı (TiO2) Fotokatalizör Kullanılarak Toksik Madde İçerikli Atık Suların Detoksifikasyonu", Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2011.

[63] M. Koç, "Sol-Jel Yöntemiyle Elde Edilen Alüminyum, Antimon ve Bakır Katkılı Nano Tanecikli TiO2 İnce Filmlerinin Optiksel, Yapısal ve Morfolojik Özelliklerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2012.

[65] M. E. Sökmen, "Madencilik Sektöründe İş Güvenliği Uzmanlığı Eğitimlerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi ve Değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2019.

[65] S. Yılmaz, "Nanoteknolojinin Mimaride Kullanım Olanakları", Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2014.

[66] A. V. Orhon, "Kendini Temizleyen Cephe Sistemleri", 7.Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, Nisan, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 139-147, 2014.

[67] "The First Net-Zero-Energy Stadium Will Be in the Next World Cup": https://www.fastcompany.com/1680755/the-first-net-zero-energy-stadium-will-be-in-the-next-world-cup (Erişim Zamanı; 08,06,2021)

[68] C. Gi-Cho, "Shape memory material", in: Smart Clothing Technology and Applications. Ed.:Gilsoo Cho, CRC Press, Taylor & Francis Group ,USA, 2010.

[69] J. Hu, "Shape Memory Polymers And Textiles", Woodhead Publishing Limited, CRC Press, ABD, 2007.

[70] A. Bedeloğlu, "Şekil Hafızalı Alaşımlar ve Tekstil Malzemelerindeki Uygulamaları", Tekstil ve Mühendis, 18, 83, 27-37, 2011.

[71] C. M. Jackson, H. J. Wagner ve R. J. Wasilewski, "55Nitinol- The Alloy With A Memory: Its Physical Metallurgy", Properties, Andapplications. NASA- SP5110, ABD, 1972.

[72] R. C. C. Winchester ve G. K. Stylios, "Designing Knitted Apparel By Engineering The Attributes Of Shape Memory Alloy", International Journal of Clothing Science and Technology, 15, 5, 359-366, 2003.

[73] Şekil Hafızalı Alaşımlar Nelerdir: https://www.muhendisbeyinler.net/sekil-hafizali-alasimlar-nelerdir/ (Erişim Zamanı; 08,06,2021)

[74] S. Aslan, "Şekil Hafızalı Polimer Esaslı Fonksiyonel Tekstil Yapılarının Geliştirilmesi", Doktora tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 8-10, 2017.

[75] A. Walcarius ve L. Louis-Mercier, "Mesoporous Organosilica Adsorbents: Nanoengineered Materials For Removal Of Organic And İnorganic Pollutants", Journal of Materials Chemistry, Issue 22, 2010.

[76] M. Tuna-Kayılı, "Akıllı Malzemelerin Kamu Yapılarında Uygulama Önerileri: Karabük Örneği", Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (18), 805-817, 2020.

[77] F. Kelek, "Bilgisayar Destekli Fotolüminesans Ölçüm Sisteminde Monokromatörün Mikro Denetleyici ve Adım Motor İle Kontrolü", Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, 2008.

[78] "Maddeler Nasıl Işık Saçar?": https://www.kimyaegitimi.org/sites/default/files/kimya_egitimi_ogrenci_deneyleri/maddelerin_isik_sacmasi.pdf (Erişim Zamanı; 08,02,2021)

[79] https://fotoluminiscente.com/ (Erişim Zamanı; 17,03,2021)

[80] H. Yamamoto ve T. Matsuzawa, "Mechanism Of Long Phosphorescence of SrAl2O4:Eu2+, Dy3+ and CaAl2O4:Eu2+, Nd3+,", J. Lumin., 72, 1997.

[81] https://www.isiksus.com/ (Erişim Zamanı; 17,03,2021)

[82] A. Baltakesmez, "Elektrokimyasal Büyütme Tekniği İle Elde Edilen Zno Tabanlı Homoeklemlerin Elektrolüminesansının İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2011.

[83] H. Philips, LED Lighting Explained, Massachusetts, 2010.

[84] A. V. Orhon, "Sürdürülebilir Mimaride Akıllı Malzeme Kullanımı", VIII. Uluslararası Sinan Sempozyumu, Dokuz Eylül Üniversitesi, 2013.

[85] O. Yeter, "Piren Bazlı Organik Işık Yayan Diyotların (Oled) Optoelektronik Özelliklerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Giresun Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2020.

[86] N. Ide, K. Yamae, V. Kittichungchit, H. Tsuji, M. Ota ve T. Komoda, "Development of Extremely High Efficacy White OLED with over 100 lm/W", Journal of Photopolymer Science and Technology, 27, 357-361, 2014.

[87] W. Brütting, J. Frischeisen, T. D. Schmidt, B. J. Scholz ve C. Mayr, "Device Efficiency Of Organic Light-Emitting Diodes: Progress By İmproved Light Outcoupling", Physica Status Solidi A, 210, 44-65, 2013.

[88] C. W. Kwon ve K. J. Lee, "Outdoor Thermal Comfort İn A Transitional Space Of Canopy İn Schools İn The Uk", *9*(10), 2017.

[89] C. Can, "Enerji Piyasalarında Türev Araçlar Ve Muhasebesi", Yüksek Lisans Tezi, Okan Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 2015.

[90] T. Keskin, "Türkiye'nin Ulusal İklim Değişikliği Eylem Planı'nın Geliştirilmesi Projesi", Binalar Sektörü Mevcut Durum Değerlendirmesi Raporu, 2010.

[91] Z. Kulaksızoğlu, "Isı Yalıtım Sektör Araştırması", İstanbul Ticaret Odası, 2006.

[92] N. Terry, J. Palmer ve I. Cooper, Insulation and Thermal Storage Materials, 2012.

[93] L. Huang, "Feasibility Study Of Using Silica Aerogel As İnsulation For Buildings", Master of Science thesis, KTH School of Industrial Engineering and Management, Stockholm, Sweden, 2012.

[94] R. Baetens, B. P. Jelle ve A. Gustavsen, "Aerogel İnsulation For Building Applications: A State-Of-The-Art Review", Energy and Buildings. 43(4), 761-769, 2011.

[95] R. Haj-Ali, R. Eliasi, V. Fourman, C. Tzur, G. Bar, E. Grossman, R. Verker, R. Gvishi, I. Gouzman ve N. Eliaz, "Mechanical Characterization Of Aerogel Materials With Digital İmage Correlation", Microporous and Mesoporous Materials, 226, 44-52, 2016.

[96] A. Aşıkoğlu, "Sürdürülebilir Konut Yapılarında Pasif Sistemlerin Kullanılan Teknikler Açısından İrdelenmesi; İzmir İli İçin Bir Uygulama Önerisi", Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2014.

[97] K. Kalwall, "Translucent Insulation": https://www.kalwall.com/technology/panel-technology/translucent-insulation/ (Erişim Zamanı; 08,06,2021)

[98] I. K. A. Al-Zaidi "Nano SiO2 - Aerojel Katkılı Süper Isıl Yalıtım Özelliğine Sahip Beton Blok Üretimi", Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Bilimi Ve Mühendisliği Bölümü Anabilim Dalı, Kayseri, 2017.

[99] F. Pacheco-Torgal, E. S. Rasmussen, C. G. Granqvist, V. Ivanov, H. A. Kaklauskas ve S. Makonin, "Start-Up Creation: The Smart Eco-Efficient Built Environment", Woodhead Publishing, 2016.

[100] N. Hüsing ve U. Schubert, "Aerogels Airy Materials: Chemistry, Structure and Properties", Angewandte Chemie International Edition, 37: 22–45, 1998.

[101] Aerogels: Their History, Structure, and Applications. Available at: http://geobeck.tripod.com/frontier/aerogels.html (Erişim Zamanı; 08,06,2021)

[102] B. Dodson, "Flexible, High-Strength Polymer Aerogels Deliver "Superinsulation" Properties", 2012.

[103] H. Modin, "Adaptive Building Envelopes", Chalmers University of Technology, Master of Science Thesis in the Master's Programme Architecture and Engineering, 29–31, 2014.

[104] Y. Konuklu, "Mikrokapsüllenmiş Faz Değiştiren Maddelerde Termal Enerji Depolama İle Binalarda Enerji Tasarrufu", Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, 2008.

[105] A. Abhat, "Low Temperature Latent Heat Thermal Energy Storage: Heat Storage Materials" Solar Energy, 30 (4), 313–332, 1983.

[106] E. Köse ve G. Manioğlu "Konutlarda Isıtma Enerjisi Maliyetinin Daireler Arasında Dengeli Dağılımı Açısından Faz Değiştiren Malzemelerin Uygulandığı Bina Kabuğu Performansının Değerlendirilmesi", 3.Ulusal Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi, İstanbul: Mayıs 10-11, 2018.

[107] M. Kozak ve Ş. Kozak, "Enerji Depolama Yöntemleri", SDU International Technologic Science, 4 (2), 17-29, 2012.

[108] I. Dinçer ve M. A. Rosen, "Thermal Energy Storage", Systems and Applications, John Wiley&Sons.Chicheser, England, 2002.

[109] U. Stritih, Phase Change Materials, February, 2012 28–33, 2009.

[110] Y. T. Zhu, Bulk Nanostructured Materials, 2009.

[111] A. Mert, A. Akan, "Emotion Recognition From EEG Signals By Using Multivariate Empirical Mode Decomposition", 21, pages 81–89, 2018.

[112] K. Kant, A. Shukla, A. Sharma, A. Kumar ve A. Jain, "Thermal Energy Storage Based Solar Drying Systems: A Review", Innovative Food Science and Emerging Technologies, 34, 86–99, 2016.

[113] A. Coşkuner, "Faz Değiştiren Malzemelerin Sıcak-Kuru Ve Soğuk İklim Bölgelerindeki Yapı Kabuğu Enerji Performansının Karşılaştırmalı Analizi", Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan, FBE, 2018.

[114] H. Mehling ve F. Cabeza-Louisa, "Heat and Cold Storage with PCM", Springer, 2008.

[115] B. Beyhan, K. Cellat, O. Karahan, Y. Konuklu, C. Dündar, C. Güngör ve H. Paksoy, "Bina Yapı Malzemeleri İçin Mikrokapsüllenmiş Faz Değiştiren Madde Geliştirilmesi", Tesisat Mühendisliği Dergisi, 154, 63-69, 2016.

[116] B. Berköz, Z. Yılmaz ve G. Koçlar-Oral, "Enerji Etkin Konut ve Yerleşme Tasarımı", Proje No: İntag 201, İ.T.Ü., İstanbul, 1995.

[117] A. Karaipekli ve A. Sarı, "Capric–Myristic Acid/Vermiculite Composite As Form-Stable Phase Change Material For Thermal Energy Storage", Solar Energy, 83, 323-332, 2011.

[118] Y. Konuklu ve H. Paksoy, "Faz Değiştiren Maddeler ile Bina Uygulamalarında Enerji Verimliliğinin İstatistiksel Modelleme ile Tahmin Edilmesi", 3. Enerji Verimliliği Kongresi, 919–930, 2011.

[119] A. Verma, P. Ahuja, A. Neogi, "Power And Migration Cost Aware Application Placement In Virtualized Systems", 2008.

[120] J. Pan, "Bidentate Ligand-Passivated Cspbı3 Perovskite Nanocrystals For Stable Near-Unity Photoluminescence Quantum Yield And Efficient Red Light-Emitting Diodes", Journal Of The American Chemical Society, 2017.

[121] K. Kant, A. Shukla, A. Sharma, A. Kumar ve A. Jain, "Thermal Energy Storage Based Solar Drying Systems: A review", Innovative Food Science and Emerging Technologies, 34, 86–99, 2015.

[122] Y. Konuklu ve H. O. Paksoy "Phase Change Material Sandwich Panels for Managing Solar Gain in Buildings", Journal of Solar Energy Engineering, 131(4), 2009.

[123] M. Akçay, "Isıl Enerji Depolama Amaçlı Bazı Polimer/Yağ Asidi Karışımlarının Hazırlanması ve Isıl Özelliklerinin Belirlenmesi", Yüksek lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen bilimleri enstitüsü Kimya anabilim dalı, Tokat, 2006.

[124] M. Koşan ve M. Aktaş, "Faz Değiştiren Malzemelerle Termal Enerji Depolayan Bir Isı Değiştiricisinin Sayısal Analizi", Politeknik Dergisi, 2018;21(2):403-409, 2018.

[125] G. A. Lane, "Solar Energy Latent Heat Material", Volume I, CRC Pres Inc, 1983.

[126] Ş. Ş. Tortu, "Alüminyum Giydirme Cephelerde Isıl Performans Durabilite İlişkisinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, 2006.

[127] B. Baradan, H. Yazıcı ve H. Ün, "Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite)", Türkiye Hazır Beton Birliği Yayınları, İstanbul, 2010.

[128] B. Postacıoğlu, "Yapı Malzemesi Esasları; Cisimlerin Genel Özellikleri", Cilt 1, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul, 1966.

[129] K. Onaran, Malzeme Bilimi, İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul, 1999.

[130] H. Güler, F. Sezer-Şenkal ve S. Ülkü, "Binalarda Yapı Fiziği Problemleri: Bursa'da Bir Kamu Kurumu Örneği", Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 15, Sayı 2, 2010.

[131] N. Ö. Esener, "Bina Cephelerinde Oluşan Tasarım Kaynaklı Bozulmaların İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2018.

[132] D. Coşkunsu, "Yapı Fiziği Açısından Yapı Hasarları Üzerine Araştırma", Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1990.

[133] E. Gürdal, L. Tanaçan ve N. Toydemir, "Yapı Elemanı Tasarımında Malzeme", Literatür Yayınları, İstanbul, 2000.

[134] Anon, "Breaking Down The Barriers", Nature. 419: 863, 2002.

[135] A. Kılıç, "Cephe Kaplamaları ve Cephe Yangın Güvenliği", İTÜ Mühendislik Fakültesi, Yangın ve Güvenlik, Sayı 152,Sayfa 8-10, İstanbul, 2012.

[136] J. Carmody, S. Selkowitz, E. S. Lee, D. Arasteh ve T. Willmert, "Window Systems for High-Performance Buildings", New York : W.W. Norton Company, 2004.

[137] M. M. Soğukoğlu ve A. İnce, "Yüksek Binalarda Yangın Güvenliği Açısından Dış Cephe Yalıtım ve Kaplama Malzemeleri", 2009.

[138] L. Mazziotti, P. Cancelliere, G. Paduano, P. Setti ve S. Sassi, "Fire Risk Related To The Use Of PV Systems İn Building Facades", 2nd International Seminar for Fire Safety of Facades, Lund, 2016.

[139] M. Yaman ve P. Sarıcıoğlu "Looking For Criteria Of The Performance Of Glass As A Building Material", International Academic Research Congress, INES, 2017.

[140] İ. Alpur, "Cam Giydirme Cephelerin Bileşenler Yönünden Karşılaştırılması", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009.

[141] Ö. Yıldırım, "Giydirme Cephelerin Projelendirilmesinde Verimliliğin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Haliç Üniversitesi, İstanbul, 2011.

[142] S. Köse, M. Güler, H. U. Bahia ve E. Masad, "Distribution of Strains Within Hot-Mix Asphalt Binders: Applying Imaging and Finite-Element Techniques", 1: 27-21, 2000.

[143] G. Zorer-Gedik, Soğuk İklim Bölgesinde Yalıtımlı Yapı Kabuğu Kesitlerinin İncelenmesi ve Değerlendirilmesi: Erzurum Örneği, Yapıda Yalıtım Konferansı Bildiriler Kitabı, MMO Yayın No:213, Bildiri No:13, 145-151, 1999.

[144] C. Beggs, "Energy: Management", Supply and Conservation, Butterworth-Heinemann, 2002.

[145] İ. Ayçam ve G. S. Utkutuğ, "Farklı Malzemelerle Üretilen Pencere Tiplerinin Isıl Performanslarının İncelenmesi Ve Enerji Etkin Pencere Seçimi", IV.Ulusal Tesisat Müh. Kong., İzmir, 1, 61-73, 1999.

[146] S. Kızıltoprak, "Akıllı Yapı Kabuğunda Cephe Bileşeni Olarak Kullanılan Akıllı Camların Seçimi İçin Sistem Önerisi", Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Anabilim Dalı Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı, İTÜ, 2019.

[147] Ç. Tekin, "Giydirme Cephe Tasarımındaki Kriterler", 3. Ulusal Çatı & Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme ve Teknolojiler Sempozyumu, İTÜ, İstanbul, 2006.

[148] K. T. Ademci, "Alüminyum Giydirme Cephelerde Su ve Nem Problemleri", Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2000.

[149] www.glass.org/affprof/r selectingwc, 2021, Internet (Erişim Zamanı; 12,06,2021)

[150] S. Soyyiğit ve E. Bostancıoğlu, "Giydirme Cepheli Büro Binalarında Cam Seçimi", 6. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, Uludağ Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bursa, 2012.

[151] S. Petersen, "Building Life-Cycle Cost Program, Version 4.3 User's Guide and Reference Manual", National Institute of Standards and Technology, Washington, 8-19, 44-49, 1995.

[152] M. İ. Erdemli, "Elektrokromik Kaplamalı Camın Farklı İklim Bölgelerine Göre Enerji Performansı Değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı, İTÜ, (2018).

[153] A. Şentop, "Binaların Gürültü Kontrolü Etkin Tasarımı İçin Yapı Elemanı Seçim Aracı", Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, (2013).

[154] S. Kurra ve N. Tamer, "Çevre Gürültüsü Kirliliği Araştırma Projesi", İstanbul: İTÜ Çevre ve Şehircilik UYGAR Merkezi, (1995).

[155] A. Şen "Binalarda Uygulanan Yalıtım Sistemleri Dünyada ve Türkiye'de Yalıtım", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2006).

[156] N. O. Güzel ve A. Sönmez, "Giydirme Cephelerin Performans Özellikleri", Ege Mimarlık, Sayı 4, 12-17, (2002).

[157] Z. Karabiber, "Gürültü Kirliliği Ve Gürültü Kontrol Yönetmeliği", İzolasyon Dünyası Dergisi,25 34-45, (2000).

[158] G. E. Weidtman "Giydirme Cephelerde Güneş Enerji Kontrollü Reflektif Cam Seçiminde Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar" Flachglas A. G. 1-8, (1999).

[159] D. Kesten, "Yerleşim Ölçeğinden Bina Ölçeğine Sürdürülebilir ve Etkin Tasarımda Günışığının Verimli Kullanımı", V. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu Ve Sergisi, İzmir, (2009).

[160] Z. Sayar, A. B. Gültekin ve Ç. B. "Sürdürülebilir Mimarlık Kapsamında Ahşap ve PVC Doğramaların Değerlendirilmesi", 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu-IATS'09, Karabük, 2067- 2072, Dikmen, (2009).

[161] Ş. Boduroğlu, "Akıllı Binalarda Enerji Etkin Cephe Tasarımı", 5. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, (2010).

[162] B. Başar, "Türkiye'de Yapısal Katı Atıkların Yeniden Değerlendirilmesine Yönelik Bir Çalışma", Yüksek Lisans Tezi, (2007).

[163] C. J. Kibert, J. Sendzimir ve G. B. Guy, "Construction Ecology, Nature as the Basis for Green Buildings", Spon Press, London, UK., (2002).

[164] C. A. İpekçi, N. Coşgun, T. K Tıkansak, "İnşaat Sektöründe Geri Kazanılmış Malzeme Kullanımının Sürdürülebilirlik Açısından Önemi", Tübav Bilim Dergisi, 10:43-50, (2017).

[165] B. Metin, "Cephe Kaplama Sistemlerinin Uygulama Süreçlerinde Sürdürülebilirlik", 5. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu 15 -16 Nisan 2010. Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Tınaztepe yerleşkesi, Buca – İzmir, (2010).

[166] B. Sönmez ve G. Ç. Kıasıf, "Çevresel, Sosyal ve Ekonomik Bağlamda Akıllı Cephe Sistemlerinin Sürdürülebilir Kalkınmaya Etkileri", Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi,1: 63-98., (2018).

[167] Şişecam, "Geri Dönüşüm": https://www.sisecam.com.tr/tr/faaliyet-alanlarimiz/geri-donusum (Erişim Zamanı; 06, 08, 2021)

[168] Ance, "Seramik Kaplama Cephe Sistemleri": https://www.ancealuminyum.com/urunler/seramik-kaplama-cephe-sistemleri (Erişim Zamanı; 06, 08, 2021)

[169] T. Özçuhadar, "Sürdürülebilir Çevre İçin Enerji Etkin Tasarımın Yaşam Döngüsü Sürecinde İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, (2007).

[170] F. Türkmen-Bayraktar, "Türkiye' de Yapı Malzemesi Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi İçin Bir Sistem Önerisi", Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, (2000).

[171] J. Anderson, D. E. Shiers ve M. Sinclair, "The Green Guide to Specification an Environmental Profiling System for Building Materials and Components. Blackwell Science", Oxford, (2002).

[172] L. Tanacan, Ders Notları, CKY 536E, "Ecological Building Materials", İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, (2010).

[173] U. Knaack, "The Future Envelope 1", Research for Architectural Engineering Series, Volume 8, s.1. Amsterdam : IOS Press BV, (2007).

[174] G. Manioğlu ve G. Oral-Koçlar, "Ekolojik Yaklaşımda İklimle Dengeli Cephe Tasarımı, 5. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu", 15 -16 Nisan 2010, Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Tınaztepe yerleşkesi, Buca – İzmir (2010).

[175] T. Klein, "Evolution or Revolution of Systems in Façade is Function integration the strategy for the future?" The Future Envelope 1, Research for Architectural Engineering Series, Volume 8, s.89. Amsterdam : IOS Press BV, (2007).

[176] D. Watson ve K. Labs, "Climatic Design: Energy-Efficient Building Principles and Practices", New York: McGraw-Hill Book Company, (1992).

[177] A. Okanlı, "Duyum ve Algı Kavramları. Atatürk Üniversitesi, Çocuk Psikolojisi ve Ruh Sağlığı", Erzurum, (2013).

[178] C. Hume, "Royal Ontario Museum": https://libeskind.com/work/royal-ontario-museum/ (Erişim Zamanı; 06,08,2021)

[179] G, Mağgönül, “Giydirme Cephe Camları. Cephe Sistemleri ve Cephe Kaplamaları Sempozyum Bildirileri”, Yapı Endüstri Merkezi, 61-84, (1999).

[180] https://www.afsakillicamfilmi.com/akilli-cam/ (Erişim tarihi; 11,30,2020)

[181] M. Ünal, “Çift Kabuk Cephelerin Sistematik Analizi ve Uygulama Örneklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, M.S.G.S.Ü., İstanbul, (2006)

[182] G. Ertan-Tatlı, “Çift Kabuk Cephelerin Ekonomik Etkinliğinin Yaşam Dönemi Maliyeti Analiziyle İrdelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, (2006).

[183] S. Fuller ve S. Peterson, “Energy Conservation in Building: An Economics Guidebook for Inverstment Decisions”, U.S. Department of Commerce, Washington, 81-85, (1980).

[184] G. Manioğlu, “Isıtma Enerjisi Ekonomisi Ve Yaşam Dönemi Maliyeti Açısından Uygun Bina Kabuğu Ve İşletme Biçimi Seçeneğinin Belirlenmesinde Kullanılabilecek Bir Yaklaşım”, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 14-60, (2002).

[185] S. K. Fuller ve S. Peterson, “Life-Cycle Costing Manual For the Federal Management Program”, U.S. Department of Commerce, Technology Administration National Institute of Standars and Technology, Washington, B1-B4, (1995).

[186] S. K. Fuller ve A. S. Boyles, “Life-cycle Workshop For Energy Conservation in Buildings”, U.S. Department of Commerce, Technology Administration National Institute of Standars and Technology, Washington, 121-125, (2000).

[187] O. Z. Şahin, “Nanoteknolojik Ürünlerin Giydirme Cephe Sektörü Bağlamında Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, (2019).

[188] HSE “Using Nanomaterials at Work, Health And Safety Executive”, http://www.hse.gov.uk/pubns/books/hsg272.pdf (Erişim Zamanı; 06, 08,2021)

[189] E. Pritchard, “An Ion Balance for Ultra-High-Precision Atomic Mass Measurements”, Science, 303: 334-338, (2004).

[190] N. Ö. Esener ve Ö. Ş. “Deniz, Bina Cephelerinde Oluşan Tasarım Kaynaklı Bozulmaların İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2018).

[191] Ü. Bulut, “Pencere Doğramalarının Gelişimi: Ahşap ve Polimer (PVC) Pencere Doğramalarında Tasarım, Üretim ve Uygulama Hataları”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, (2001).

[192] Y. Oktuğ, “Yüksek Yapılarda Alüminyum Giydirme Cephe Sistemleri”, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, Yüksek Binalar II. Ulusal Sempozyumu, (1992).

[193] F. Özmeral, "Dış Cephe Tasarımında Plastik Esaslı Kompozit Malzeme Kullanılması", Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, (2006).

[194] G. Tair, "Yapı Üretim Sürecinde Tuğla Dış Cephe Kaplama Sorunları", Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Ana Bilim Dalı, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2010).

[195] L. Eyvazoğlu, Kartal Ateş Tuğla San. Ve Tic. LTD. Şti. İstanbul, 2008.

[196] B. Kahveci, "Beton Bünyeli Prefabrike Panel Sistemler ve Düğüm Noktalarının Tasarım Sorunları", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul. (2019).

[197] E. Duran, "Taşıyıcı Olmayan ve Dış Cephede Kullanılan Prefabrik Pano ve Kaplamaların Mimari Performanslarının İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir. (2008).

[198] https://www.knauf.com/en/knauf-partners/knauf-insulation/ (Erişim Zamanı; 11, 21, 2020)

[199] https://www.alpolic.com/index.php/ (Erişim Zamanı; 04, 17, 2020)

[200] T. Koçel, "İşletme Yöneticiliği", İstanbul: Beta Yayınları, (2001).

[201] M. Tekeş, "Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ve Türk Silahlı Kuvvetleri'nde Kullanılan Tabancaların Bulanık Uygunluk İndeksli Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Karşılaştırılması", İstanbul, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2002).

[202] M. Aytaç ve N. Gürsakal, "Karar Verme" Bursa, Dora Basımevi. (2015).

[203] P. Zhou, B. W. Ang ve K. L. Poh, "Decision Analysis İn Energy And Environmental Modeling", An update» Energy 31, No. 14, 2604-2622, (2006).

[204] S. Küçükoğlu, "Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Türkiye'de Nükleer Santral Kuruluş Yeri Seçimi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Ticaret Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, (2020).

[205] A. Guitouni ve J. M. Martel, "Tentative Guidelines To Help Choosing An Appropriate MCDA Method", European Journal of Operational Research 2, no.109, s. 501-521, (1998).

[206] T. Ustasüleyman, "Bankacılık Sektöründe Hizmet Kalitesinin Değerlendirilmesi Ahs-Topsis Yöntemi", Bankacılar Dergisi (69), 33-43, (2009).

[207] M. Yavaş, E. Taner, M. Kabak ve F. Ersöz, "Otomobil Seçimine Çok Kriterli Yaklaşım Önerisi", İşletme ve İktisat Çalışmaları Dergisi, 2(4), 110- 118, (2014).

[208] Y. Lai ve C. L. Hwang, "Fuzzy Multiple Objective Decision MakingMethods and Applications", New York: Springer-Verlag, (1994).

[209] A. Alkan, "AHP'de Dilsel Karşılaştırma Sürecinin Bulanık Mantıkla Gerçekleştirilmesi", Kocaeli: Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi, (2006).

[210] J. H. Zimmermann, "Fuzzy Set Theory- and Its Applications. Third Edition. U.S.A.", Kluwer Academic Publishers, (1996).

[211] Y. Çınar, "Çok Nitelikli Karar Verme ve Bankaların Mali Performanslarının Değerlendirilmesi Örneği", Yüksek Lisans Tezi Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, (2004).

[212] S. Chakhar ve J. M. Martel, "Towards a Spatial Decision Support System: Multi-Criteria Evaluation Functions Inside Geographical Information Systems", Annales du Lamsade, Sayı: 2, 97-123, (2004).

[213] T. Özbek, "Türkiye'de E-Ticaret Yapan İşletmelerin Sınır Ötesi Faaliyetlerini Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Muğla, (2017).

[214] T. L. Saaty, "The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting", Resource Allocation, USA, University of Pittsburgh, (1987).

[215] İ. F. Gülenç ve G. A. Bilgin, "Yatırım Kararları İçin Bir Model Önerisi: AHP Yöntemi", Kocaeli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, 97-107, (2010).

[216] S. Şen, "Farklı Ağırlıklandırma Tekniklerinin Denendiği Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle Türkiye'deki Mevduat Bankalarının Mali Performans Değerlendirmesi", İstanbul: Mimar Sinan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, (2014).

[217] T. L. Saaty, "How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process", Management Science, Vol: 24(6), s.19-43, (1994).

[218] K. Yaralıoğlu, "Performans Değerlendirmede Analatik Hiyerarşi Prosesi", Dokuz Eylül Üniversitesi İİBF Dergisi, Cilt: 16, Sayı: 1, 129-142, (2001).

[219] V. Belton, "A Comparison of The Analytic Hierarchy Process and a Simple Multiattribute Value Function", European Journal of Operational Research, 26, 7-21, (1986).

[220] B. E. Hacıköylü, "Analitik Hiyerarşi Karar Verme Süreci ile Anadolu Üniversitesi'nde Beslenme ve Barınma Yardımı Alacak Öğrencilerin Belirlenmesi", Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, (2006).

[221] Ö. Özgül, “Bir İşletme için TOPSIS ve AHP Yöntemleri ile ERP Yazılımın Seçimi”, Sakarya: Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, (2006).

[222] S. Felek, Y. Yuluğkural ve Z. Aladağ, “Mobil İletişim Sektöründe Pazar Paylaşımının Tahmininde AHP ve ANP Yöntemlerinin Kıyaslanması”, Makine Mühendisleri Odası Endüstri Mühendisliği Dergisi, Cilt 18, Sayı 1, (2007).

[223] T. L. Saaty, “The Seven Pillars of the Analytic Hierarchy Process”, Pittsburgh: 322 Mervis Hall, (1999).

[224] B. Yeşilyurt, K. Karakuş, Ş. Gür, ve T. Eren, “Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ile Hastane Bilgi Yönetim Sistemleri İçin Paket Programı Seçimi”, Başkent Üniversitesi Ticari Bilimler Fakültesi Dergisi , 3 (1), 1-21, (2019).

[225] M. N. Erginel, “Tasarım Hata Türü ve Etkileri Analizinin Etkinliği İçin Bir Model ve Uygulaması. Endüstri Mühendisliği Dergisi”, Sayı: 15(3), 17-26, (2004).

[226] M Büyükyazıcı, “Analitik Ağ Süreci”, Ankara: Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, (2000).

[227] A. Kuruüzüm ve N. Atsan, “Analatik Hiyerarşi Yöntemi ve İşletmecilik Alanındaki Uygulamalar”, Antalya: Akdeniz Üniversitesi İİBF Dergisi, Sayı: 1, 83-105, (2001).

[228] A. Aykanat, “Kamu Hizmet Yapılarımızın Kendi İçinde Tutarlı Ve Sağlıklı Gerçekleştirilmesi Olanaklarını Sağlayan Tasarım ve Uygulama Yöntemi Önerisi”, Yayımlanmamış Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (1984).

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Ulusal Bildiri

1. N. Çiçek ve E. Korkmaz, "Cephelerde Akıllı Malzeme Kullanımı ve Oluşturduğu Sorunların Çözümlenmesine Yönelik Bir Model Önerisi", YTÜ II. Mimarlık ve Şehircilik Lisansüstü Sempozyumu, sf 40-41, 2020.