

**T.C.
SİİRT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENERJİ TÜKETİMİNİ AZALTMA YAKLAŞIMI İLE SIFIR ENERJİLİ
BİNALARIN MİMARİSİNDE AKILLI EV TEKNOLOJİSİNİN ROLÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MUHAMMAD JABREALZADEH
(223118005)**

**Şehir Ve Bölge Planlama Anabilim Dalı
Kentsel Tasarım Programı**

**Mayıs-2024
SİİRT**

TEZ KABUL VE ONAYI

Muhammad Jabreailzadeh tarafından hazırlanan “ Enerji tüketimini azaltma yaklaşımı ile sıfır enerjili binaların mimarisinde akıllı ev teknolojisinin rolü ” adlı tez çalışması 05/29/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Şehir Ve Bölge Planlama Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Yaşar Bahri ERGEN

.....

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi. Zeynel YETKİN

.....

Üye

Doç. Dr. Zuhale ÖZÇETİN

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Doç. Dr. Harun BEKTAŞ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖN SÖZ

Günümüz dünyasında ekonomi, enerji ve çevre olmak üzere üç sorun bilim çevrelerinde en önemli konular arasında yer almakta ve bu alanlarda krizlerin varlığı tüm araştırmacıları bu alanlardaki sorunları çözmeye çalışmaya zorlamaktadır. Bu krizlerde önemli katkısı olan mimarlık alanında akıllı ev teknolojisi ve akıllı tasarımın kullanımı bu krizlere uygun bir çözüm olup insan yaşamının niteliğini ve niceliğini iyileştirmektedir.

Her şeyden önce bana bu canı bağışlayan ve bu günlere gelmeyi nasip eden yüce Allah'a, hayattaki en büyük hazinem olan sevgili aileme, desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen can dostlarıma, üniversiteye gelinceye kadar temel eğitimimi veren ilk ve orta öğretim öğretmenlerime, lisans ve yüksek lisans hayatım boyunca bana emeği geçen tüm hocalarıma, bu konu üzerinde çalışmama izin veren ve çalışma boyunca yakın ilgisini asla esirgemeyen tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Zeynel YETKİN'e sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Muhammad JABREALZADEH
SİİRT-2024

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖN SÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
TABLolar LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ.....	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT.....	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Araştırmanın Problemi.....	2
1.2. Araştırma Amacı.....	4
1.3. Araştırmanın Önemi	4
1.4. Materyal ve Metot.....	5
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	9
2.1. Teknoloji.....	9
2.2. Enerji.....	13
2.2.1. Yeni enerji türleri ve işlevi.....	15
2.2.1.1. Güneş enerjisi (solar energy)	15
2.2.1.2. Rüzgar enerjisi (wind energy).....	16
2.2.1.3. Jeotermal enerji (geothermal energy)	18
2.2.1.4. Biyokütle (biomass).....	19
2.2.1.5. Gelgit enerjisi.....	19
2.3. İklim.....	21
2.3.1. Plan uzaylarının sınıflandırılması	22
2.4. Nano Teknoloji.....	25
2.4.1. Yalıtım malzemeleri.....	27
3. SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARİ.....	30
3.1. Yeşil Mimari	38
3.1.1. Yeşil çatı	47
4. AKILLI BİNA	51
4.1. Bina Enerji Tüketiminin Görselleştirilmesi	63
4.2. Akıllı Bina Çalışma Sistemi	66
4.3. Akıllı Bina Formu ve Kapağı.....	68
4.4. Kontrol Sistemleri.....	71
4.5. Sıfır Enerji (Karbon Nötr).....	95
4.5.1. Ekonomik değerlendirme ve azaltım tedbirlerinin faydaları	96

4.6. Düşük Karbonlu İnşaat ve Topluluk Politikaları	100
4.6.1. Teşvik politikaları	108
4.7. Düşük Karbonlu Yapı Malzemeleri	110
4.8. Zarf Tasarımı - Çeşitli Düşük Karbonlu Zarf Tasarımları	113
4.9. İncelenen Örnekler.....	116
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	128
6. KAYNAKLAR	131
ÖZGEÇMİŞ	138



TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Isıtma ve soğutma enerjisi gereksinimlerine yönelik tasarım stratejileri	23
Tablo 2.2. Farklı konut planlarının yerleştirilmesi.....	24
Tablo 2.3. Malzemelerin sürdürülebilirliğinde akıllı malzemelerin rolü.....	26
Tablo 3.1. Sürdürülebilirlik hedefleri ve binanın bölümleri	36
Tablo 3.2. Yeşil bina tasarım konuları ve tasarımın sürdürülebilirlik işlevleri	41
Tablo 3.3. Farklı ülkelerin düşük karbon sertifikasyonları	46
Tablo 4.1. Akıllı binaların en önemli tanımlarını.....	53
Tablo 4.2. Akıllı yapılı bir ortamın özellikleri	57
Tablo 4.3. Bir Akıllı Konsept Modeli	69
Tablo 4.4. Ülkelerdeki karbon nötr yasaları.....	103
Tablo 4.5. Ülkelerdeki düşük karbonlu bir topluma ulaşmak için belirli hedefler .	107
Tablo 4.6. Düşük karbonlu yapı malzemelerinin uygulamaları ve özellikleri	111
Tablo 4.7. Düşük karbonlu pencere kategorileri	115

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Vosviewer tarafından anahtar kelime (verimli enerji) ile ilgili makaleler...	6
Şekil 1.2. Akıllı bina ile ilgili makalelerin haritası.....	7
Şekil 1.3. Sıfır karbon ile ilgili makalelerin haritası.....	7
Şekil 1.4. Üç anahtar kelimedenden elde edilen genel harita.....	8
Şekil 2.1. Camda kullanılan aerogel.....	29
Şekil 2.2. Aerogel malzemesi ve ısıya dayanıklılığı	29
Şekil 3.1. Sürdürülebilir tasarım için gerekli ilkeler	34
Şekil 3.2. Yeşil çatılı tarihi Masuleh köyü	48
Şekil 4.1. Akıllı bina tarihindeki ana olayların zaman çizelgesi	52
Şekil 4.2. Binayı daha akıllı hale getirmek için teknolojiye yararlanma.....	59
Şekil 4.3. Gelişen akıllı bina konseptini	61
Şekil 4.4. Akıllı binalarda BIM süreci.....	62
Şekil 4.5. Kamera ağı ve yönetimi	66
Şekil 4.6. Şebekeden ayrılmış fotovoltaik sistem (off-grid).....	74
Şekil 4.7. Şebekeye bağlı fotovoltaik sistem (on-grid)	74
Şekil 4.8. Fotovoltaik güneş pilleri.....	75
Şekil 4.9. Güneş soğutma sistemi.....	77
Şekil 4.10. Güneş enerjisiyle soğutma sistemi	78
Şekil 4.11. Rüzgar türbinleri.....	80
Şekil 4.12. Trombe duvar detayı 1	82
Şekil 4.13. Trombe duvar detayı 2	82
Şekil 4.14. Trombe duvar detayı 3	83
Şekil 4.15. Pasif ve aktif sistem şeması.....	87
Şekil 4.16. Akıllı bina bölümleri , gereksinim diyagramı	88
Şekil 4.17. Akıllı bina ve dış çevreye , blok tanımı diyagramı	89
Şekil 4.18. Akıllı bina ve Sıra diyagramı	89
Şekil 4.19. Akıllı bina kullanımı	90
Şekil 4.20. Akıllı bina iç blok diyagramı.....	91
Şekil 4.21. Akıllı binalarda SHEMS sistemi	92
Şekil 4.22. General electric firmasının 2015 yılı için önerilen akıllı bina örneği	94
Şekil 4.23. 2050 yılında sıfır karbonlu bina stoğu hedefine doğrudan yolu.....	99
Şekil 4.24. 2020 yılındaki CO ₂ emisyonlarında inşaat sektörünün payı	100
Şekil 4.25. Binalarda yakıtı göre enerji tüketimi, ve binalarda CO ₂ emisyonları... ..	101
Şekil 4.26. Enerji tüketimi ve 2021 yılı enerji tüketiminde binaların payı	101
Şekil 4.27. CO ₂ emisyonları ve 2021 yılı binaların küresel emisyonlarında payı ..	102
Şekil 4.28. Ülkelerde sera gazı emisyonlarının azaltılmasına ilişkin potansiyel.....	105
Şekil 4.29. Çeşitli düşük karbonlu zarf tasarımları	113
Şekil 4.30. Akıllı ev 8.....	118
Şekil 4.31. Imperium binası.....	119
Şekil 4.32. Interlis binası	121
Şekil 4.33. Edge ofis binası	122
Şekil 4.34. Aspern akıllı bölge	123
Şekil 4.35. Sønderborg sıfır projesi	124
Şekil 4.36. Bedington sıfır enerjili konut kompleksi.....	125
Şekil 4.37. Elite concept konut projesi 1	126
Şekil 4.38. Elite concept konut projesi 2	127

KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

<u>Kısaltma</u>	<u>Açıklama</u>
AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AMI	: Advanced Metering Infrastructure
BIGP	: Building Envelope Integrated Green Plants
BIM	: Building Information Modeling
BİT	: Bilgi ve İletişim Teknoloji
BREEAM	: BRE Environmental Assessment System
CAD	: Computer-Aided Design
CASBEE	: Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency
CEEQUAL	: The Civil Engineering Environmental Quality Assessment
CO₂	: Carbon Dioxide
DGNB	: Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (in English the German Sustainable Building Council)
EIA	: Energy Information Administration
EPBD	: Energy Performance of Buildings Directive
GBCT	: The Global Buildings Climate Tracker
GHG	: Greenhouse Gas
GPC	: Geopolymer concrete
GSYH	: Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
GtCO₂	: 1 Milyar Ton Karbondioksit Anlamına Geliyor
HAN	: Home Area Network
HEMS	: Home Energy Management System
HESS	: Home Energy Storage System
HP	: Heat Pump
HVAC	: Heating - Ventilation - Air Conditioning
IoT	: Internet of Things
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change
IUCN	: International Union for Conservation of Nature
LEED	: Leadership in Energy and Environmental Design
NZEB	: Nearly Zero-Emission Building
OPC	: Ordinary Portland Cement
RE2020	: Environmental Regulation 2020
SHEMS	: Smart Home Energy Management System
SHET	: Smart Home Energy Technology
SHT	: Smart Home Technology
USGBC	: The U.S. Green Building Council
World GBC	: World Green Building Council
WWF	: World Wildlife Fund
ZEB	: Zero Energy Building
3D UNITY	: 3 Dimensional Unity

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENERJİ TÜKETİMİNİ AZALTMA YAKLAŞIMI İLE SIFIR ENERJİLİ BİNALARIN MİMARİSİNDE AKILLI EV TEKNOLOJİSİNİN ROLÜ

MUHAMMAD JABREALZADEH

**Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Şehir Ve Bölge Planlama Anabilim Dalı**

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Zeynel YETKİN

2024, 138+X Sayfa

İçinde bulunduğumuz çağın en önemli sorunlarından biri de pek çok çevre sorununun varlığı ve bunun sonucunda insan yaşamının devamını tehdit eden tehlikelerdir. İnsanoğlu geçmişten günümüze kadar tüketimci bir doğa anlayışına sahip olmuş ve bu sorun üçüncü bin yılda katlanarak büyümüştür.

Öte yandan nüfus artışı ve günümüzde büyük oranda fosil yakıtlardan sağlanan enerjiye duyulan ihtiyaç, çevreye ve hava kalitesine onarılamaz zararlar vermektedir. Yani hava ve oksijen olmadan birkaç dakikadan fazla yaşayamaz. Sonuç olarak havadaki oksijenin, karbondioksitin ise miktarı ve kalitesi oldukça önemli ve anlamlıdır.

Yukarıdakilere göre, insanlar için üç taraftan oluşan bir yaşam üçgeni hayal edilebilir: insan, enerji ve doğa. İnsan ve doğa arasındaki ilişki, insanın hayatını devam ettirebilmesi için iki yönlü bir ilişki olmalıdır ancak günümüz çağında insan bu konuya dikkat etmeden sadece doğayı kullanmaktadır. Sonuç olarak temiz ve yenilenebilir enerjilerden faydalanmanın yanı sıra doğanın doğru kullanılması için enerji üretiminin yöntem ve aşamalarında ve doğa ile ilgili konularda reformların yapılması gerekmektedir. Öte yandan mimarlık ve inşaat yaşam üçgeninde önemli bir rol oynamakta ve çevre kirliliğine ve enerji tüketimine önemli katkı sağlamaktadır.

Bu tezde öncelikle insan hayatını ve doğayı tehdit eden tehlikeler dile getirilmeye çalışılacak, daha sonra bu sorunun çözümü için bir yöntem olan binaların akıllılığı detaylı bir şekilde anlatılmaya çalışılacaktır. Akıllı binaların anlamı sadece güncel teknoloji ve olanakların kullanılması değil, aynı zamanda binaların yapımında kullanılan yöntem ve uygulamaların da akıllı olması gerektiğidir. Akıllı tasarım, teknoloji kullanımının yanı sıra, en az tesisle en iyi tasarımı ve sonuçları ortaya çıkarmak için iklim ve çevre koşullarına dikkat edilmesi gibi konuları da içerebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Akıllı bina, çevre, nötr karbon, sıfır enerji, sürdürülebilir bina, teknoloji, yeşil mimari

ABSTRACT

MS THESIS

THE ROLE OF SMART HOME TECHNOLOGY IN THE ARCHITECTURE OF ZERO ENERGY BUILDINGS WITH AN APPROACH TO REDUCING ENERGY CONSUMPTION

MUHAMMAD JABREALZADEH

**The Graduate School of Natural and Applied Science of Siirt University
The Degree of Master of Science In Urban And Regional Planning**

Supervisor : Dr. Öğr. Üyesi Zeynel YETKİN

2024, 138+X Pages

One of the most important problems of the age we live in is the existence of many environmental problems and the resulting dangers that threaten the continuation of human life. Humankind has had a consumerist understanding of nature from past to present, and this problem has grown exponentially in the third millennium.

On the other hand, population growth and the need for energy, which is largely provided by fossil fuels, cause irreparable damage to the environment and air quality. This means that it cannot survive without air and oxygen for more than a few minutes. As a result, the amount and quality of oxygen and carbon dioxide in the air are very important and meaningful.

According to the above, a life triangle can be imagined for humans, consisting of three sides: human, energy and nature. The relationship between humans and nature should be a two-way relationship in order for humans to continue their lives, but in today's age, humans only use nature without paying attention to this issue. As a result, in order to benefit from clean and renewable energies as well as to use nature correctly, reforms must be made in the methods and stages of energy production and nature-related issues. On the other hand, architecture and construction play an important role in the life triangle and contribute significantly to environmental pollution and energy consumption.

In this thesis, first of all, the dangers that threaten human life and nature will be tried to be expressed, and then the smartness of buildings, which is a method to solve this problem, will be explained in detail. The meaning of smart buildings is not only the use of current technology and facilities, but also the methods and applications used in the construction of buildings should be smart.

Keywords: Carbon neutral, environment, green architecture, smart building, sustainable building, technology, zero energy

1. GİRİŞ

Sanayi devrimi insanları doğada yaşamaktan şehirlerin merkezine taşımış, öyle ki 20. yüzyılın sonunda dünya nüfusunun yarısı kentsel alanlarda yaşıyordu. Şehirleşme yaşamı ve teknolojinin giderek gelişmesi sonucunda insanların yaşam biçimi birçok değişikliğe uğramıştır. Doğal kaynaklar, ormanlar, dağlar ve meralar değişikliklere uğramış ve insanlar tarafından alışılmadık yapılar yapılmıştır. Trafikte, inşaatlarda, soğutma ve ısıtmada enerji ve yakıt tüketimi arttı, bunun sonucunda da hava kirliliği ve gürültü kirliliği arttı. Sanayinin gelişmesi sonucunda doğal kaynakların aşırı hasat edilmesi ihtiyacı, doğal çevrenin giderek yok olmasına neden olmuştur (Abbasi ve Asmari, 2011).

Öte yandan giderek artan nüfus, fosil yakıtların ve enerji kaynaklarının tüketiminin artmasına bağlı olarak atmosfere sera gazı emisyonunun da artmasına neden oluyor. Artan sera gazlarının etkileri, sera olgusunun ortaya çıkmasıyla birlikte iklim değişikliklerine de neden olmaktadır (Abbasi ve Asmari, 2011).

Dünya çapında enerji tüketiminin hızla artması, sera gazı emisyonu (GHG) ve bunun sonucunda küresel ısınma konusunda endişelere yol açmıştır. Küresel enerji tüketimi 2018'de %3,2 arttı; bu, 2010'dan bu yana görülen ortalama büyüme oranının neredeyse iki katıydı (Kim ve ark., 2022).

Nüfusun artması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının azalması nedeniyle insanın yeni kaynaklara ve enerji temini yöntemlerine olan ihtiyacı artmaktadır. Ayrıca yenilenemeyen enerji kaynaklarının olağanüstü bir hızla tüketildiği dikkate alındığında, mevcut neslin en önemli öncelik olarak daha fazla yaşam ve güce sahip, bir yandan da çevreyi daha az kirleten yeni kaynaklar elde etmek için araştırma ve inceleme yapması gerekmektedir (Sheikh ve ark., 2011). Günümüzde iklim değişikliğinin ve sonuçlarının gezegen için bir tehdit olduğu, doğal ve yapay çevreyi etkilediği bilinmektedir. Bu durum sera gazlarının üretimine ve küresel ısınma ve iklim değişikliğine bağlı olarak sera etkisinin artmasına neden olmaktadır. 2005 yılında sona eren yüz yıllık dönemde küresel ortalama sıcaklık 0,74 santigrat derece arttı. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Derneği'nin çerçevesine göre küresel sıcaklıktaki artış, insan faaliyetlerinin doğrudan ve dolaylı bir sonucudur (Abbasi ve Asmari, 2011).

Uluslararası İklim Değişikliği Konferansı (IPCC), 2013 yılında simülasyonlara dayalı olarak yaptığı bir araştırmada, dünya yüzeyindeki küresel sıcaklık değişiminin 21. yüzyılın sonuna kadar 1850 yılına göre 1,5 derece artacağını duyurdu. 2 santigrat derece sınırı, küresel ısınmada tehlike sınırı olarak kabul ediliyor (Jam ve ark., 2017).

İnşaat sektörünün inşaat yöntem ve malzemesi olarak doğal kaynakların önemli bir kısmını kullanması, kaynakların tükenmesine ve ekolojik dengenin bozulmasına neden olmaktadır. İnşaat sektöründe iklim ve sürdürülebilirlik sorunlarının temel nedeni olan su tüketiminin yaklaşık %12'sinden, atıkların %65'inden, elektrik tüketiminin %71'inden ve CO2 emisyonlarının %40'undan bina ve yerleşimler sorumludur (Erten, 2010).

Bu durum kontrol edilmeden devam ederse, 2050 yılına kadar dünya nüfusunun 10 milyara ulaşmasıyla bu durumun ikiye katlanması muhtemeldir. Bu durum birçok ülkeyi yeni binaların enerji verimliliğini sağlamaya yönelik kanunlar çıkarmaya sevk etti. Örneğin Fransa'da yeni çevre yönetmeliği (RE2020) Ocak 2022'de yürürlüğe girdi ve yeni binaların tükettiğinden daha fazla enerji üretmesini gerektiriyor. Ancak verimli bina eksikliği sorunu var. Yalnızca Avrupa'da konut binalarının %77'si 1990'dan önce inşa edilmiştir ve tüm binaların %75'i enerji verimsizdir. Bu nedenle yeni ve mevcut binalarda enerji tüketiminin ve verimliliğinin artırılması gerekmektedir (Doukari ve ark., 2022).

1.1. Araştırmanın Problemi

Günümüz dünyamız sanayi devrimi ve teknolojinin ilerlemesi sonrasında ortaya çıkan yeni sorunlarla uğraşmaktadır. Sonuçta insanların hayatlarını ve sağlıklarını tehlikeye sokan, insan yaşamının gerekli kaliteden yoksun kalmasına ve sözde hayatta kalma çabasının yaşamın yerini almasına neden olan sorunlar. Doğa ve çevre, enerji ve insan, insan yaşam kalitesini etkileyen üç temel ve etkili faktördür ve bu üç önemli ve yaşamsal faktörü incelediğimizde her alanda var olan eksiklikleri ve sorunları net bir şekilde görürüz. Sanayi devrimi ve nüfus artışı, insanoğlunu enerji sağlamak için doğal kaynakları ve fosil yakıtları kullanmaya, havayı aşırı kirletmeye zorlayan olay ve faktörler arasındadır ve bu önlemler de sera gazı ve karbondioksit salınımını artırıp ve insan yaşamı için ihtiyaç duyulan oksijeni azalttı ve mevcut havanın kalitesi çok düştü.

Son yıllarda COVID-19 salgını enerji tüketimini artırdı ve hayatımızı derinden değiştirdi. Dünya çapında toplumu ve yaşam tarzını ciddi şekilde etkileyen kısıtlayıcı politikalar da dahil olmak üzere palyatif önlemler alındı. Pandemi sırasında çoğu ülke, günlük yaşamı en temel faaliyetlerle sınırlayan ve insanların konutlarından çıkmasını engelleyen "tecritler" uygulayarak tepki gösterdi. Bu hareket toplumun normal işleyişini etkilemenin yanı sıra başka bir soruna da neden oldu; o da konutlarda enerji tüketiminin artmasıydı. Yeni virüsler hava yoluyla hızla yayılabileceği için iç mekan hava kalitesinin iyileştirilmesi ve iç mekan havalandırma sistemlerinin kalitesine dikkat edilmesi oldukça önemlidir. Ayrıca Rusya'nın 2022 başında Ukrayna'yı işgal etmesinden bu yana enerji güvenliği konusu Avrupa Birliği'ni ve birçok ülkeyi ilgilendiriyor. Hızla artan enerji fiyatları ve enflasyonun yanı sıra, hiç kimse bu krizin ortaya çıkardığı ekonomik ve sosyal değişimlerden muaf değil. Sonuç olarak, AB tartışması, bazen iklim eylemlerini azaltma veya yavaşlatma pahasına bile olsa, güvenli ve uygun fiyatlı enerji tedariğine doğru kaydı. Yenilenebilir enerji arzındaki artışın talepte azalmaya yol açtığı bir ortamda, Avrupa Birliği'nin fosil yakıt kullanımını azaltması ve enerji arzını çeşitlendirmesi gerekiyor.

Sonuç olarak, tüm alan ve sektörlerde tüm insan faaliyetlerinin reforme edilmesi gerekmektedir ve mimarlık ve inşaat alanı da bu konunun dışında değildir. Mimarlık ve inşaat alanında da enerji tüketimine, sera gazı ve karbondioksit emisyonuna önemli katkı sağlaması nedeniyle reformların da yapılması gerekmektedir. Sıfır enerji ve karbon nötr yaklaşımına sahip akıllı binalar fikri, bu alanda var olan iyi ve erişilebilir hedeflere sahip, doğru ve ilkel uygulama ile karbonsuz akıllı şehirlere yol açacak harika bir fikirdir.

Yukarıdakilere göre, bahsedilen sorunlara ilişkin olarak üç ana soru ortaya çıkmaktadır ve bu tezimizde bu soru ve sorunlara yanıt arayacağız. Bu sorular şunlardır:

1. Enerji tüketiminde, sera gazı ve karbondioksit emisyonunda inşaat ve mimarinin payı nedir?
2. Sıfır enerji ve karbon nötr yaklaşımına sahip akıllı binaların hedefleri nelerdir ve mevcut uygulamanın azaltılmasında, insanların yaşam kalitesinin ve sağlığının artırılmasında ne gibi bir etki yaratacaktır?
3. Akıllı bina sistemi sıfır enerji ve karbon nötr yaklaşımıyla nasıl çalışmaktadır ve uygulanan örnekler bu alanda başarılı olmuş mudur?

1.2. Araştırma Amacı

Bu tezin amacı sıralanan sorun ve sorulara uygun bir çözüm sunmaktır ve belirtildiği gibi mimarlık ve inşaat alanında temel ve etkili çözümlerden biri sıfır enerji ve karbon nötr yaklaşımıyla akıllı binalardır. Binalarımız bizim en büyük altyapı yatırımımızdır. Bu altyapının, binanın yapısı değiştirilerek, yeni ve eski binaların geleceğe yönelik verimliliği ve akıllılığı sağlanarak inşa edilmesi gerekiyor. Teknolojiler zaten mevcuttur ve mevcut projeler, günümüz binalarının mikro enerji merkezleri olarak rol oynayabileceğini kanıtlamaktadır. Bu tezimizde akıllı binaların enerji tasarrufu ve sera gazı emisyonlarının azaltılması üzerindeki etkisini inceliyoruz. Akıllı binalar, enerji üretim yönteminin (temiz enerji) modifikasyonu yoluyla enerji tüketiminde gerekli tasarrufu sağlayabilen, aynı zamanda sera gazı emisyonlarını azaltarak iç hava kalitesinin yanı sıra ortam havasını da iyileştirebilen mükemmel ve temel bir yaklaşımdır. Uygun destekle binalar, iklim etkilerinde belirlenen program ve hedefler aracılığıyla enerji sistemini değiştirmede ana rolü oynayabilir ve üç büyük CO₂ kirleticisinin (binalar, ulaşım ve elektrik sektörleri) hızını azaltabilir.

Öte yandan bir başka önemli ve temel hedef daha ortaya çıkacak, o da akıllı binalarla sağlanacak olan sakinlerin konforu. Uygulama sayesinde konut sakinleri, evdeki tüm işlemleri (soğutma - ısıtma - havalandırma sistemi - aydınlatma sistemi - yangın alarm sistemi - hırsızlık önleme sistemi) uzaktan veya evdeyken kontrol edebiliyor.

Yukarıda belirtilen eylemlerin sonucunda doğaya saygılı, erişilebilir temiz enerjiye sahip, yaşayanlar için daha fazla konfor ve rahatlığın olduğu, insan sağlığını ve yaşamını tehlikeye atmayan temiz bir dünyaya ulaşabiliriz ve hem insan yaşam kalitesini artırır hem de insan yaşam üçgenine (insan, doğa, enerji) saygı duyar.

1.3. Araştırmanın Önemi

İnsan hayatı ve sağlığı var olabilecek en önemli konudur ve insan hayatını tehlikeye sokan her türlü faktör, tüm bireylerin ve hükümetlerin çözmeye çalışması gereken temel ve evrensel bir sorundur.

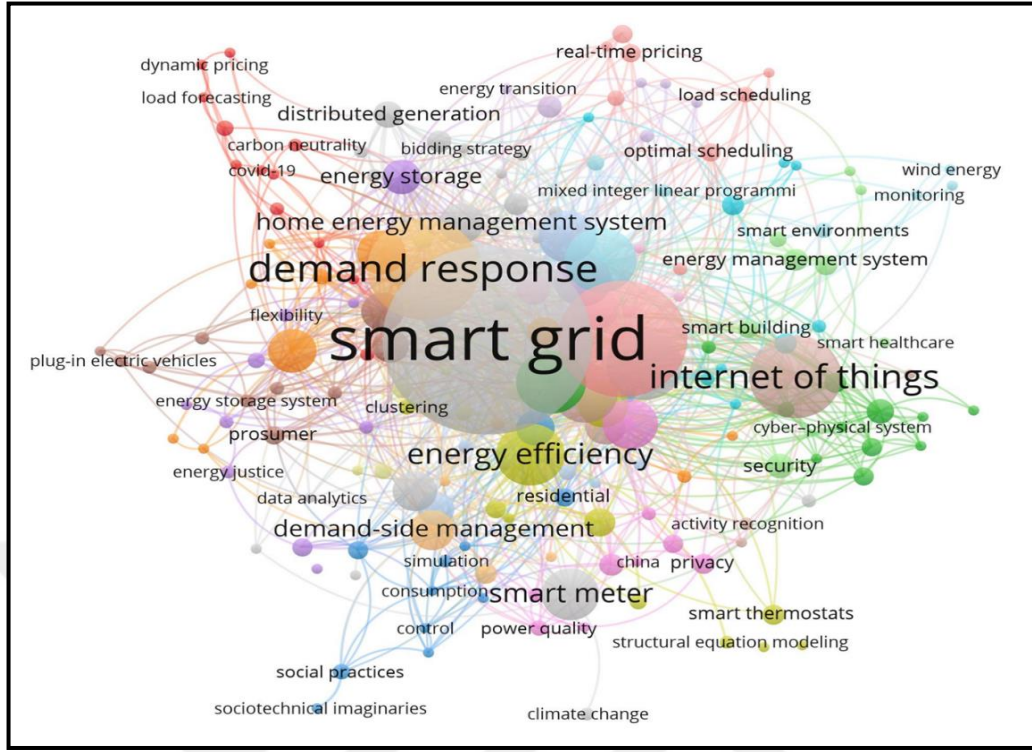
Öte yandan, 21. yüzyılda insanlığın en büyük zorluklarından biri, farklı sektörlerdeki etkileriyle insan yaşamının farklı yönlerinde ciddi tehditler yaratan iklim

değişikliğidir. Küresel sıcaklık değişimleri ve dünya genelinde hava koşulları nedeniyle artması, iklim değişikliği olarak bilinmektedir. İnsan yaşamı, doğa ve çevre yaşamının gölgesindedir ve herkes çevre yaşamının öneminin bilincindedir ve insanların kendi rahatlıkları ve refahları için çevreyi yok etmeleri akıllıca değildir. İklim ve hava kalitesinin insanların sağlığı ve yaşamları üzerindeki doğrudan etkisinin yanı sıra ruhları üzerinde de büyük etkisi vardır. Bu nedenle çevrenin genel kalitesini ve bunun sonucunda da insan yaşam kalitesini düşüren yıkıcı eylemler düzeltilmeli, temiz ve yenilenebilir enerji üretimi süreci hızlandırılmalıdır. Bir sonraki adımda insanoğlu her zaman daha fazla konfor ve rahatlık aramıştır ve mağara evlerden modern yapılara kadar bu konuyu net bir şekilde görebiliyoruz. Bu nedenle akıllı binalar, insan hayatına ve çevreye verilen önem doğrultusunda, daha fazla insan refahı ve konforu sağlayacak mükemmel ve pratik bir fikirdir.

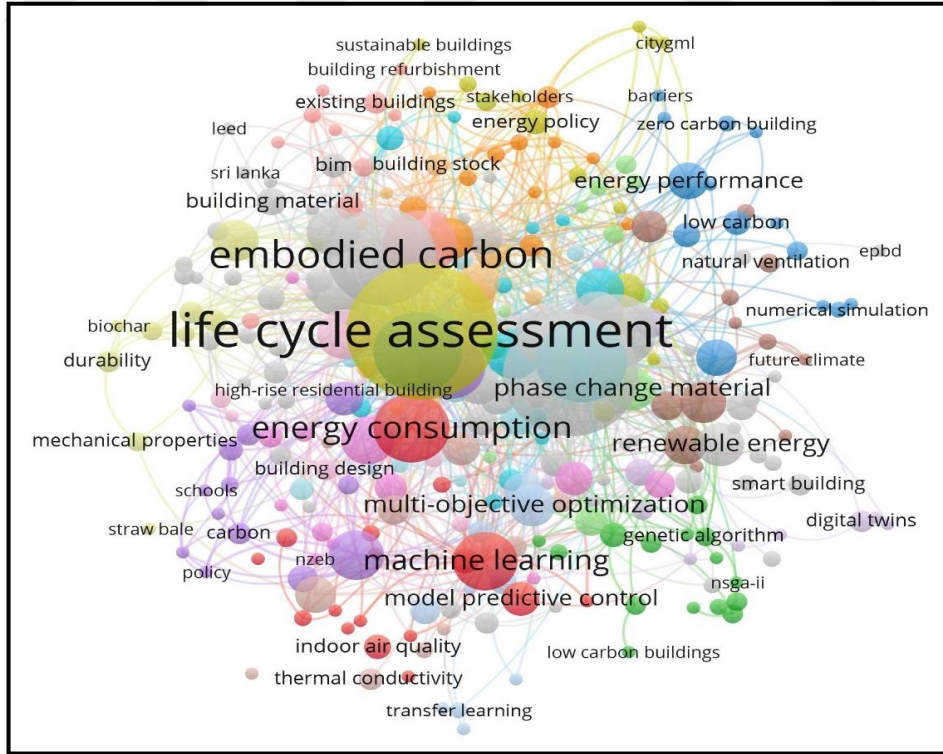
1.4. Materyal ve Metot

Bu tezde ilgili makaleler incelenmiş ve ilgili anahtar kelimelere göre arama yapılmıştır. Aranan tüm makaleler, MDPI ve Elsevier veritabanlarına dayanan saygın bilimsel dergilerde, örneğin ScienceDirect ve Open Access dergilerinde, Scopus, Google Scholar, Web of science'da, özellikle 2000'den bu yana akıllı bina, sıfır enerji ve nötr karbon gibi odaklanmış konulara yayınlanmıştır. Anahtar kelimeyle ilgili literatür araştırmaları, yayın veritabanları kullanılarak yinelenen bir süreç aracılığıyla makale türleri ve kapsamı belirlenerek gerçekleştirilir. Aşağıdaki şekiller ve haritalar bu çalışma için sistematik inceleme sürecinin iş akışını göstermektedir. Python kelime bulutu istatistik kütüphanesini kullanan kelime bulutu istatistiksel analizi, öncelikle anahtar kelimelere dayalı inceleme türü makaleleri incelemek için gerçekleştirilir ve ardından akıllı binaların tasarımı ve uygulanması ve teknolojileri ile ilgili önemli araştırma alanları gözden geçirilir. İnceleme türü makalelerden alıntı yapılan makaleler aynı zamanda araştırma türü makaleler için de incelenir. Araştırılan araştırma türündeki makalelerin gözden geçirilmesi, büyük araştırmanın hedeflerini, odak noktalarını, sınırlamalarını ve geleceğe yönelik değerlendirmeleri incelemek için yapılır.

Bahsi geçen makaleler, anahtar kelimelere ve ardından akıllı binalarla ilgili önemli araştırma alanlarına göre analiz edilmektedir. Aşağıdaki şekil aynı zamanda araştırma makalesi anahtar kelimeleriyle ilgili olarak tam anahtar kelimeleri ve bunların



Şekil 1.2. Akıllı bina ile ilgili makalelerin haritası



Şekil 1.3. Sıfır karbon ile ilgili makalelerin haritası

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Kamuoyunun ilgisi ve farkındalığı da çok önemli. Dünyanın ısınmasıyla birlikte çevre ve iklim sorunları giderek insanların ilgi odağı haline geliyor. Toplumun çevreye duyarlılığı artıyor. Ancak akıllı binalar ve düşük karbonlu toplumlar (sıfıra yakın binalar) kavramı yaygın olarak popüler değil ve insanların anlayışı hala yetersiz (Li ve ark., 2023).

Günümüz dünyasında insanlar bu teknolojiyi kullanarak pek çok hedefe ulaşmaktadır ve bunların en önemlisi enerji tüketimini azaltmak ve çevre kirliliğini azaltmaktır. Günümüzün gelişmiş dünyasında inşaat sektörü büyük ve uzun vadeli bir yatırımdır ve bu sektörün modern teknoloji yardımıyla demode olmaktan korunması gerekmektedir. Bir binanın maliyeti sadece tasarım ve inşaat maliyeti değil, aynı zamanda bakım ve kullanım maliyetidir. Binaların çoğu enerji yönetimi için gerekli imkanlardan yoksundur ve çevresel değişimlere ve yeni ihtiyaçlara cevap veremez. Günümüzde daha fazla konfor ve güvenlik yaratmak, maliyetlerden tasarruf etmek ve binadaki enerji kaynaklarının tüketimini azaltmak amacıyla akıllı evler inşa etmek için yeni teknolojiler kullanılıyor. İnsan, hayatta kalması ve rahatı için daima güvenli bir ortam arar ve bu amacına ulaşmak için her fırsatı kullanır. İnsanoğlu teknolojiyi başka bir şekilde yeniden tanımlaması gerektiğinin farkına vardı, aksi takdirde kendisi ve gelecek nesiller onun kurbanı olacak.

2.1. Teknoloji

Sözlükteki teknoloji pratik hedeflere ulaşmak için teknik bir araçtır. Yeni teknoloji tanımları, teknolojinin alet ve makinelerle sınırlandırılmaması ve eşitlenmemesi gerektiğini göstermektedir. Günümüzde teknoloji ile ilgili üç tanım bulunmaktadır; donanım olarak teknoloji; yazılım olarak teknoloji; ve bir kurum olarak teknoloji. Elbette teknolojinin en objektif tanımı, alet ve makinelerle birlikte donanım açısından tanımlanmasıdır. Bu sistemde enerji santralleri, bilgisayarlar ve fabrikalara teknoloji adı verilmektedir. Bu teknoloji tanımı teknolojinin en objektif, açık ve somut tanımıdır (Franssen ve ark., 2009). Teknoloji kavramı farklı yönlerden ve farklı yaklaşımlarla ele alınabilir. Çeşitli bilimsel, felsefi, sosyal, kültürel ve hatta etik ve

politik yönleriyle dikkat çeken teknoloji, her geçen gün daha da renkli ve yaygın hale geliyor. Günümüzde teknolojiye felsefi yaklaşımlar büyük önem kazanmıştır.

“Teknoloji felsefesini” öneren ya da bir şekilde bu düşüncenin temelini oluşturan ilk filozoflar ise, alanları “Francis Bacon”, “Galileo” ve Rönesans döneminin diğer düşünürleri tarafından oluşturulan modern filozoflardır. Sanayi devrimi belirli bir yüzyıla yol açan bir devrim olmayıp, bu devrim, içinde bulunduğumuz yüzyıllardaki modern devrimlerin temeli haline gelmiş olup, bunların arasında dünyanın modern bilim ve teknolojisi "bilgi teknolojisi devrimi" olarak anabiliriz. "Genetik Devrim", "Plazma Teknolojisi", "Yapay Zekanın Elektronik Devrimi" ve "Sanal Çağ" gibi, hepsi ilk sanayi devrimini yaratan fikrin sonucudur. Bu devrimler hiç şüphesiz yakın zamanda dünyanın altını üstüne getirecek. Hatta "Kevin Kelly", "Manuel Castells" ve diğer çağdaş teknoloji uzmanlarının inandığı gibi insan ilişkilerinin biçiminin de değişeceği söylenebilir. Teknolojinin Yunanca kökleri vardır ve Techne ve Logic olmak üzere iki kelimeden oluşur. "Techne" sanat, beceri ve insan eliyle yaratılan şey anlamına gelir ve Arche'den farklı olarak Tanrı'nın yaratması anlamına gelir. " Logic ", eski Yunanca'da bilgi ve bilgelik anlamında kullanılmaktadır (Morre, 2007).

"Teknik" kelimesi aslen Fransızca olup teknik, sanayi, bilim, sanat ve meslek anlamına gelir; Aynı zamanda teknoloji, bilim, teknoloji ve endüstri olarak da adlandırılır. Aynı zamanda teknoloji kavramının kapsamı konusunda da farklı görüşler bulunmaktadır; Bilimi teknolojiye yerleştiren tanımlar arasında "bilimsel bilgi ve diğer bilgilerin, insanları, kuruluşları, canlıları ve makineleri içeren organize sistemler aracılığıyla pratik amaçlarla uygulanması" yer almaktadır. Ancak teknolojinin ilerlemesinin sonuçlarından biri de dünyanın farklı yerlerindeki mimarinin aynılığıdır. Bundan önce binaların şekli, mahallelerin dokusu ve şehrin yapısı, burada yaşayanların kültürel özelliklerinin ve yerel zevklerinin göstergesiydi. Çünkü teknoloji sistemi kültürel ve yerel özelliklere duyarlı olmayacak şekilde tanımlanıyor (Borden ve ark., 1995). Bu şekilde teknolojinin sanat ve becerinin karışımı anlamına geldiği söylenebilir. Denebilir ki, bilge bir insan, doğayla etkileşim halindeyken, onun genel kanunlarına ulaşır ve bu kanunları bilim ve bilgi yoluyla, istenilen ortam ve koşullarda yeniden yaratarak, istediği uygulamaları yaratır.

1877 yılında yazdığı "Teknoloji Felsefesi" kitabında "Ernest Kapp" muhtemelen insan vücudunun eksiklikleri ile yaratıcı ve yenilikçi zekası arasındaki bağlantıyı fark

eden ilk kişiydi. Biraz sonra dil felsefecisi "Ludwig Noire" 1880'de "Araçlar" kitabında şöyle yazmıştı: "Sonra insan doğadan kurtuldu çünkü kendi kendisinin yaratıcısı oldu, kendi üyelerini yarattı, alet yapımcısı oldu, alet yapan hayvan" (Franssen ve ark., 2009). Öte yandan "Paul Alsberg" in 1922 yılında "The Enigma of Man", "José Ortega Gast" ın ise 1951 yılında "Man, the Being of Nowhere" kitabında yer alan görüşlerinden hareketle şunu söylemek gerekir ki; Teknolojinin insan organlarındaki eksikliklerden kaynaklandığı, insanın uygun organ ve içgüdülerin bulunmaması nedeniyle, kusurlu bir doğal ortamda varlığını sürdüremediği ve bunun sonucunda akıllı yorumlama yoluyla doğal olarak hayatta kalmaları için çevre koşulları insan vücudunda nasıl değişiklikler yapması gerektiği anlatılmıştır (Franssen ve ark., 2009). Martin Heidegger, "Teknoloji Sorunu" başlıklı makalesinde teknolojiyi araçsal kavramının ötesinde görüyor ve yeni teknolojinin çağımızın kaderi olduğuna inanıyor. Teknoloji alanında yapılan çalışmaların arka planı da teknolojinin çağdaş toplumun ayrılmaz bir parçası olan sosyal bir sistem olduğunu göstermektedir. Teknoloji üç niteliği içeren bir konudur: insan bilgisi, insan faaliyet kalıpları ve bir dizi fiziksel konu. Bu tanım, teknolojinin sosyal yapıların bir süreci olarak test edilmesinde faydalıdır (Morre, 2007).

Bugün tüm dünyada kabul edilen ve anlaşılan teknolojinin tanımı, onun araçsal yönüdür. Teknoloji bir araç olarak kültür çeşitliliğini göz ardı ediyor ve yaşam koşullarını, davranış ilkelerini buna uyarlamak zorunda olan da bu insanlar oluyor ve bu koşullarla birlikte farklılıklar da kaçınılmaz olarak yok oluyor. Mimarlık, kültürel arka planla ilişkili olarak teknolojiyi, teknolojinin sosyal ve kültürel sürecinde ve tezahürlerinde önemli rol oynayan sosyal bir yapı olarak görür. Tarih boyunca teknoloji hem araçlar düzeyinde hem de toplumsal yapı düzeyinde bir yerden başka bir yere aktarılmıştır. Bu transfere teknolojinin doğasının ithalat platformunun kültürel özelliklerine uyarlanması eşlik etti. Farklı toplumların sosyal ve kültürel değişim sürecinde teknoloji, dilsiz aracı özelliğine güvenerek değişim, dönüşüm ve güncellenmeyi en iyi şekilde göstermektedir. Mimarlıkta yeni formların yaratılması, esas olarak malzeme kullanma tekniklerinin ilerlemesinden kaynaklanmaktadır. Günümüzde çoğu mimari projede teknolojinin ana faktörlerden biri olarak kullanılması tartışılmaktadır (Morre, 2007). Teknoloji ve mimarinin dört ana bölümden oluştuğu düşünülebilir:

- Form: işin geometrisini ve şeklini ifade eder.

- Performans: mimari mekandaki kullanımları ve kullanımları içerir.
- Teknoloji: inşaat sürecini, inşaat yöntemleri ve malzemeleri, teknikleri ve inşaat sistemleri hakkında düşünmeyi içerir.

- Kültür ve içerik: Fiziksel olmayan içerik, eserin parçalarında ve bütününde ortaya çıkan, toplumun ve mimarın kültüründen, tarihinden, inançlarından ve felsefi temellerinden kaynaklanan kavram ve anlamları içerir (Shahroudi ve ark., 2007).

Dolayısıyla herhangi bir mimari eserin ana yapı unsurlarından biri “teknoloji”dir. Geçmiş ve şimdiki mimari, geleneksel teknoloji ve modern teknoloji olmak üzere iki tür teknolojiden yararlanmış, geleneksel teknolojiler nadiren geliştirilmiş, ancak modern teknolojiler her zaman modern olmuştur. Geleneksel teknolojilerdeki yöntemler açıklanabilir ancak pek çok ihtiyaç için kullanılan ilkeler gibi formüle edilmemiştir. Ancak modern teknolojilerin temel teorileri onların ihtiyaçlarına bağlıdır. Ancak bahsedilen farklılıkların yanı sıra mimaride geleneksel ve modern teknolojilerin uygulanma ve bunlara müdahale edilme biçimi de değişmiş, modern teknoloji binaların gövde ve enerji tüketimindeki değişikliklerin ve mimari maliyetlerin optimizasyonunun temeli haline gelmiştir (Shahroudi ve ark., 2007).

Günümüzde amaç, minimum enerji tüketimi ve minimum çevre kirleticisi madde ile en üst düzeyde kullanıcı konforunu sağlayabilecek binalar tasarlamaktır. Binaların kendisinin ve binadaki mevcut sistemlerdeki tüm değişikliklerin, çevredeki mikro ve makro çevre koşullarına göre tasarlandığı ve mimarinin pasif unsurları da dikkate alınarak, iç ve dış çevrenin sürekli farkında olduğu gerçek akıllı binalar şartlara ve çevre şartlarına uyum sağlar (Bayraktar ve ark., 2007).

Akıllı evler kullanıcıya yaşadığı mekanı yorumlayabilme olanağı sağlar. Uzaktan kumanda ile desteklenen anahtar sistemleri sayesinde kullanıcının evi kendi isteğine göre yönetmesine, planlama yapmasına, senaryo üretmesine ve önlem almasına olanak sağlar. Günümüzde tüm akıllı sistemler kişisel bilgisayar, cep telefonu, tablet ve saatler üzerindeki uygulamalarla kontrol edilebilmektedir. Enerjinin optimum kullanımı, zararlı atıkların kontrol altına alınması ve yenilenebilir kaynaklardan enerji alınması gibi özellikleriyle kolaylıkla kontrol edilip yönetilebilen akıllı evler, binaya sürdürülebilir performans sağlıyor (SUR, 2020). Akıllı bir bina yüksek enerji verimliliğine sahiptir ve çok düşük enerji ihtiyaçlarını büyük ölçüde yerinde veya bölgesel sistem bazlı yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılar (De Groote ve ark., 2017).

2.2. Enerji

Enerji, doğru ve akılcı kullanıldığında herhangi bir ülkede teknolojinin ilerlemesine ve o toplumdaki insanların refahına yol açabilecek, aksi takdirde telafisi mümkün olmayan kayıplara ve ekonomik durgunluğa neden olabilecek pahalı bir metadır ve son olarak GSYH başına enerji tüketim miktarı da her geçen gün artacaktır (Jam ve ark., 2017). Binalar en büyük enerji kaybı kaynaklarından biridir. Bu enerji israfı dünya enerjisinin yaklaşık %40'ının inşaat sektöründe konut sektörü tarafından tüketilmesi noktasına kadar gitmektedir. Bu nedenle bu sektörde özellikle tasarım aşamasında enerji tüketiminin optimize edilmesi gerekmektedir (De Groote ve ark., 2017).

Günümüzde genel olarak enerji krizi olarak bilinen fosil yakıtların bulunmaması ve tüketiminden kaynaklanan çevre kirliliği, insan toplumlarının en büyük sorunlarından biridir. Aynı zamanda teknolojinin artan ilerlemesi ile birlikte güneş ve rüzgar radyasyon enerjisinin kullanımı kolay ulaşılabilir olması ve miktarının sınırsız olması nedeniyle mevcut en iyi enerji olarak insanoğlunun kullanımına sunulmuştur ve ayrıca bu enerjilerin kullanımı çevrede herhangi bir kirliliğe neden olmaz ve bu nedenle yeni enerji ve gelecek nesiller için değerli bir miras olan temiz enerji veya yeşil enerji olarak adlandırılmaktadır. Buna dayanarak sürdürülebilir mimari ve yeni enerji küresel önem taşıyor (Khazerloo ve ark., 2015). Şimdiye kadar, salınma ve etkilenme biçimlerine göre kinetik enerji, potansiyel enerji, termal enerji, elektromanyetik enerji, kimyasal enerji ve nükleer enerji dahil olmak üzere farklı kategorilere ayrılan farklı enerji türleri biliniyordu. Fizikte enerji iki kısma ayrılır:

- Ekserji: ekserji enerjisinin faydalı kısmı
- Alerji: Enerjinin işe yaramayan kısmı (enerji bu durumlarda bize faydası olmayan bir enerji türüne dönüşür)

Farklı bir kaynağa sahip olan nükleer enerji dışında, insanların kullandığı her türlü enerjinin (fosil enerjisi, su enerjisi vb.) etkeni, taşıyıcısı ve kaynağı güneştir (Li ve ark., 2023).

Akıllı ağlar çağına girilmesi ve gelişmiş iletişim ve bilgi altyapısı, iki yönlü iletişim, gelişmiş ölçüm altyapısı, enerji depolama sistemleri ve yerel ağlar gibi konuların ortaya çıkmasıyla birlikte elektrik tüketimi ve enerji tasarrufu kalıpları değişti. Enerji şebekelerinin otomatik kontrol teknolojilerinin ortaya çıkması ve

yenilenebilir enerjinin bu şebekeler üzerinden yaygınlaşmasıyla birlikte, enerji yönetim modelinde merkezi bir altyapıdan, bağımsız enerji talebine cevap vermeye dayalı bir sisteme doğru derin bir dönüşüm yaşanmaktadır (De Groote ve ark., 2017).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının ve teknolojilerinin kullanılması sürdürülebilir kalkınmanın temel ilkelerinden biridir. Bu kaynaklar diğer enerji kaynaklarına göre çok daha az çevresel etkiye sahiptir. Uygulamada seçilebilecek pek çok şey vardır ve yenilenebilir enerjinin, özellikle de güneş enerjisinin kullanımı, mevcut enerji sistemlerinin büyük ölçüde yerini alabilecek çok daha temiz bir enerji sistemi sağlar. Güneş ve jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji kaynakları sınırsız ve tükenmez, bilinçli ve doğru kullanıldığında istikrarlı ve zararsız enerji kaynakları olacaktır. Bunun yerine fosil yakıtların ve uranyumun kaynakları sınırlıdır ve çıkarılıp tüketilmesiyle sona ermektedir. Sürdürülebilir ve çevre dostu enerji programlarına ulaşmak için yenilenebilir enerji kaynaklarının her aşamada teşvik edilmesi, kısa ve uzun vadeli düzenlemelere temel oluşturacaktır. Çevresel sürdürülebilirlik, doğal kaynakların korunması anlamına gelir; bu da biz insanların yenilenebilir malzemelerin tüketiminde, su ve enerji kaynaklarının tüketiminde sınırlara uymamızı ve doğal sistemlerin sağlayabileceğinden fazlasını tüketmememizi gerektirir. Tek kullanımlık kaynak tüketimimizin oranının, sürdürülebilir yenilenebilir kaynakların telafi edemeyeceği orandan fazla olmaması gerektiğini unutmayalım. Bu duruma en iyi örnek, tükendikten sonra yenilenemeyen petrol ve fosil yakıtlardır. Yenilenebilir enerjinin yönetimi, çevre kirliliğini kontrol altına almanın yanı sıra çok fazla enerjinin üretilmesine de yol açmaktadır; bu enerji şu anda Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa ülkelerinde bile enerji santrali düzeyinde enerji üretmek için biyokütle kaynakları kullanılmaktadır (Shahrudi ve ark., 2007).

İnsanoğlu geçmişte güneş ve rüzgar enerjisinden faydalanmış olsa da 1970'li yıllarda yaşanan petrol şoku petrol fiyatlarının artmasına neden olmuştur ve bu da fosil kaynaklara olan bağımlılığı azaltmak için farklı enerji türlerinden faydalanma fikrinin yeşermesine ve çeşitlenirken alternatiflerinin bulunmasına neden oldu. Ayrıca yeni enerji teknolojilerinin gelişmesi ve yaygınlaşması fiyatları düşürmüş ve talebi artırmıştır. Rüzgar, su ve güneşten elde edilen enerji; Tamamen temiz, çevreyi kirlilemeyen enerjilerdir. Sırada biyoyakıtlar, sıkıştırılmış doğalgaz ve nükleer enerji yer alıyor ve her birinin kendi yan etkileri var. Şu anda kullanım açısından en fazla enerji

rüzgârdan, ardından güneş enerjisinden elde edilmektedir. Rüzgar, güneşin enerjisiyle sürekli yenilendiği ve bazı yerlerde günün her saatinde mevcut olduğu için atık madde içermeyen ve hiçbir zaman tükenmeyecek olan, temiz, sürdürülebilir ve kullanışlı bir yakıt kaynağıdır (Khazerloo ve ark., 2015).

2.2.1. Yeni enerji türleri ve işlevi

Orijinal olarak güneş ışınlarının gücünden kaynaklanan yeni kaynaklar, insanlığın kullandığı en eski ve aynı zamanda en modern enerji türü olarak değerlendirilmektedir. Güneş enerjisi, doğrudan güneş ışığı biçiminde veya biyo-enerji veya su veya rüzgar enerjisi gibi dolaylı olarak daha önceki insan toplumlarının oluştuğu enerji kaynağıdır (Boyle, 2007).

Yenilenebilir enerji, işletimi sırasında CO₂ emisyonu üretmediğinden sıfır karbon enerjisi olarak da adlandırılmaktadır. Düşük karbonlu bir topluma ulaşmak için yenilenebilir enerji kullanımı çok önemlidir. Ancak yenilenebilir enerjiler kesintili, rastgele ve değişkendir ve bu durum sistem istikrarsızlığına neden olabilir. Bu nedenle yenilenebilir enerji sisteminin sürdürülebilirliğini arttırmak için enerji depolama teknolojisine veya yardımcı bir enerji sistemine ihtiyaç duyulmaktadır (Li ve ark., 2023).

Yeni enerji üretim tesislerinin geliştirilmesi ve yenilenebilir enerji kullanımının yaygınlaşması bile yeni iş fırsatlarının yaratılmasında önemli rol oynuyor; öyle ki, kurulan her megavatlık güç sistemi için 15 yeni enerji iş fırsatı yaratılıyor (De Groote ve ark., 2017).

2.2.1.1. Güneş enerjisi

Güneş sadece büyük bir enerji kaynağı değil, aynı zamanda yaşamın başlangıcı ve diğer tüm enerjilerin kaynağıdır. Bilimsel tahminlere göre bu ateşli topun doğuşundan bu yana yaklaşık 1110 milyon yıl geçmiş ve her saniye güneş kütlesinin 24 milyon tonu enerjiye dönüşüyor. Güneş'in, dünyanın ağırlığının yaklaşık 333 bin katı olan ağırlığı dikkate alındığında, bu aydınlık kürenin önümüzdeki beş milyar yıl için çok büyük bir enerji kaynağı olduğu düşünülebilir (De Groote ve ark., 2017).

Fotovoltaik güneş enerjisi teknolojisi, güneş ışığından doğrudan elektrik üretimidir. Fotovoltaik modüller gürültüsüz ve bileşenlerin hareketi olmadan çalışır ve

çok az bakım ve kirliliğe sahiptir. Güneş enerjisinden güneş panelleri, güneş enerjili su ısıtıcıları vb. gibi farklı şekillerde yararlanılabilir. Ancak bu yöntemin avantajları ve dezavantajları vardır. Avantajlara örnekler şunları içerir:

- Güneş enerjisi yenilenebilir ve sınırsızdır
- Güneş enerjisi sistemleriyle elektrik üretimi, çevreye herhangi bir kirletici emisyonu neden olmaz
- Güneş pili evsel, ticari ve endüstriyel kullanıma sahiptir ve çatılara monte edilebilir ki binanın kullanışlı alanı işgal edilmez ve çatının daha az kullanılan alanı kullanılır

Ancak dezavantajları arasında şunlar yer almaktadır:

- Güneş enerjisi sistemlerinin kurulumunun ilk maliyeti yüksektir
- Yüksek elektrik tüketimi için güneş pilinin kurulacağı geniş alana ihtiyaç vardır (Boyle, 2007).

Günümüz çağında güneş enerjisi farklı sistemler tarafından farklı amaçlar için kullanılmaktadır; bunlar arasında:

- Güneş termal enerjisinin evsel, endüstriyel ve enerji santrali amaçları için kullanılması: Binalarda suyun ısıtılması, güneş enerjisinin kullanılmasının en yaygın yöntemlerinden biridir. Güneşin termal enerjisinden, bu sistemlerin tanklarının kapasitelerinin artırılması halinde, evlerde ve halka açık yerlerde, özellikle yakıt sıkıntısı yaşanan yerlerde ve daha geniş ölçekte, hijyenik sıcak su temini amacıyla kullanılabileceği, Güneş banyoları somut bir örnek olabilir ve yakın gelecekte hayata geçirilebilir.

- Güneşin ultraviyole ışınları ısının yanı sıra dezenfekte etme özelliğine de sahiptir, ısı mikroorganizmaların enzimlerini ve hücrelerinin hassas kısımlarını parçalayıp yok eder. Gastrointestinal patojenlerin hiçbiri suyun kaynama noktasında hayatta kalamaz, ısı hala küçük miktarlarda dezenfeksiyon için uygun bir çözüm olarak kullanılır.

- Güneş ışınlarının fotovoltaiik adı verilen ekipmanla doğrudan elektriğe dönüştürülmesi: Güneş pili, yarı iletken kullanarak güneş ışığını fotovoltaiik etki yoluyla doğrudan elektriğe dönüştüren elektrikli bir cihazdır. Bu nedenle güneş pillerine fotovoltaiik piller de denilmektedir (Behzadpour ve ark., 2020).

2.2.1.2. Rüzgar enerjisi

Diğer yenilenebilir enerji kaynakları gibi rüzgar enerjisi de yaygın fakat dağınık bir şekilde mevcuttur. Güneşin dünyanın engebeli yüzeyine farklı enlemlerdeki eşit olmayan ışıınımı sıcaklık ve basınçta değişikliklere neden olur ve bunun sonucunda rüzgar oluşur. Ayrıca dünya atmosferi dönme hareketi nedeniyle ısıyı tropikal bölgelerden kutup bölgelerine aktararak rüzgara neden olur. Rüzgar enerjisi dalgalı ve aralıklı bir yapıya sahiptir ve sürekli esmez. Rüzgar enerjisi, doğayı ve çevreyi kısmen etkilemesi nedeniyle temiz enerji teknolojilerinden biri olarak değerlendirilmektedir. Rüzgar santralleri herhangi bir hava kirliliği veya sera gazı üretmez. Binalardaki ve toplumdaki sınırlı alan nedeniyle rüzgar enerjisinden yararlanmaya yönelik genel teknoloji küçüktür ve mikro rüzgar türbinleri genellikle yüksek binalarda kullanılır (Li ve ark., 2023). Rüzgar enerjisi aşağıdaki amaçlarla kullanılmaktadır:

1- Elektrik - 2- Kuyu ve nehirlerden su çekilmesi - 3- Tahıl öğütme, buğday harmanlama - 4- Evin ısıtılması

Rüzgar enerjisi üretmek için ihtiyaç duyulan cihaza rüzgar türbini jeneratörü denir ve genellikle fan, jeneratör, direksiyon dişlisi, kule, kontrol mekanizması ve enerji depolama cihazından oluşur. Akıllı evlerde bina havanın doğrusal hareketini engeller, böylece hava yukarıya doğru hareket ederek fanın etrafında basınç farkı oluşturur, bu da jeneratörü döndürerek enerji üretir. Genellikle üretilen elektrik enerjisi ev aydınlatma ekipmanları, iletişim ekipmanları ve elektrikli aletlerde kullanılmaktadır. Rüzgarın aralıklı dalgalanması nedeniyle ayarlanabilir sisteme ve depolama kapasitesine dikkat etmek çok önemlidir (Khazerloo ve ark., 2015).

Rüzgar enerjisi yoluyla elektriğin maliyeti son yirmi yılda istikrarlı bir şekilde azaldı. 1980'lerin başında ilk rüzgar türbinleri şebekeye kurulduğunda rüzgar enerjisinden üretilen elektriğin maliyeti kilovat saat başına 0,3 dolardı. Günümüzde rüzgar santralleri kilovat saat başına 0,07 ile 0,12 dolar arasında elektrik üretebilmektedir (Wu ve ark., 2011). Temiz enerji üretimi için üretimin en önemli kısmı rüzgâra göre doğru yer seçimi, kullanım şekline göre doğru türbinin kullanılması, büyük ölçekte üretim ya da sınırlı ölçekte kullanım olmak üzere iki seçeneğimiz var. Geçtiğimiz yıllarda rüzgar enerjisinin kentsel alanlarda kullanılmasına yönelik birçok araştırma yapılmıştır. Bu araştırmaların birçoğu kentsel alanlarda dikey eksenli rüzgar

türbinlerinin yatay eksenli rüzgar türbinlerinden daha iyi performansa sahip olduğunu göstermektedir (Behzadpour ve ark., 2020). Rüzgar enerjisi kullanımları:

➤ Yatay dönme eksenli rüzgar türbinleri: Bu türbinler dikey modele göre daha yaygındır ve aynı zamanda teknoloji açısından daha karmaşık ve pahalıdır. Yapımları dikey eksenli tipe göre daha zordur ancak oldukça verimlidirler. Düşük hızlarda da elektrik enerjisi üretme ve rüzgarın yönünü ayarlama yeteneğine sahiptirler. Bu türbinler yüksek bir kule üzerine monte edilen 3 veya bazı durumlarda 2 kanatlıdır. Bu kanatlar her zaman rüzgarın geldiği yöne yerleştirilir.

➤ Dikey eksenli türbin: Dikey eksenli rüzgar türbinlerinin türbülanslı ve düzgün olmayan rüzgar akışı modellerinde kabul edilebilir performans gösterme yeteneği, bu tür türbinleri kentsel uygulamalar ve düzensiz rüzgar akışlarının yaygın olduğu yerler için iyi bir seçim haline getirmiştir (Wu ve ark., 2011).

2.2.1.3. Jeotermal enerji

Yer kabuğunun katı kısmında bulunan termal enerjiye jeotermal enerji denir. Dünyanın merkezi, volkanik patlamalar, sıcak su veya iletkenlik nedeniyle yüzeye çeşitli şekillerde yönlendirilen devasa bir termal enerji kaynağıdır. Yapılan araştırmalara göre dünya, 4 milyar yıldan daha uzun bir süre önce oluşmuş, giderek donarak soğuyan ateşli bir küttedir ve bu soğukluk devam etmektedir. İnsanlar uzun zamandır düşük sıcaklıktaki jeotermal enerji kaynaklarını (kaplıcalar) banyo amaçlı ve aynı zamanda tıbbi amaçlarla kullanmaktadır. Son zamanlarda bu enerji, mekanların ısıtılması, seraların ve balık yetiştirme havuzlarının ısıtılması, dinlenme havuzlarının ısıtılması, soğuk mevsimde yolların donmasının önlenmesi vb. amaçlarla kullanılmaktadır. Jeotermal enerji, dünyada elektrik üretmek amacıyla kullanılan üçüncü yeni enerji türüdür (Khazerloo ve ark., 2015).

Şimdiye kadar, sığ jeotermal enerjinin ana kullanımı konut iklimlendirmesiydi ve düşük sıcaklıktaki yer altı ısı kaynaklarını pompalamak ve kullanmak için ısı pompası teknikleri kullanılıyordu. Toprak kaynaklı ısı pompası, ısı sağlamak için düşük jeotermal kaynakları kullanan, enerji tasarrufu sağlayan bir iklimlendirme teknolojisidir. Jeotermal kaynakların keşfi ve geliştirilmesi, jeotermal enerji dağıtımının sınırlamaları nedeniyle yüksek yatırım ve yüksek risk içeren, gelişmekte olan bir endüstridir. Örneğin İzlanda'da sürdürülebilir ve düşük maliyetli elektrik üretmek için jeotermal enerji

kullanılıyor. İzlanda'daki akıllı evlerin %87'si jeotermal enerjiyle ısıtılıyor. Dünyadaki çevre koşullarında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması, enerji talebinin artması ve alternatif enerji teknolojilerinin gelişmesi, çeşitli sürdürülebilir kaynakların geliştirilmesi için büyük bir fırsat sağlamıştır (Boyle, 2007).

2.2.1.4. Biyokütle

Biyokütle, ürünlerin biyolojik olarak parçalanabilen tüm bileşenleri, kanalizasyon ve tarımsal atıklar (bitki ve hayvan malzemeleri dahil), orman endüstrileri ve diğer ilgili endüstriler, kentsel ve endüstriyel atık sular ve biyolojik olarak parçalanabilen atıklardır. Biyokütle enerjisi, enerjiyi sıcak, soğuk ve araba yakıtı şeklinde, sıvı ve gaz halinde dağıtan tek yenilenebilir enerji kaynağıdır. Ayrıca petrokimya yemi yerine geçen biyolojik malzemeler de diğer ürünleri arasında yer almaktadır. Şu anda dünyadaki birincil enerjinin %11,5'inden fazlası biyokütle kaynaklarından sağlanmaktadır. Biyokütle teknolojileri genellikle kırsal bölgelerdeki teknolojilere uygulanmakta olup, ulaşım ve çevre sorunları nedeniyle şehirlerde yoğunlukla toplanması ve depolanması daha az kullanılmaktadır (Li ve ark., 2023).

Günümüzde akıllı evlerde kullanılan biyokütleden elektrik üretimi, biyokütle yakıtlarından doğrudan enerji üretimi ve biyokütleden biyogaz üretimi ve ardından elektrik üretimini içermektedir. Akıllı evlerde biyokütle yakımından enerji üretim teknolojisinin kullanımı erişilebilir bir kaynak olarak öngörülebilir. 1990'lı yıllardan bu yana Danimarka, Avusturya ve diğer Avrupa ülkeleri biyokütle enerjisi üretim teknolojisi alanında geliştirme ve araştırmalara başlamıştır. Şu anda Danimarka'nın her yerinde evlerde biyokütle elektrik üretimi kullanılıyor. Bu yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi, ulusal enerji tüketiminin %24'ünden fazlasını oluşturmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde biyokütle elektrik üretim kapasitesi 10,5 milyon kilowat'a ulaştı, benzer şekilde Çin'de de biyokütle kullanımı önemli ölçüde gelişti (Khazerloo ve ark., 2015).

2.2.1.5. Gelgit enerjisi

Bu yöntemde üç tarafı kara olan ortamlarda dördüncü tarafı çok sayıda türbinin bulunduğu bir barajla kapatılır ve gelgit sırasında su diğer tarafa gittiğinde türbinler dönerek elektrik üretir.

1990'lı yıllardan itibaren yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı her geçen yıl artmaktadır. Ayrıca yenilenebilir enerji endüstriyel, konut, ticari ve kamu sektörleri gibi çeşitli alanlarda da kullanılmaktadır. 2012 yılında konut, ticari ve kamu merkezlerinde yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak tüketilen enerji miktarı önemli bir rakama ulaştı. Teknik ve ekonomik açıdan, ev elektriği sağlamak için fosil yakıtların yenilenebilir enerji ile değiştirilmesi oldukça mümkündür. Yenilenebilir enerji kaynaklarının son 21 yılda hızla gelişmesi nedeniyle Almanya yenilenebilir elektrikte öncü konumdadır. Almanya, 1988 yılında vatandaşların çatılarından 300 megawatt güneş enerjisi elde etme hedefiyle "Çatı Planı" adı verilen bir planı uygulamaya başladı. Şu anda çok sayıda Alman aile güneş enerjisi sistemi kullanarak elektrik üretim ağında bulunuyor. Konut sakinleri, çatıda bulunan ekipmanlarla üretilen güneş enerjisini gündüzleri yüksek bir bakiye ile elektrik şebekesine veriyor, geceleri ise denge uygun olduğunda geri satın alıyor. Dolayısıyla konut sakinleri hem enerji üreticisi hem de tüketicisi haline geliyor. Kolay kurulumu ve düşük maliyeti sayesinde bu sistemler akıllı evlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Dünyada güneş enerjili su ısıtıcı kullanımında lider ülke olarak bilinen Kıbrıs, ailelerin %92'sinin, otellerin ise %53'ünün güneş enerjili su ısıtıcı sistemlerini kullandığı bir ülkedir (Shahroudi ve ark., 2007).

Binalarda enerji verimliliği birçok ülkenin temel öncelikleri arasında yer almakta ve mevcut binalar enerji tasarrufu açısından yüksek bir potansiyel oluşturmaktadır. Dünya çapında pek çok hükümet, binaların enerji standartlarını artırarak ve tüketim değerlerine kısıtlamalar getirerek binalarda kullanılan enerjiyi mümkün olan en düşük miktara indirmeye çalışıyor. Binalarda tüketilen enerji miktarı temel olarak binanın inşaatına, bina ve çevresinin ısıtma özelliklerine, binanın bulunduğu yerin iklim özelliklerine, binanın kullanım saatlerine ve binanın özelliklerine ve binanın ısıtılması ve soğutulması için kullanılan sistemler bağlıdır. Tüm bu parametreler göz önünde bulundurularak tasarlanan gerçek akıllı binalar, çevreleriyle uyum içinde çalışarak enerjinin çok verimli kullanılmasını sağlayabilir (Stewart, 2001).

Mekanik sistemlere bağımlılığı azaltmak amacıyla doğal stratejiler ve araçlar (doğal aydınlatma, sıcak mevsimlerde doğal havalandırma ve bölgenin iklimine göre güneş ışığının bina ısıtmasını sağlamak için kullanılması) kullanılarak yapı bloklarında enerjinin optimize edilmesi ve termal konfor koşullarının sağlanması, fosil yakıtlar ve çevreyle uyumlu bir biyoiklimsel mimarinin hayata geçirilmesi gerçekleştiriyor (Guerrero

ve ark., 2015). Ticari, konut ve ofis binalarında soğukta ısı üretmek amacıyla yılda yaklaşık 200 milyon varil ham petrol tüketilmekte olup, uygun yöntemlerle enerji tüketiminin sadece %10'u tasarruf edilirse yılda yaklaşık 20 milyon varil ham petrol tasarrufu sağlanabilmektedir. Binaların enerji tüketimine karşı güçlendirilmesi, ofis-hizmet ve konut komplekslerinin yılın her günü kullanıcılar tarafından sürekli olarak kullanılan mekanlar olduğu ve gece-gündüz çalışma saatlerinin yüksek olduğu dikkate alındığında, enerji verimliliğinde önemli rol oynamaktadır. Farklı mevsimlerde, hem soğutma hem de ısıtma açısından binanın iç kısmında uygun koşulların yaratılması her zaman önemlidir (Leman ve ark., 2020).

Akdeniz iklimindeki bir ofis binasının enerji potansiyeli üzerine yapılan bir araştırmada Design Builder yazılımı yardımıyla cephe malzemesi, ısıtma ve soğutma sistemleri, duvarların oranı gibi daha etkili parametreler araştırılmış ve sonuçlar bunların önlemler enerji tüketiminde yıllık %33 azalmaya yol açmaktadır (Giouri ve ark., 2020).

Günümüzde özellikle enerji kaynaklarının tüketiminde daha fazla konfor ve güvenlik yaratmak ve tasarruf sağlamak amacıyla farklı teknolojiler kullanılıyor. Örneğin bilgi teknolojilerinde, bina içindeki değişiklikleri ve çevre koşullarını ölçüp tahmin edebilen ve buna tepki verebilen sistemler geliştirilerek, enerji tüketiminin kontrol altına alınması mümkün olmuştur (De Groote ve ark., 2017). Bu hedefe ulaşmanın ilk adımı çağdaş mimarlığın zayıf yönlerini bulmak ve bu zayıflıkları iyileştirecek çözümler sunmaktır. Bir binadaki enerji tüketimi öncelikle yapıya, geometrik biçime ve iç bileşenlerin tasarımına, ikinci olarak da iklim, mekanların işgal edilme ve kullanılma şekli, ekipman ve tesislerin işleyişi ve bakım düzeni gibi diğer faktörlere bağlıdır. Dolayısıyla mimarlık, insan ve doğa arasında mantıksal bir ilişki kurarak, iklim koşullarına uyum sağlarken ve temiz enerjinin optimum kullanımını sağlayarak daha iyi bir yaşam için uygun modeller sunar (Guerrero ve ark., 2015).

2.3. İklim

Her iklim bölgesinde iklim tasarımının ana hedeflerine dikkat edilmesi ve bu hedeflerin gerçekleştirilmesine yönelik öngörülerde bulunulması, binaların iklim koşullarına uyum sağlamasına ve koordinasyonuna yol açacak, enerji tüketiminden tasarruf sağlayacak ve her iklimde mimari kimliğini bulacaktır. Bina içinde konfor

yaratmak için mimari iklime dikkat edilmesi, ısıtma ve soğutmanın sağlanması, aynı zamanda birçok yönde keyifli bir mekan tasarlanması ve uygun koşulların yaratılması. Çoğunlukla kişi başına düşen enerji tüketimi ve maliyetin yüksek olması, hava kirliliği, erişim gibi nedenlerden dolayı ısıtma ve soğutma kaynaklarına Geçmiş sertleşmiş veya azalmıştır (Cao ve ark., 2016).

Binanın çevresindeki iklim makro iklim ve mikro iklim olarak tanımlanabilir. Makroiklim, belirli bir bölgenin spesifik iklimini tanımlayan iklim verileri olarak tanımlanabilir. Sıcaklık, nem, yağış, rüzgar hızı ve yönü, güneşlenme süresi, güneş radyasyonu verileri, atmosferik kirlilik önemli hava durumu parametreleridir. Mikroiklim binanın etrafındaki iklimdir. Çevredeki binalar (güneş ışığını ve rüzgarı engellemesi), arazi (nehir, vadi, tepeler) gibi nedenlerden dolayı bina çevresinde birçok mikro iklim oluşabilir. Ayrıca binanın farklı cephelerinde farklı mikro iklimler oluşabilir: örneğin rüzgar yönünün hakim olduğu cepheler, güneye veya kuzeye bakan cepheler diğerlerinden farklı mikro iklimlere sahip olacaktır (Bayraktar ve ark., 2007).

Binanın yönelimi, binaya ulaşan doğrudan güneş ışıının miktarını ve bunun sonucunda ısı kaybı ve artışını etkilemektedir. Güneşin konumu, binanın zemindeki konumu ve binanın yönü gibi verilerle belirli bir zamanda binanın herhangi bir seviyesine ulaşan güneş ışıını veya toplam yıllık değerler hesaplanabilmektedir. Bir yüzeye düşen güneş ışıını iki bileşenden oluşur: doğrudan güneş ışıını ve dağınık güneş ışıını. Yaygın güneş ışıınında, doğrudan güneş ışıının aksine atmosferik kirlilik, bulutlar ve yeryüzünden yansıyan ışınlar nedeniyle yönler homojen değildir (Bayraktar ve ark., 2007). Pasif güneş enerjili akıllı binalar için ideal alan, kışın gün ışığına erişimi engellemeyen, yazın ise engelleyebilecek alanlardır. Optimum performansın elde edilebilmesi için çevredeki engeller dikkate alınarak bölgenin iklim koşullarına en uygun alan seçilmelidir (Leman ve ark., 2020).

2.3.1. Plan uzaylarının sınıflandırılması

Bir binanın planının tasarlanabilmesi için mekanların konumu ve yönelimi çevre koşullarıyla uyumlu olmalı ve her mekandaki ısı emilimi ve ısı yayılımı da o mekanın gerekli iç koşullarıyla uyumlu olmalıdır. İç mekanlar iki kategoriye ayrılır:

- ana alanlar: Ana mekanlar gece ve gündüzün en çok kullanılan, insanların yaşadığı mekanlardır.

- tampon alanlar: Tampon alanlarda sakin bulunmaz ve sürekli kullanılmaz.

Ana mekanların ve tampon mekanların yerleşimi, tampon mekanların ana mekanlar ile binanın elverişsiz cepheleri arasına (termal olarak) yerleştirilerek ana mekanlardan dışarıya ısı transferinin (veya yılın sıcak aylarında dışarıdan ana mekanlara) en aza indirileceği şekilde yapılmalıdır. Ana mekanlarımız tampon alanlar ile binanın olumsuz cepheleri arasında yer almaktadır. Binanın arzu edilen cepheleri şunlardır: güney, doğu, kuzey; ve mevsimsel yağışların ve rüzgârın eşlik ettiği batı gibi elverişsiz cepheler (Cao ve ark., 2016). Güney cephesi güneş ışınlarından doğu ve batı cephelerine göre üç kat daha fazla yararlanmaktadır. Sonuç olarak güney tarafta yer alan mekanların güneş ışınlarının girişine açık ve şeffaf hale getirilmesi gerekmektedir. Yaz aylarında ise tam tersi, güney cephesi çatıya ve doğu ve batı cephelerine göre daha az güneş ışınımı alıyor. Çünkü kışın güneş gökyüzünde alçakta ve daha düşük bir açıyla parlıyor ve güney cepheye çarpan radyasyon bu cepheye neredeyse dik oluyor (Giouri ve ark., 2020). Tablo 2.1.'de belirtilen içeriğe göre enerji sektöründe düşük tüketimli binalarımıza sahip olabilmek için planlar tasarlanırken enerji tüketiminden tasarruf etmek amacıyla aşağıdaki stratejiler dikkate alınabilir.

Tablo 2.1. Isıtma ve soğutma enerjisi gereksinimlerine yönelik tasarım stratejileri

Başlık	Isıtma	soğutma
Planın doğu/batı yönü kışın güneşliğin yüzey alanını artırıyor	★	
Çatılar, güneşin güneş enerjili sıcak su sistemleri için kullanılmasına izin verecek kadar geniş, uygun şekilde yönlendirilmiş ve eğimli olmalıdır.	★	★
Güneşe bakan ve rüzgara bakan odalar güneş enerjisiyle ısıtmanın ve çapraz havalandırmanın etkisini artırır.	★	★
Güneş enerjisi alanları ve seralar, güneşin ısını alarak depolamak ve diğer odalara dağıtmak için kullanılabilir.		★
Güneş ışığını yansıtmak ve iç katmanlara ısı transferini önlemek için çift cidarlı malzemeler kullanılabilir.		★
Bina içindeki radyasyonu artırmak için duvarlar ve çatılar güneş yansıtıcı olarak kullanılabilir.	★	

Mekanların kullanımına, ışık ve iklimlendirme ihtiyaının miktarına ve diğer etkili faktörlere göre, planda sakinlerin konforunu sağlayacak ve enerji tasarrufu sağlayacak çeşitli noktalar dikkate alınabilir.

- Yatak Odaları: Yatak odalarının tasarımında güneş korumasına dikkat edilmesi, balkonla bağlantısı, aalık alan ve manzaraya uygun manzara bu mekanın kalitesine katkıda bulunmaktadır.
- Tuvalet ve banyo: Tuvalet ve banyonun uygun konumu binanın orta kısımlarındadır, bu elemanlar için güneş enerjisi elde etme ve havalandırmaya ihtiyaç duyulmaması bu konumları haklı çıkarmaktadır.
- Işıklıklar: Orta bölümlere yerleştirilmesiyle iç mekanlara ışık sağlamanın yanı sıra baca etkisi ile dikey havalandırma da sağlanabilmektedir. Çatıda aalık alana aalıan bu ışıklıklar, iç mekamlardan dış mekamlara dikey hava akışına neden olur.
- Salon: Salon gün içerisinde diğer iç mekan elemanlarına göre konut sakinleri tarafından daha fazla kullanılmaktadır. Salonun güney tarafta yer almasıyla diğer unsurlara göre içerisinde güneş enerjisinden faydalanmak mümkündür. Jeffrey Aronin tarafından hazırlanan tablo 2.2.'de konut binalarının farklı mekamlarının güneşe doğru yönelimleri kontrol edilmiştir (Gut ve Ackerknecht, 1993).

Tablo 2.2. Farklı konut planlarının yerleştirilmesi

Bina alanları	Kuzey	kuzeydoğu	Doğu	güneydoğu	Güney	güneybatı	Batı	kuzeybatı
yatak odası	★	★	★	★	★	★		
Salon				★	★	★		
Yemek odası			★	★	★	★	★	
Mutfak			★	★	★	★		
Kütüphane	★	★						
Çamaşır odası	★	★						
Oyun odası				★	★	★	★	
Avlu				★	★	★		
Banyo ve tuvalet	★	★	★				★	★
Alet odası	★	★						★
Otopark	★	★	★				★	★
Atölye	★	★						★
Teras			★	★	★	★	★	
Balkon				★	★	★	★	

Dolayısıyla bu tablodan şu sonucu çıkarmak mümkündür:

- Güney mekanları (yatak odası - yemek odası – teras – salon)
- Doğu mekanlar (banyo - spor salonu)
- Batı mekanları (balkon – tuvalet – banyo - oyun odası)
- Kuzeybatıdaki alanlar (merdiven – depo - çalışma odası)
- Kuzeydoğudaki mekanlar (kütüphane – tuvalet – garaj – giriş)
- Güneydoğu mekanları (yatak odası - hasta odası)
- Güneybatıdaki mekanlar (merdiven - depo – koridor)

2.4. Nano Teknoloji

Belirtildiği gibi binaların tasarımında ve planlarında mikro ve makro iklimin dikkate alınması enerji tüketiminin azaltılmasında önemli rol oynamaktadır. Ancak teknolojiyi kullanmak binalarda enerji tüketimini azaltmanın başka bir yoludur. Bu yüzyılın en büyük yeni teknolojilerinden biri de inşaat sektörünün ihtiyaçlarını karşılamada çığır açabilecek nanoteknolojidir ve nano teknoloji, enerji tüketimine karşı dayanıklı ve etkili malzemelerin üretilmesi nedeniyle inşaat sektöründe önemli bir rol oynamakta ve karbonsuz veya düşük karbonlu bir topluma ulaşmamıza yardımcı olabilmektedir. Her geçen gün artan nüfus ve inşaat miktarının artması, kaynak ve sarf malzemelerinin sınırlı olması nedeniyle inşaat sektöründe yeni malzeme kullanımına olan talep de artmıştır. Kaliteyi artırmaya, malzeme verimliliğini artırmaya, hammadde ve enerji tüketimini azaltmaya yönelik çözüm bulma çabası bu sektörde yeni teknolojilerin kullanılmasına yol açmıştır. Bu teknolojiyi kullanmanın avantajları arasında malzeme kalitesinin artması, enerji tasarrufu ve bunun sonucunda ekonomik tasarruf sağlanmasını saymak mümkündür ve diğer yandan sürdürülebilir çevre mimarisini de beraberinde getiriyor.

Nanoteknoloji, güneş enerjisi dönüşümü ve depolanması, termoelektrik dönüştürücüler, piller, yüksek verimli yakıt kürekleri alanında önemli gelişmeler vaat ediyor. Binalarda kullanılan modern yöntemlere ulaşmak için nanoyapıların kontrolü ve yeni malzemelerin bileşimi ve yapımı, binalarda, özellikle de geleceğin binaları ve şehirleri için enerji yönetimi konusunda birçok umut vaat ediyor (Antón ve ark., 2001).

Yapılarda yaygın olarak kullanılan ve nanomühendislik ile yapılan nanomalzemelerden iki örnek şu şekildedir:

➤ Binadaki radyasyonu itme ve yönlendirme yönünde oldukça etkili olan nano tozlar. Bu malzemeler, renklerle veya yüksek yoğunluklu malzemelerle bileşikler oluşturarak daha iyi sonuçlar verebilir.

➤ Karbon nanotüplerin tüm endüstrilerde geniş uygulamaları vardır, karbon nanotüpler kullanılarak elde edilen kompozit malzemeler yüksek mukavemet ve stabiliteye sahip olup binaların yapısal kısımlarında (çelik) kullanılmaktadır (Antón ve ark., 2001).

Yüksek maliyeti nedeniyle henüz yaygın kullanım alanı bulamayan diğer modern izolasyonlar arasında, cam yününün 39 katına kadar izolasyon özelliğine sahiptir. Bu malzemenin paslanmaya karşı direnci yüksektir ve zemindeki en iyi yalıtım malzemesi olarak bilinir. Bu yalıtım rulo fırça ve spreyle duvara kolaylıkla püskürtülebilir (Shahroudi ve ark., 2007). Nanoyapılar, mimarların çevreyle uyumlu, işlevsel yeni formlara ulaşma yönündeki çabalarının sonucudur. Bu bir bilim kurgu hayali değil çünkü nanobilim gerçeklikten çok daha hızlı gerçekleşecek. Sentetik nanokristaller, sürdürülebilirlik açısından kapsamlı bir rol oynayan bina yalıtımının bir örneğidir. Ayrıca diğer görevi de güneş ışığı kuvvetli olduğunda karar ve opaklaşan, güneş ışığı zayıf olduğunda ise camlar daha parlak hale gelen akıllı gözlüklerde kullanılmaktadır. Bu mekanizma konfor koşullarının ve malzemelerin optimizasyonunda ve stabilitesinde büyük bir dönüşüm yaratıyor. Tablo 2.3.'te yapı malzemelerinin sürdürülebilirliğinde rol oynayan, renk değiştirme özelliğine (kromik) sahip akıllı malzemelerin en ilgi çekici kategorilerine örnek verilmiştir (Booker ve Boysen, 2005).

Tablo 2.3. Malzemelerin sürdürülebilirliğinde akıllı malzemelerin rolü

malzemenin adı	Renk değiştirme maddesi
Fotokromik	ışık değişimi
Trokromik	Sıcaklık değişimi
Mekanokromik	Deformasyonla birlikte basınç
Kemokromik	özel kimyasal koşullar
Elektrokromik	voltaj değişimi

2.4.1. Yalıtım malzemeleri

Bina kabuğundan ısı transferini azaltmaya yönelik önlemler dizisine ısı yalıtımı denir. Isı yalıtımının amacı:

- ısı enerjisi kaybını azaltmak ve bunun sonucunda enerji tüketimini azaltmaktır
- uzun vadede binanın maliyetini düşürmek
- sıcaklığın düşmesine
- donmaların önlenmesine
- yangının kontrol altına alınmasına
- çevre kirliliğinin azaltılması

Isı yalıtımı iki genel şekilde sınıflandırılabilir: Yalıtım malzemesinin cinsine ve görünümüne göre. Malzeme bakımından ısı yalıtımı çeşitleri şunlardır:

- Mineral lifler

Mineral lifler cam yünü, taş yünü, cüruf yünü ve yanmaz pamuktur. Cam yünü, camın eritilip ince liflere dönüştürülmesiyle üretilir. Lifler kolayca kesilir ve yangına dayanıklıdır. Taş yünü üretiminin hammaddeyi bazalt magmatik kayadır. Taş yünü cam yününe göre daha yoğun olup ısıya karşı daha dayanıklıdır. Taş yünü de iyi bir ses yalıtkanıdır ve montajı cam yününe benzer (Antón ve ark., 2001).

- Mineral köpük (hücreli yapı)

Cam köpüğü, kalsiyum silikat, perlit, beton köpüğü ve seramik köpüğü gibi mineral köpük.

- Organik lifler

ağaç lifleri, şeker kamışı, pamuk, saç, selüloz gibi organik lifler; Selülozlar genellikle yalıtım endüstrisinde atık kağıt ve tekstillerin ince tüylere dönüştürülmesiyle üretilir. Bu tür yalıtım genellikle toplu olarak kullanılır (Casini, 2016).

- Organik köpükler

Organik pamuk köpükler, kauçuk sünger, polistiren ve poliüretan. Polistiren izolasyon sıkıştırılmış ve genişletilmiş olmak üzere iki tipte bulunmakta olup, sert ve levha halinde tedarik edilmektedir. Bu yalıtım nemi emmez ve kolayca tutuşur ve her iki tarafının da yangına dayanıklı malzemelerle kaplanması gerekir. Poliüretan izolasyon genellikle köpük formunda kullanılır ve enjeksiyon veya püskürtme için özel ekipman gerektirir (Booker ve Boysen, 2005).

- Metal yalıtım

Kendileri çok az termal dirence sahip olan ve yansıtıcı davranan alüminyum levhalar gibi metal yalıtkanlar. Şekil açısından ısı yalıtımı türleri şunlardır: Farklı binalarda ve bir binanın farklı bölümlerinde en uygun ısı yalıtımını seçmek için, ısı yalıtımının görünümü belirleyici bir rol oynar (Casini, 2016).

- Esnek

Çoğunlukla Lifler olan battaniyeler, keçeler, şeritler ve yanmaz halatlar şeklinde esnek yalıtım; Binaların duvarlarında, zemininde ve çatısında kullanılabilen cam yünü ve taş yünü gibi. Bu tür bir yalıtımın kurulumu için bağlantılar, ayırmalar ve boşluklar arasında sabitlenmeleri gerekir. Bu tip yalıtımın avantajları arasında, kirişler arasındaki boş alanlara uygun, uzman olmayanlar tarafından kurulabilmesi ve ucuz fiyatı sayılabilir (Antón ve ark., 2001).

- Sağlam yalıtım

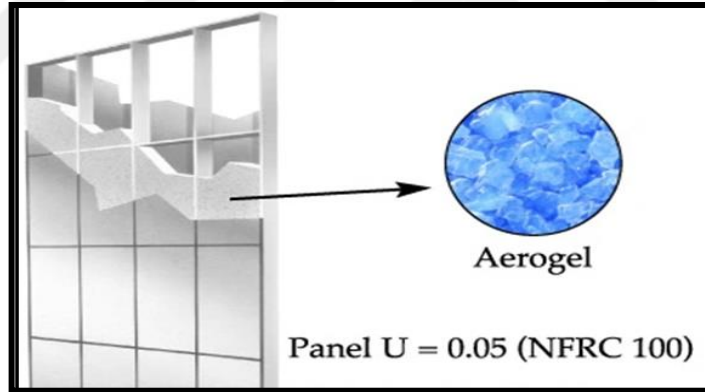
Sağlam yalıtım levhalar veya bloklar halindedir; Duvar, tavan ve zeminde kullanılabilen stiren ve poliüretan (Antón ve ark., 2001).

- Vakum yalıtım panelleri

Vakum yalıtım panelleri, normalden çok daha düşük kalınlıklarda ısı yalıtımı oluşturmak için oldukça uygundur. Bu panellerin ısı iletkenliği polistiren gibi geleneksel yalıtım malzemelerine göre on kat daha düşüktür. Bu, aynı kalınlıkta panelin ısı direncinin geleneksel yalıtıma göre çok daha yüksek olduğu ve aynı yalıtım seviyesinde panelin kalınlığının daha düşük olduğu anlamına gelir. Yani minimum kalınlıkla maksimum ısı direnci elde edilebilmektedir. Bu izolatörler, üç ısı transfer mekanizmasının (iletim, konveksiyon ve radyasyon) neden olduğu atıkların önlenmesi için uygundur. Vakum yalıtım panellerinin tarihsel geçmişi aynı prensibe göre çalışan termosların tasarımına kadar uzanmaktadır. termoslarde çift cidarlı cam kap arasındaki hava boşaltılır ve termosların silindirik formu, vakumun oluşturduğu basınca karşı koyar. Vakum yalıtım panelleri 1950'den beri piyasadaydı ancak yüksek maliyetleri nedeniyle inşaatı uygun değildi. Son yıllarda aerogel gibi yeni malzemelerin dolgu maddesi olarak kullanılmasıyla üretim süresini ve maliyetlerini önemli ölçüde azaltmak amacıyla kapsamlı ve yoğun araştırmalar yürütülmektedir (Booker ve Boysen, 2005).

- Aerojel

Nano düzeydeki kendi kendini temizleme gibi nispeten bilinen özellikleriyle karşılaştırıldığında, nano teknoloji ile üretilen ısı yalıtımı yeni bir gelişmedir. Aerojelin bir formu olan nanogel adı verilen ürün hem çok yüksek verimliliğe sahip bir ısı yalıtımıdır hem de Aynı zamanda etkili bir ses yalıtımıdır. Şu anda bilinen en hafif katı madde rekorunu elinde bulunduran Aerojel, 1931 yılında geliştirildi ve bazıları bu maddeye donmuş duman adını verdi. Bu jel küresel, Sütü renkte , yarı şeffaf ve kısmen opak tanecik formundadır ve nispeten basit bir malzemedir. Yaklaşık %255'i havadan başka bir şey olmayan ultra ince, havalandırılmış bir köpükten oluşur. Aerojellerin kullanılmasıyla soğutma ve ısıtma maliyetleri önemli ölçüde azaltılabilir. Şekil 2.1. ve şekil 2.2.'de Aerojel izolasyon dolgu malzemesi olarak cam çerçeveler, şekillendirilmiş camlar ve U profilli akrilik camlar, çok duvarlı paneller gibi çeşitli tipteki boşluk ve boş alanlarda kullanılmaktadır (Casini, 2016).



Şekil 2.1. Camda kullanılan aerojel



Şekil 2.2. Aerojel malzemesi ve ısıya dayanıklılığı

3. SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARİ

Doğal kaynakların bilinçsiz kullanımı ve yenilenemeyen kaynakların azaltılması gelecek nesiller için tehlike oluşturmaktadır. İklim değişikliği, çevre kirliliği, şehir suyunun azalması, doğanın tahribatı gibi konular, gelecek için korumanın önemini ortaya çıkarmıştır. Sürdürülebilirlik kavramına olan ilgi dünya çapında artmış ve 21. yüzyılın ana konularından biri haline gelmiştir.

Birçok ülkede çıkarılan yasalar ve devlet desteğiyle çevre bilincinin artırılmasına yönelik çalışmalarla toplum düzeyinde sürdürülebilir bir yaklaşım benimsenmiştir. Sürdürülebilir bina tasarımı, ekolojik tasarım, enerji verimli bina tasarımı ve akıllı bina tasarımı giderek artmış ve bu kavramlar sıklıkla bir arada kullanılmaktadır (SUR, 2020). Aslında sürdürülebilirlik, insanlığın ilerlemesinin ekolojik sistemlerin ve gelecek nesillerin ihtiyaçlarının korunmasına bağlı olduğu reformist bir harekettir. Ancak bu yaklaşım mimaride ve insan ortamlarında estetikle etkileşim ve denge içinde olup, tüm kültür ve akımlarda insanın huzur ve konforunu aramaktadır. Sürdürülebilirlik kavramı, özellikle bina tasarımında, pek çok insani ve çevresel faktöre bağlı olduğundan, tek taraflı olarak ve belirli bir birey veya grubun eğilimine dayalı olarak hedeflerine ulaşamaz (Hansen ve Knudstrup, 2005).

Günümüzde sürdürülebilir kalkınma ve kavramlarının sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada etkili bir faktör olarak ortaya konulabileceği görülmektedir. Sürdürülebilirlik kavramı günümüzde o kadar önem kazanmıştır ki, bu kavram dikkate alınmadan çevre ve mimariye dair her türlü çağdaş tartışma eksik kabul edilmektedir. Sürdürülebilir mimari tekrarlanabilen bir süreçtir. Sürdürülebilir mimari, nihai ürünün kalitesini etkileyebilir ve sürdürülebilir bir süreci belirleyebilir (Femenías ve ark., 2004). Sürdürülebilirlik, dünyada tüketilen kaynakların tüm yaşam faaliyetlerinde yüksek verimliliğe sahip olacak şekilde kullanılması ve tüketilen kaynakların mümkün olduğunca yenilenmesi ve yerine yenisinin konulması anlamına gelmektedir. Sözlük tanımı bir kaynağın sonsuza kadar tüketilmemesi veya yok olmaması için işlendiği veya kullanıldığı yöntemdir (SUR, 2020). Sürdürülebilirliğin tanımı ilk olarak 1982 yılında Uluslararası Doğayı Koruma Birliği (IUCN) tarafından kabul edilen Dünya Doğa Şartı belgesinde yer almıştır. Bu yasaya göre insanların yararlandığı ekosistemin, organizmaların, karasal, deniz ve atmosferik kaynakların istenilen sürdürülebilirliğin

sağlanacak şekilde yönetilmesi gerektiği öngörülmektedir ve bu ekosistemlerin ve türlerin bütünlüğünün tehlikeye girmeyeceği şekilde yapılması gerekiyor (Wood, 1985).

Modern çağda toplumun refahının sağlanması kalkınmanın en önemli önceliği idi, ancak 1970'li yıllarda insan, çevre ve kalkınma arasındaki ilişkinin tartışılmaya başlanmasıyla birlikte sürdürülebilir kalkınma kavramı ciddi anlamda ilgi görmeye başladı. Üniversitelerin ve beşeri bilimler uzmanlarının bilimsel faaliyetleri ve Birleşmiş Milletler'in 1987 yılındaki Dünya "Çevre ve Kalkınma" Komisyonu (Brundtland Komisyonu) ile sürdürülebilir kalkınmanın ilkeleri belirlendi. Ancak sürdürülebilir kalkınma kavramlarının dünya sorunlarına resmi olarak tanıtılması 1992 yılında Rio de Janeiro Çevre ve Kalkınma Konferansı'nda gerçekleşti. Günümüzde kentler, en önemlileri ekonomi, çevre ve toplum olan sürdürülebilir kalkınma politikalarının hayata geçirilmesi için uygun bir metin olarak değerlendirilmektedir. Elbette sürdürülebilir yaklaşıma sahip mimari de metninde ortak kavramları takip eden kentin sürdürülebilirliğinin bileşenlerinden biridir. Tasarım sürecinin ve inşaat ve malzeme üretim sürecinin çeşitli katmanlarında sürdürülebilir mimari yaklaşımların oluşmasında en önemli etkileyici faktörler arasında, çevre, biyolojik iklim ve değişimleri, enerji tüketiminin azaltılması, yeşil bina ve ekolojik sayılabilir. Sürdürülebilir mimarlık kavramı temel olarak iki prensibe dayanmaktadır (Peng ve ark., 2018):

- Bina tasarımına çevreyle bağlantısı ve etkisine önem veren bir grup
- Binalarda enerji tüketiminin azaltılmasını ifade eden bir diğer grup

Sürdürülebilir ekonomik, sosyal ve çevresel stratejik yönergelere ulaşmak için sürdürülebilir mimari tasarımın ve sürdürülebilir mimarinin çeşitli akımlarının incelenmesi, sürdürülebilirlik kavramlarının anlaşılmasını ve son kırk yılın uygulama deneyimlerinin incelenmesini gerektirir. Sürdürülebilir mimarlığın ilke ve yöntemleri hakkında çalışılabilecek olanlar, ağırlıklı olarak bu alanda önde gelen ülkelerin (Almanya, Amerika, Kanada, Danimarka) bilimsel yayınları ve inşaat kanunları ve pratik deneyimlerinden incelenebilir. (Peng ve ark., 2018)

Sürdürülebilir kalkınma, toplumun sorunlarının sistematik analizine dayanarak, dünya sisteminde eşitlik, adalet ve barışı getirecek çözümlerin belirlendiği bilimsel bir felsefedir. Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu da sürdürülebilir kalkınmayı, kaynak kullanımında, yatırımlara yön vermede, teknoloji gelişiminin yönlendirilmesinde,

mevcut ve gelecekteki ihtiyaçlarla uyumlu kurumsal değişimde değişim süreci olarak tanımlamaktadır. Rio Zirvesi'nde sunulan sürdürülebilir kalkınmanın en önemli tanımı, gelecek nesillerin ihtiyaçlarını tehlikeye atmadan insanlığın mevcut ihtiyaçlarını karşılayan, çevreyi ve yarının nesillerini dikkate alan kalkınmadır. Başka bir ifadeyle Brundtland'ın raporunda sürdürülebilir kalkınma kavramı, gelecek neslin gelecekteki kapasitelerine zarar vermeden mevcut ihtiyaçları karşılayan bu tür kalkınma olarak ifade ediliyor. Günümüzde sürdürülebilirlik konusu dünyanın her yerinde çeşitli bilimsel ve idari alanlarda tartışılıyor: Sürdürülebilir tarım, sürdürülebilir ekonomi, sürdürülebilir insan kaynakları, sürdürülebilir kentsel gelişim ve sürdürülebilir mimari günün konuları arasında yer alıyor. Çevreye en az zararı vermek, biyolojik çeşitliliğe önem vermek, temiz ve yenilenebilir enerji kullanmak, yerli ve geri dönüştürülebilir malzeme kullanmak, tarihi yapıları korumak veya canlandırmak, bunun yanı sıra her toplumda ekonomik ve kültürel konulara önem vermek, Sürdürülebilir mimarinin hedeflerindendir (Boyle, 2007).

İnşaat, tarımdan sonra dünyanın en büyük ikinci sektördür. Binaların soğutulması, ısıtılması ve yapı malzemeleri üretiminden kaynaklanan kirlilik, arabaların kirliliğini açıyor ve kaynakları hızla tüketiyor. Mimarlıkta sürdürülebilirlikten bahsetmek geleceğin yapılarını tasarlama fikri olarak yorumlanabilir. Mesele sadece binaların fiziksel stabilitesi değil ve bu gezegenin ve kaynaklarının istikrarı ve korunmasıyla birlikte, bu temelde sürdürülebilirlik, mevcut malzeme ve kaynakların israf edilmek veya göz ardı edilmek yerine daha verimli kullanıldığı bir modele dayalı olarak hayal edilebilir (Peng ve ark., 2018). Mimarlıkta sürdürülebilirlik kavramı, yalnızca uzun süre dayanacak binalar yaratmak değildir; çünkü birkaç yüz yıllık ömre sahip bir bina, günümüzün ihtiyaçlarına uygun değildir. Günümüzün ihtiyaçlarını karşılayan mimarilere sürdürülebilir denilebilir. Geleneksel yapılar üzerinde biraz düşünüp incelediğimizde, bu yapıların çoğunda kültürel, iklimsel koşulların, özgünlüğün ve malzemelerin tam olarak gözetildiğini görüyoruz. Ancak çağın mimari ihtiyaçlarına ve kentsel yaşam biçimine ve mevcut sınırlamalara uygun olmadığı gibi, bugün bir mimarlık türünü "sürdürülebilir mimarlık" olarak tanımlayan koşul ve göstergeler, gelecekte bugünün konseptine uygulanamayabilir ve sürdürülebilir mimarinin yeni tartışmalarında, yeni mimarinin çevre üzerindeki olumsuz etkileri azaltılmaya çalışılıyor, bunun yerine çevreye uyumlu malzemeler ve özel iklim tasarımı

kullanılarak enerji tüketiminden tasarruf ediliyor (Donovan, 2019). Aslında çevresine yabancı olmayan bir bina yaratmalıyız ve sürdürülebilir tasarımcılar, binayı iklim ve çevre koşullarına uygun hale getirip çevresel enerji kullanımına dikkat ettikten sonra tasarım yapacakları kişilerin kültürüne, dinine ve ırkına dikkat etmelidir (Khoja ve Waheeb, 2020). Sürdürülebilir bina, verimli kaynaklara ve ekolojik ilkelere dayanan bir tür yaratıcılık ve bina sağlığı yönetimidir. Binalarda ısı yalıtımı yoluyla daha iyi enerji verimliliği sağlanır, enerji tasarrufu sağlanır, uzun vadede maliyetler düşer ve çevreyi kirlletici maddelerden korunur (Wood, 1985).

Sürdürülebilir tasarım çevreyi anlamakla başlar. Bulunduğumuz ortamın imkanlarının farkında olursak onlara zarar vermekten kaçınabiliriz. Aslında çevre anlayışı, güneşe göre yerleştirme yönü ve binanın sahaya nasıl yerleştirildiği dahil olmak üzere tasarımın aşamalarını belirliyor, bu konuda organik mimari ve ekoteknoloji mimarisinde pek çok çalışma yapıldı. Organik mimaride yani yapının doğaya en az zarar verecek, yani içinde bulunduğu doğanın bir parçası olacak şekilde tasarlanması ve yürütülmesi gerekmektedir ve yapı malzemeleri sağlamlık şeklinde doğa ve renklerle uyum içinde olup, çevre ile uyum içerisindedir. Ekoteknoloji mimarisinde çevreye ve bozunabilir yakıt ve enerji kullanımına, doğaya ve çevreye en az zarar verecek şekilde enerjinin geri dönüştürülmesine ve yenilenmesine dikkat edilir (Donovan, 2019). Sürdürülebilir tasarım bir tutum ve davranış biçimidir ve önemli prensip ise binanın doğanın küçük bir parçası olması ve ekosistemin bir parçası olarak hareket etmesi ve yaşam döngüsüne dahil olmasıdır. Sürdürülebilir tasarıma ulaşmak için üç temel ilke dikkate alınmalıdır:

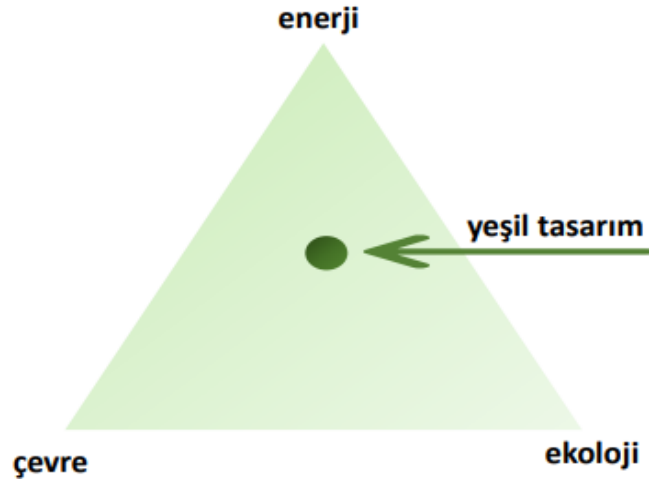
➤ Binada kullanılan doğal kaynakların tüketiminin azaltılması, yeniden kullanılması ve geri dönüştürülmesiyle ilgilenen kaynakların tasarrufu: Örneğin, bol ve ölümsüz kaynaklardan biri, günümüzde fotovoltaik teknolojisiyle binalara su ve elektrik sağlamak için kullanılan güneş ışığından elde edilen enerjidir. Kaynakları kontrol etmek için enerji tasarrufu, su tasarrufu ve malzeme korumasını içeren üç tür strateji düşünülebilir. Görüldüğü gibi bina inşaatı ve yönetimindeki önemlerinden dolayı bu üç kaynağa odaklanılmaktadır.

➤ İnşaat sürecini ve bunun çevre üzerindeki etkilerini analiz etmek için bir yöntem öneren yaşam döngüsüne dayalı tasarım

➤ İnsan ve doğa arasındaki etkileşime odaklanan insan tasarımı: Bu ilkenin kökeni, ekosistemin aynı zamanda insanın hayatta kalmasını da garanti eden zincir elemanlarının korunması için gerekli olan ihtiyaçlara dayanmaktadır. Bu ilkenin, bina ile bina dışındaki çevre ve bina ile onu kullanan insanlar arasındaki bir arada yaşamayı arttırmaya odaklanan doğal kaynakların korunması, kentsel tasarım-alan tasarımı ve insan konforu olmak üzere üç stratejisi vardır (Hagan, 2007).

Sürdürülebilir mimariye ilişkin birçok çözüm önerilmiştir. Şekil 3.1.'de Kelly ve Rosanna Harant'ın sürdürülebilir mimari örneği olarak sınıflandırılabilmesi için dikkat edilmesi gereken tanım ve ilkeler şunlardır:

- Binanın güneş enerjisiyle ısıtılması
- Konforu ve rahatlığı koruyun
- Yenilenebilir enerji kullanımı
- Suyun depolanması
- Yerli ve doğal malzeme ve geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanımı
- Doğal ormanların korunması
- Dayanıklılıkla inşa edin (Kasmaei ve ark., 2011).



Şekil 3.1. Sürdürülebilir tasarım için gerekli ilkeler

Kalite, sürdürülebilir tasarımın temelidir. Doğa dikkate alınmadan istenilen kalite sağlanamaz ve uzun ömürlü malzemelerin kullanımına da dikkat edilmelidir. Gerçekte insan sağlığını sağlayan yüksek kalite, güvenlik ve konfor standartlarına ulaşmak, etkin yönetim ve en son teknolojilerin kullanımıyla gerçekleştirilebilecek

sürdürülebilir mimarinin en önemli hedeflerinden biridir. Yukarıdaki tanımlara göre bu mimaride kullanılması gereken teknikler şunlardır:

- Yer duygusunu, varoluş alanını ve bunda rahatsızlık olmadığını anlamak
- Güneş ve rüzgar enerjisi gibi doğal enerjinin kullanımı
- Geri dönüştürülebilir ve dayanıklı doğal ve yerel malzeme kullanımı
- Başta yağmur suyu olmak üzere suyun toplanması ve kullanılması ile göl ve deniz suyunun kullanılması
- Sürdürülebilir bir bina, psikolojik stresi ve tüketici ihtiyaçlarını azaltacak şekilde tasarlanmalıdır. Sürdürülebilir mimari, bir tür yaşam sanatı olan doğayla iç içe saygıyla yaşamak anlamına gelir
- Isı yalıtımı, binaya uygun ses yalıtımı
- Çatı yardımıyla doğal havalandırma imkanı (Khoja ve Waheeb, 2020).

Doğru aydınlatma ve açıklıkların doğru tasarımı Sürdürülebilirliğin boyutlarından biri insan ve çevre arasındaki karşılıklı ilişkidir. Doğanın ve insan çevresinin kendisine her şeyi ve yaşam koşullarını sağlaması nedeniyle uzun süre onun ilham kaynağı ve ihtiyaçlarının karşılanması olmuştur. Sürdürülebilir mimari tasarım alanında bu bakış açısına hakim tutumlardan biri biyonik mimari ve doğadan ilham alınmasıdır. İnsanoğlu her zaman doğadan uygun konut kalıplarını keşfetmeye çalışmıştır. Buradan hareketle dünya nüfusunun artışı dikkate alındığında 2050 yılı için en iyimser ihtimal 12 milyar insan civarındadır. Son 100 yıldır şehirler kentsel planlamalarını ve stratejilerini nüfusla orantılı olarak gökdelenlere ve yüksek kulelere odakladılar (Donovan, 2019). Bu bakımdan biyonik mimariden ilham almak sürdürülebilir mimari tasarlamada etkili olabilir. Biyonik, teknik ve yapısal sorunları biyolojik yollarla çözebilen, yani canlı modellerden ilham alınabilen bir bilimdir. Dolayısıyla yapıya ruh kazandırmak, bu alanın tasarımcılarının yapının nefes alma (canlandırma) gücünden dolayı düz çizgiler veya saf eğriler yardımıyla elde ettiği biyonik mimarinin eğilimlerinden biridir ve biyonik mimariyi tasarlamak için en önemli şey binanın canlılığını yaratabilmesidir (Khoja ve Waheeb, 2020).

Söylenildiği gibi insan, yaratılışından itibaren çevreden ve doğadan ilham almış, bunu yaratıcılığın ve tasarımın temeli haline getirmiştir. Enerji ve doğal kaynakların krizini göz önünde bulunduran mimarlar, biyonik bilime dayalı yeni bir mimari ve yapı yaklaşımıyla bu krizden çıkmak ve enerji tasarrufu sağlamak için bir çözüm bulmaya

çalışıyorlar. Bu öğrenmelerin sonucu biyonik mimaridir. Biyonik mimari, büyüme ve oluşum şeklinin, enerji temini ve metabolizmasının, canlı organlardaki kuvvetlerin dağılım şeklinin, sürdürülebilir ve teknolojik bir yaklaşımla mimari mekanların yaratılmasının tartışıldığı bir yapı tasarım yöntemidir. Tablo 3.1.'de bu bakış açısı, teknoloji ve biyolojiyi birleştirerek enerji üretiminde, çevre korumada ve ekonomik-ekolojik programlarda yeni yeniliklere olanak sağlamıştır (Kelly, 1994).

Tablo 3.1. Sürdürülebilirlik hedefleri ve binanın bölümleri

Genel sürdürülebilirlik hedefleri	Sürdürülebilirlik alt hedefleri	Hedefe erişim yöntemi	Sürdürülebilirlik hedefine ulaşmak için binanın bazı kısımları doğaya göre modellenilebilir
kaynak tasarrufu	Enerji tasarrufu	Pasif ısıtma ve soğutma	Binanın kabuğu ve binanın çevre ve iç şartlarına dikkat edilmesi
		Alternatif enerji kaynaklarının kullanımı	Bina kabuğu ve çevresel koşullara dikkat edilmesi
		Düşük kurumsal enerjiye sahip malzemelerin kullanılması	Yapı malzemeleri
		Düşük tüketimli cihazların ekipmanla birlikte kullanılması	Yapı ekipmanı
		Isıyı emmekten veya kaybetmekten kaçınma	İzolasyon ve bina kabuğu
	Su tasarrufu	Düşük yoğunluklu duşlar ve emmeli tuvaletler kullanarak veya sifonlar için düşük hacimli tanklar kullanarak tüketim miktarını azaltmak için zamanlayıcı.	Bina ekipmanları ve tesisleri
		Yağmur suyu toplama ve atık su veya gri su toplama yoluyla yeniden kullanım	Bina ekipmanları ve tesisleri
	Malzeme tasarrufu	Geri dönüştürülmüş veya geri dönüştürülebilir malzemelerin kullanımı	Yapı malzemeleri
		Mevcut yapıların restorasyonu ve geleneksel olmayan inşaat malzemelerinin (dayanıklı ve daha az bakım gerektiren malzemelerin kullanılması) yanı sıra yenilenebilir kaynaklardan elde edilen malzemelerin kullanımı yoluyla malzeme ve binalarda verimliliğin artırılması.	Yapı malzemeleri
İnşaat öncesi aşamada yaşam döngüsüne dayalı tasarım		Yenilenebilir kaynaklardan elde edilen, çevreye zarar vermeden elde edilen, geri dönüştürülebilir, dayanıklı ve daha az bakım gerektiren malzemelerin kullanımı.	Yapı malzemeleri
İnsan tasarımı	İnsan konforu için tasarım	Termal, görsel, işitsel konfor sağlar	Binanın kabuğu ve binanın çevre ve iç şartlarına dikkat edilmesi
		Dış ortamla görsel iletişimin sağlanması	bina kabuğu
		Ayarlanabilir pencerelerin sağlanması	bina kabuğu
		Temiz ve taze hava sağlanması	Bina kabuğu ve çevresel koşullara dikkat edilmesi
		Toksik olmayan ve gaz üretmeyen malzemelerin kullanılması	Yapı malzemeleri

Biyonik mimarinin amacı, sürdürülebilir mimari ve doğayla uyum ilkeleriyle geleneksel bir mimariye ulaşmaktır. Binaya ruh kazandırmak biyonik mimarinin eğilimlerinden biridir. Yani biyonik mimarinin amacı binanın canlı olmasını sağlamaktır (Khoja ve Waheeb, 2020). Tüm canlılar arasında insanlar, akıllı tasarım konusunda doğuştan gelen kapasiteye en az sahip olan tür gibi görünüyor. Doğada bir şekilde inşa edilen tüm canlılar, içgüdüsel olarak büyük bir hassasiyetle ve çok daha geniş bir

konum aralığını içeren bu gezegenin sistemlerini anlayarak inşa ederler (Hagan, 2007). Doğanın çeşitli formlarını yaratmasında temel ilkeleri vardır; bunlar arasında aşağıdakiler sayılabilir:

- Malzemelerin optimum kullanımı
- Gösterilen alanın hacmini maksimuma çıkarmak
- Yapının en yüksek mukavemet-ağırlık oranını oluşturmak
- Gerilme ve gerinimin yapı verimliliğinin temeli olarak kullanılması
- Dışarıdan enerji kullanımına ihtiyaç duymadan, iyi yalıtımlı ve konforlu, enerji verimli ortamlar yaratmak
- Dolaşımı iyileştirmeye dayalı formlar oluşturmak
- Yerel malzeme kullanımı
- Toksik ve zararlı maddelerin üretilmemesi(Kasmaei ve ark., 2011).

Doğal yaratımların mimaride yenilik amacıyla kullanılmasının ilk örneklerinden birini 19. yüzyılın ikinci yarısının başında görüyoruz. 1846 yılında İngiliz uzmanlar ilk kez Avrupa'da çapı iki metreye ulaşan bir tür dev nilüfer yetiştirmeyi başardılar. Yirmi yıl önce bilgisayarların gücünün artmasıyla birlikte Lin gibi mimarlar mimari tasarıma yeni boyutlar kazandırma olanağını buldular. Bu mimarların araçları, yalnızca 3 boyutlu tasarımı sıfırdan mümkün kılmakla kalmayıp, aynı zamanda karmaşık matematiksel modellerin, geometrik olmayan formların hesaplanmasına ve canlı süreçlerin simülasyonuna da olanak tanıyan yeni bilgisayar sistemleridir. Elbette son yirmi yılda çok sayıda projede tasarım sistemlerinin ve karmaşık hesaplamaların araçsal olarak kullanıldığını gördük. Frank Gehry'nin Guggenheim Müzesi (1991) gibi projeler, ilk kil modelin inşa edilmesinden sonra tamamen 3 boyutlu bilgisayar sanal dünyasında tasarlandı (Andishi, 2005). Elbette Geçmişte İran mimarisindeki sürdürülebilir desen örnekleri bile, günümüz mimarisinde sürdürülebilirlik tartışmalarına rağmen, pratikte tüm bu ilkeler seleflerimiz tarafından kullanıldı. Aşağıda kullanılan kalıplardan bazıları tanıtılmakta ve açıklanmaktadır (Shad ve ark., 2017).

- Sizan: Soğuk dağ iklimindeki geleneksel evler genellikle kısa çatılı bir bodrum katına sahiptir ve yaz aylarında havanın nispeten serin olması nedeniyle insanların ikamet ettiği kışlık kesimdedir. Sardsir bölgelerinin çoğu şehirde zeminin bir ila bir buçuk metre altına inşa edilen bu bodrum katına Sizan adı verilmektedir ve bu,

ısıyı içeride tutar çünkü etrafındaki toprak bir ısı yalıtkanı gibi davranarak çevreyle ısı alışverişini engeller.

- Hozekhaneh (Havuz evi): İran'ın sıcak ve kurak bölgelerinde ortalama iç sıcaklığı düşürmek ve nemi sağlamak gerekiyor. Bu amaca ulaşmak için hava sıcaklığının çok yüksek olduğu zamanlarda Havuz evi kullandılar.
- Gudal Baghche (bahçe çukurları): Sıcak, kuru ve soğuk dağlık iklimlerde yaşam seviyesi zeminin ve ara sokakların doğal seviyesinden daha düşük olduğundan iç ve dış arasındaki ısı alışverişi azalır ve sıcaklık dalgalanmaları daha az olduğu için bu bahçelere bahçe çukurları adı verildi.

3.1. Yeşil Mimari

Son yıllarda insanların doğal kaynakları kullanma ve kullanma konusundaki gelişigüzel faaliyetleri bu ekosistemin dengesini bozmuş ve toprak, insan sağlığı, malzeme, enerji, su gibi çeşitli alanlarda çevre sorunlarına neden olmuştur. Dolayısıyla konut inşaatı sürdürülebilir bir trende sahip değilse, bu tür sorunlarla baş etmek için gerekli olan sürdürülebilir kalkınmayı hiçbir toplum sağlayamaz ve ayrıca inşaatla mevcut durumda çevre koruma faktörü diğer ekonomik ve sosyal faktörlere göre çok daha az önem taşımaktadır. Böyle bir durumda yeşil mimari, sürdürülebilir kalkınma teorisine ulaşmak için çevrenin korunmasına daha fazla vurgu yapmanın bir yoludur. Geleceğin ihtiyaçlarına saygı duymak, teknoloji kavramına yeni bir kavram kazandıran bir format olabilir, bugün her zamankinden daha fazla ihtiyaç duyduğumuz şey, modern bilgi ve teknolojilerin uygulanmasıyla çevreye olumsuz ve yıkıcı etkileri azaltılan bina tasarımı konusudur ve sakinlerinin ihtiyaçlarını ideal şekilde karşılamasını sağlıyor.

Kentlerin genişlemesi ve insan yapısı alanların doğal alanlara giderek daha fazla nüfuz etmesi nedeniyle ortaya çıkan çevresel, sosyal ve kimlik sorunlarının ardından, yeşil alanlar yalnızca kitlelere yönelik bir yeşil alan değil, aynı zamanda vatandaşların yaşamlarını iyileştirecek bir faktör olarak karşımıza çıkıyor. 20. yüzyılın ikinci yarısında doğaya ve insan doğasına dönüş, sanayi devrimi ve modern hareketin sonucu olan çevre ve insan krizlerine bir yanıttır ve iki temel felsefi ve bilimsel yaklaşımın birleşiminden oluşmuştur (Heidegger, 1971). Gökdelenlerin çevreyi tehdit eden tehlikesi hava kirliliğinden çok daha tehlikelidir. Bu sorunu önlemek için yeşil mimariyi öneriyorlar. Nüfus artışı ile ihtiyaç duyulan alan arasında denge oluşturmak amacıyla

yapılan gökdelenler ve diğer üst yapılar, inşaat aşamalarında ve sonrasında günlük yaşamda önemli miktarda enerji tüketerek çevre kirliliğine ve kanalizasyon taşmasına neden olmaktadır ve sonuçta sakinlerini doğal ışıktan ve havadan mahrum bırakıyorlar.

Son zamanlarda şifalı bahçeler olarak bilinen doğal ortamlarda yaşamı seven bir canlı olarak doğanın insanın fiziksel ve ruhsal sağlığındaki rolü gündeme gelmiştir. İlk kez tıp merkezlerinin tasarımına yönelik çalışmalarda ortaya atılan doğayı iyileştirme düşüncesi daha sonra diğer kolektif ve bireysel alanlarda da dikkate alınmaya başlandı. İnsan ve onun yaşam tarzı doğayla ortaklık ve etkileşim içindedir. Başka bir deyişle, doğayla ortak yaşam ve iki yönlü bağlantı içinde insan yaşam tarzı ve diğer yaklaşımlar sürdürülebilir ve yeşil bir sistem yaratabilir (Shad ve ark., 2017). Yeşil mimari sürdürülebilir mimarinin dallarından biridir. Ana fikri sağlıklı bir yaşam için çabalamaktır. Bu yöntem, bina sakinlerinin konforunu sağlarken, binanın çevreye olan olumsuz etkilerini de azaltıyor. Yeşil mimari, hem insanın hem de çevresindeki doğal çevrenin uyumlu bir şekilde ilerleyebileceğini kanıtladı. Bu şekilde yeşil mimari, insan yaşamı ile çevre arasındaki olası uyumun güzel bir örneği olabilir. Günümüzün endüstriyel dünyasında binaların kirlетici maddelerin üretimine ve enerji tüketimine özel bir katkısı vardır. Gezegenin doğal kaynakları sürdürülebilir değildir ve sürekli çıkarılmaları nedeniyle insanlık çok uzak olmayan bir gelecekte enerji kaynaklarının eksikliğiyle karşı karşıya kalacaktır. Enerji eksikliği çok önemli bir konudur ve insanların yeşil binalarda yaşama eğiliminin temel nedenidir. Bu tür binalar çevre ve insanlar üzerindeki olumsuz etkileri kontrol eder ve azaltır.

Yeşil bina tasarımı, arazinin, suyun, malzemelerin ve enerjinin optimum kullanımı ve kaynakların verimli yönetimi üzerine yapılan çalışmadır. Bina yaşam döngüsü inşaat öncesi aşamayla başlar. İnşaat aşaması inşaat sonrası yıkıma kadar olan aşamalarla devam eder ve genel olarak yapılır. Biyolojik yapı tasarımı, doğal koşulların korunmasını, insan konforunu garanti altına almayı, kent ve çevre planlamasını içermektedir (SUR, 2020). Günümüzde bazı mimarlar, binaların görünüşünü güzelleştirmektense doğayı taklit etmenin daha faydalı olacağına inanıyor. Bu nedenle doğadaki yapısal kuralları kopyalamaya çalışırlar. Örneğin yaşam ortamını soğutmak, enerji üretmek ve hatta deniz suyunu tatlandırmak için doğal desenleri kullanıyorlar. Doğayı temel alan desenler kullanmanın ve çevreyi modellemenin sadece bir slogan

değil, insan hayatı için önemli bir konu ve ekonomik olarak sürdürülebilir olduğunu vurguluyorlar (Khoja ve Waheeb, 2020).

ABD Çevre Koruma Ajansı yeşil binayı şu şekilde tanımlıyor: "Binaların kalitesini ve konumunu artırmak için su, enerji ve malzemeleri kullanan bir süreç ve bir binanın tüm yaşam döngüsünün daha iyi konumlandırılması, tasarımı, inşası, uygulanması ve bakımı yoluyla binaların insan sağlığı ve çevre üzerindeki olumsuz etkilerini azaltır". Dolayısıyla yeşil bina çevreye zarar vermediği gibi ekosisteme de olumlu katkı sağlıyor ve hatta zararlı peyzaj etkilerinin giderilmesine de yardımcı olabiliyor. Çevre Koruma Ajansı yeşil binayı şu şekilde tanımlıyor:

- Enerji kullanımını en aza indiren entegre bir tasarım stratejisi kullanmak
- Bölgenin iklim özelliklerine dikkat edilmesi
- Maksimum gün ışığını kullanın
- Yüksek derecede iç hava kalitesi sağlamak
- Termal rahatlık
- su tasarrufu
- Malzemelerin yeniden kullanılması ve geri dönüştürülmüş içeriğe sahip malzemelerin kullanılması

- Sitedeki tutarsızlıkların en aza indirilmesi
- Genel olarak sakinlere bir düzeyde konfor sağlar (Donovan, 2019).

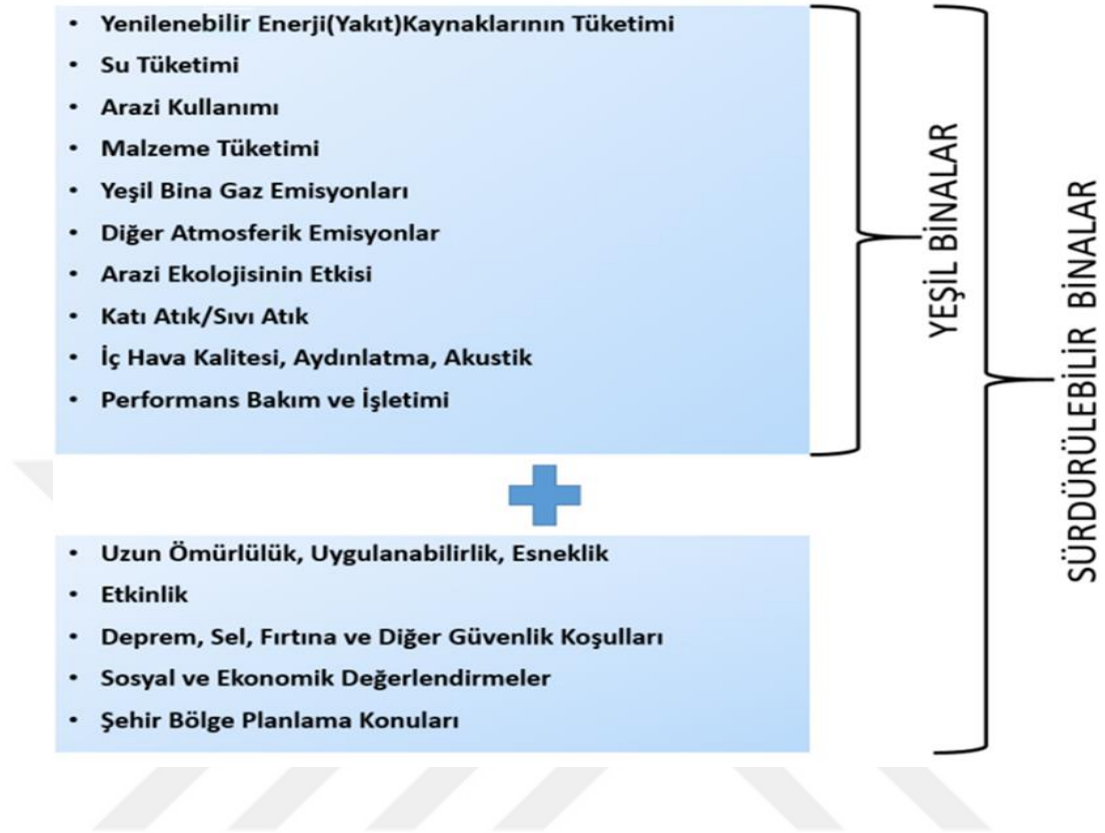
Tablo 3.2.'de evlerimizin nasıl tasarlanacağı ve malzemelerinin nasıl seçileceği binalarımızın geleceğini etkileyen konularındandır. Yeşil mimari son yıllarda önemli bir başarı elde etti ve yeni yapısal tekniklerin geliştirilmesi ve yeşil mimari düşüncesine uygun malzemelerin satışı da yer alıyor. Yeşil mimari dört prensibe dayanmaktadır:

- Su ve rüzgar enerjisi ile diğer doğal kaynakların korunması
- Çevre sağlığının korunması
- Ekonomik gelişme
- Vatandaşlara yüksek bir yaşam kalitesi sağlamak(Kasmaei ve ark., 2011).

Bu ilkeler, sürdürülebilir mimarideki üç etkili ve yapısal faktörün bir alt kümesidir:

- Coğrafya
- Kültür
- Yerel mimari (Kasmaei ve ark., 2011).

Tablo 3.2. Yeşil bina tasarım konuları ve tasarımın sürdürülebilirlik işlevleri



Ken Young, sürdürülebilir mimari ve yeşil mimari ilkelerini yüksek binalarda uygulamaya çalışan en ünlü mimar ve teorisyenlerden biridir ve tasarımlarından çok azı hayata geçirilmiş olsa da fikirleri yüksek bina tasarımcılarına yeni ufuklar açtı (Shahroudi ve ark., 2007):

- Binanın yönü: arazi ve iklim koşullarına dikkat etmek
- Sokakla iletişim: Çevreyle iletişim, yeşil mimari ilkelerinin bir parçası olup, dış mekanla maksimum iletişim, bina ile aynı seviyede gerçekleştiğinden, bu seviye ve binanın sokakla bağlantı şekli site çok önemli kabul ediliyor
- Geçiş mahalleri: Ara mahaller, bu mahaller tamamen kapatılmamalı ancak çevre koşulları kontrol altına alınabilmelidir
- Planın düzenlenmesi: Young'a göre plan sadece ekonomik veya teknik özelliklerden etkilenmemelidir. Daha ziyade plan tasarımında insanların o mekanları nasıl kullandıklarına dikkat edilmeli, mekanda yaşamın akış yönüne göre plan tasarlanmalıdır
- Hizmet bölümlerinin yerleştirilmesi: Çünkü hizmet sektörünün konumu, tesislerin fiyatı veya yapının şekli ve bina mimarisinin oluşma şekli, binanın manzarası

ve sirkülasyonu üzerinde etkilidir. Bu nedenle Ken Young, bu bölümlerin iklim koşulları uygun olmayan iki yanal kabuk (doğu ve batı) içerisine yerleştirilmesini önermektedir

➤ Çevrenin aktif parçaları olarak duvarlar: Young, bina kabuğuna, binanın değişmesine ve dış mekana ve koşullara uyum sağlamasına olanak tanıyan parçalar olarak bakıyor ve bu duvarların, binanın dışarıyla nasıl iletişim kuracağını belirleyen en önemli yapı bileşenlerinden biri olduğuna inanıyor

➤ Açıklıklar: İçerideki ve dışarıdaki değişken iletişim yolları, binanın çevre koşullarına uyumunu arttırmalı ve kontrol etmelidir

➤ Uygun kanopiler tasarlamak: ışığın ve dolayısıyla güneşten gelen ısıнын ayarlanmasına yardımcı olmak

➤ Teraslar veya yarı açık alanlar: Bu alanlar binayı radyasyondan, yağmurdan vb. korumak, aynı zamanda havalandırma akışına yardımcı olmak ve aynı zamanda yaşanabilir alanlar yaratmak için bir fırsat olarak görülebilir

➤ Yalıtım ve enerji depolama: Yeşil mimarinin amaçlarından biri olan yakıt tüketimini azaltmak ve çevre kirliliğini azaltmak

Yeşil mimariye yönelik uygulama yöntemleri şu şekilde adlandırılabilir:

➤ Eski binaların restorasyonu, çünkü mevcut binaların restorasyonu en biyolojik yapıdır

➤ Binalar bitki ve doğadan maksimum faydalanacak şekilde değiştirilmeli.

➤ Binaların güneşe ve çevreye göre yönlendirilmesi

➤ İç mekan, oda ve kapı ve pencerelerinin doğasına, binaların boyutlarına ve yüzlerine, çevresel bileşenlere uygun düzenleme

➤ Binanın rengi, cephesi, dekorasyonunun çevreye uyumlu olması

➤ Konut ve ticari mekanların daha verimli enerjiyle inşa edilmesi, konforun, yaşanabilirliğin ve verimliliğin artırılması, dayanıklılığın, kalitenin ve sürdürülebilirliğin artırılması

➤ İç ortamın kararlılığı

➤ Çevrenin korunmasına yardımcı olmak amacıyla insanların rolünü oynamak için yeşil yapı malzemeleri alanını seçmek

➤ Enerji depolama tankı ile birlikte güneş panellerinin kullanılması

➤ Bina genelinde pencere kullanımı

➤ Binayı çevre ile dengede tutmak ve iklime uyumlu bir bina yapmak için her bölgenin yerel unsurlarını kullanmanın yollarını bulmak (Shad ve diğ., 2017).

Mousavinejad (2009)'nin yaptığı çalışmada yeşil mimarinin aşağıdaki gibi avantajlara sahip olduğunu düşünmektedir:

- Sakinlerin ihtiyaçlarının karşılanması ve memnuniyeti ve canlılığı
- Onaylanmış sürdürülebilir mimari tasarım çözümlerinin dikkate alınarak kullanılması
- İnşaatta toksik olmayan malzemelerin kullanılması
- Sürdürülebilir doğal malzemelerden elde edilen malzemelerin kullanımı
- Gün ışığı sağlamak için güneşe güvenmek
- Bitkilerden yararlanılarak insanların moralinin yükseltilmesi.

Yeşil bina olarak tasarlanan yapılar CO2 emisyonlarında %33 ila 39, enerji tüketiminde %24 ila 50, su tüketiminde %30 ila 50 ve atıklardan %70 arasında tasarruf sağlıyor. Öte yandan bakım maliyetlerinde geleneksel inşaat yöntemleriyle inşa edilenlere göre %13 oranında azalma sağlanabiliyor. Amerikan Yeşil Bina Konseyi'nin yayınladığı raporda, yeşil bir binanın 350-ton CO2 sera gazı emisyonunu önlediği ve yaklaşık %32 daha az elektrik tükettiği tespit edildi (Erten, 2010).

Torcellini ve ark. (2006)'nin çalışmalarında yeşil bina uygulamalarına baktığımızda iki tür yeşil bina karşımıza çıkıyor:

- sıfır enerjili bina (net sıfır enerjili bina): Sıfır enerjili bina daha hedefli bir idealdir ve kendi ihtiyaçlarını karşılayan, karbon nötr olan ve yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan bir bina konseptidir.
- Yüksek performanslı bina: Yüksek performanslı binalarda fosil yakıt kullanımı minimum düzeyde olup, yenilenebilir kaynaklardan maksimum verimle faydalanılması hedeflenmektedir. Kullanıcısına konfor ve yüksek kazanç sağlayan, başarılı uygulamalara sahip bir yapı hedeflenmektedir.

Herhangi bir yeşil mimarinin temeli rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, jeotermal enerji vb. enerjinin verimli kullanılmasıdır. Bu o kadar önemli ki, son yıllardaki bazı yeşil mimari örnekleri, ihtiyaç duydukları enerjinin neredeyse %100'ünü bu yöntemlerle üretmeyi başardı.

Kasmaei ve ark. (2011)'nin çalışmalarında Yeşil mimari şu kelimeleri gerektiren bir kavramdır: sürdürülebilirlik, ekoloji ve uygulama. Alt kelimeler arasında güçlü bir

ilişki olmasına rağmen her kategori bağımsızdır ve birbirine benzersizdir. Örneğin bir bina sürdürülebilir olabilir ancak çevre dostu olmayabilir, ancak çevre dostu bir bina sürdürülebilirlik ve çevresel uyumluluğun bir kombinasyonu olmalıdır. Binanın yeşillik düzeyi bu üç kategori arasındaki ilişki düzeyine göre belirlenmelidir: Yeşil mimari veya yeşil tasarım, insan sağlığı ve çevre üzerindeki zararlı etkileri en aza indiren tasarım ve inşaat yaklaşımıdır.

➤ Yeşil bir mimar veya tasarımcı, inşaat malzemeleri ve yöntemleriyle çevre dostu yapılar seçer.

➤ Yeşil mimari havayı, suyu ve toprağı korumaya çalışır.

Sürdürülebilir binaların ve yeşil binaların tanımlarıyla tutarlı olabilmesi için bu binaların etkinliğini ortaya koyan standartlar dikkate alınmıştır. Sürdürülebilir binanın tanımını ortaya koyan standartların belirlenmesi ve bu standartlara uygunluğun ölçülmesi esastır. Değerlendirme sistemleri ile binalar standart değerlendirme ve ölçüme tabi tutularak sürdürülebilirlik düzeyleri ortaya çıkarılmaktadır. Çevresel koşullar her bölgede değişebileceğinden sürdürülebilir binaların yapıldığı ve kullanıldığı bölgenin koşullarına göre değerlendirilmesi gerekmektedir.

Ülkeler ekonomik durumlarını ve yasal ihtiyaçlarını dikkate alarak yerel yeşil (sürdürülebilir) bina değerlendirme sistemleri geliştirmişlerdir. Sonuç olarak, Green Globes, CASBEE, GBTool, CEEQUAL ve LEED'in dünya çapında kabul gören ve yaygın olan değerlendirme sistemi araçları olduğu 34'ten fazla değerlendirme sistemi bulunmaktadır. "BREEAM (BRE Çevresel Değerlendirme Sistemi)" ve "LEED (Enerji ve Çevresel Tasarımda Liderlik)" sertifikaları en yaygın olarak yeşil ve akıllı binalarda kullanılmakta ve aslında akıllı binalar için ilk kriter olarak kabul edilmektedir. Ölçümler ve değerlendirmeler sayesinde enerji verimliliği ve sürdürülebilirliğe ulaşmak birçok ülke için kolaylaştı (SUR, 2020).

LEED uluslararası alanda yeşil binalara yönelik bir sertifikadır ve LEED sertifikası 1998 yılında USGBC tarafından geliştirilmiştir. Bu sertifika, bir binanın veya kompleksin bu şekilde tasarlandığını ve inşa edildiğini doğrulayan üçüncü bölümdür ve binanın performansını aşağıdaki gibi tüm önemli kriter ve standartlara göre iyileştirmeyi amaçlayan stratejilerden (Council, 2003):

➤ enerji depolama

➤ uygun su verimliliği

- karbondioksit gazı emisyonlarının azaltılması
- iç ortamların kalitesinin iyileştirilmesi
- kaynakların ve bunların tüketimine yönelik hassasiyetin izlenmesi

LEED, sürdürülebilirlik, toprak, su verimliliği, enerji, hava, malzeme, kaynaklar, iç ve çevre kalitesi, inovasyon kategorilerinde tasarlandı ve belirlendi. Sertifika seviyeleri, puanların bir kategoride toplanmasıyla elde edilir. LEED seviyeleri dört gruba ayrılır: Sertifika (40-49 puan), Gümüş (50-59 puan), Altın (60-79 puan) ve Platin (80 ve üzeri). (U. G. B. Council, 2003) LEED'in binalardaki hedefleri şunlardır (Eichholtz ve ark., 2010):

- İnşaat maliyetlerinin azaltılması ve sermaye değerinin artırılması
- Düzenli depolama sahasına gönderilen atık malzemelerin azaltılması
- Su enerjisinin korunması
- Konut sakinleri için daha sağlıklı ve daha güvenli bir ortam yaratmak
- Zararlı sera gazı emisyonlarının azaltılması
- Mülk sahiplerinin topluma karşı sorumlu olma ve çevreyi izleme taahhüdü
- Ortak ölçüm standartlarının yayınlanmasıyla yeşil binanın tanımı
- Endüstriyel binaların yönetimi ve çevresel izlenmesi
- Yeşil tasarımda rekabet yaratmak
- Yeşil binaların yararları konusunda insanların ve yetkililerin farkındalığının artırılması.

DGNB gibi standartlar yeşil bina sisteminin ikinci nesline ait olup, bu sistem birinci nesil yeşil bina standartlarının üstesinden gelmekte ve ekolojik, ekonomik ve sosyal boyutların sürdürülebilirliğini vurgulayan kısıtlamalar gibi ekolojik teknoloji faktörlerini ön plana çıkarmaktadır. DGNB değerlendirme sistemi, yeşil binaların ekonomik kalitesine ve çevresel kalitesine odaklanan tek sertifikasyon sistemidir. DGNB sistemi altı ana bina niteliğini içerir:

- Çevresel kalite
- Ekonomik kalite
- Sosyo-kültürel ve fonksiyonel kalite
- Teknik kalite
- Süreç kalitesi

➤ Sitenin kalitesi

İnşaat projelerinin puanlarına göre binalar platin, altın, gümüş ve bronz olmak üzere dört seviyeye ayrılıyor (Li ve ark., 2023). Çin İnşaat Bakanlığı 2006 yılında Yeşil Bina Değerlendirme Standardını (CAS GB) yayınladı ve bu sertifika 2019 yılında güncellenerek yenilenmiştir. Düşük karbonlu binalara ilişkin değerlendirme indeks sisteminin beş göstergeden oluşması gerektiği açıktır:

- Güvenlik ve dayanıklılık
- Sağlık ve konfor
- Yaşam kolaylığı
- Kaynak tasarrufu
- yaşanabilir çevre

Tablo 3.3.'te farklı ülkelerin düşük karbon sertifikasyonlarını görüyoruz.

Tablo 3.3. Farklı ülkelerin düşük karbon sertifikasyonları

Ülkeler	Değerlendirme Standardı	Değerlendirme İçeriği
Amerika Birleşik Devletleri	LEED™	Sürdürülebilir Siteler, Su Verimliliği, Enerji ve Atmosfer, Malzemeler ve Kaynaklar, İç Mekan Çevre Kalitesi, İnovasyon & Tasarım aşaması
Almanya	DNGB	Çevresel Kalite, Ekonomik Kalite, Sosyokültürel ve Fonksiyonel Kalite, Teknik Kalite, Süreç Kalitesi, Saha Kalitesi
Kanada	GBTool	Çevresel Sürdürülebilirlik Göstergeleri, Kaynak Tüketimi, Çevresel Yük, İç Hava Kalitesi, Sürdürülebilirlik, Ekonomi, İşletme Yönetimi.
Avustralya	Green Star	Yönetim, İç Ortam, Enerji, Ulaşım, Su, Malzeme Tasarrufu, Arazi Kullanımı ve Ekoloji, Emisyonlar, Yenilik.
Çin	CASGB	Güvenlik ve Dayanıklılık, Sağlık ve Konfor, Yaşam Kolaylığı, Kaynak Tasarrufu ve Yaşanabilir Çevre.
Fransa	HQE	Eko-inşaat hedefi, Eko-yönetim hedefi, Konfor hedefi, Sağlık hedefi.

3.1.1. Yeşil çatı

Yeşil çatı, kısmen veya tamamen bitki örtüsü ve toprakla veya yetiştirme ortamıyla kaplanmış bir çatıdır. Prefabrik katman sistemlerinden oluşan modern yeşil çatılar neredeyse yeni bir olgudur. Yeşil çatılar, üzeri yeşil alanlar, çimler, canlı yosunlar ve her türlü bitki ile kaplı çatılardır ve bu tip çatılar için elbette özel detaylara ihtiyaç vardır. Bu olgunun bilimsel anlamda büyümesi ilk olarak 19. yüzyılda Kanada ve Amerika Birleşik Devletleri'nde yeşil çatıların inşa edilmesiyle genişledi. Yeşil mimari fikrinin ana sahipleri olan Le Corbusier, Frank Lloyd Wright ve Roberto Beverley Max gibi modernist mimarlar, çatı bahçelerinin faydalarını öne çıkararak New York'taki ünlü Rack Mills ve Darry ile Tom Londra'nın bahçesinde gibi modern yeşil çatılar inşa etmeye başladılar. Bu tip çatılar 1960'lı yıllarda Almanya'da geliştirilmiş ve birçok Avrupa ülkesine yayılmıştır (EcoSchemes, 2003).

İran'da yeşil mimari geçmişte ve yeşil mimarinin önemi yaygınlaşmadan önce de tartışılmıştır, dolayısıyla tarihi Masuleh şehri, yeşil mimari inşa etme konusunda yerel mimari deneyimlerin en başarılı örneklerinden biri olarak değerlendirilebilir ve bu tarihi kent mimari tasarıma ve ekolojik kent dokusuna sahiptir. Bunun nedeni şunlar olabilir (Shad ve ark., 2017):

- Vatandaşlara içme suyu sağlamak için doğal su kaynakları gibi doğal kaynakları kullanmak
- Yağmur suyunu uzaklaştırmak için hafif eğimli eğimli çatı tasarımı
- Soğuk mevsimlerde soğuğa karşı ısı yalıtımı
- Yağmur nüfuzunu önlemek için su yalıtımı
- Bu tarihi bölgenin yapısal mimarisinde ahşap, kil, doğal taşlar vb. gibi yerel malzemelerin kullanımı konuyla ilgilidir.

Dünyanın en büyük merkezlerinde bu olgu birçok büyük şehirde yasal bir zorunluluk haline geldi. Bu kanunlarla birlikte yeşil alana önem vermek amacıyla yerel yönetimler tarafından uygulanan ve genellikle ilgili maliyetlerin %50'sinin karşılandığı bir mali yardım sistemi bulunmaktadır. Elbette bu planın yaygın kabul görmesinin temel motivasyonu, endüstriyel gelişmenin bir sonucu olarak yeşil alan zorunluluğunu zorunlu kılan hükümet yasalarıydı. Kuzey Amerika'da bir dizi belediye yetkilisi büyük ölçekte yeşil çatılar geliştirmeye başladı. Chicago'nun büyük bir yeşil çatı programı var. şehri Amerika'nın en yeşil şehri haline getirme stratejisinin uygulanmasında lider olan

belediye binasının çatısında yeşil alan oluşturulması da dahil ve Yeşil alan oluşturma'nın amacı, şehrin geçmişteki tamamen sanayi halindeki koşullarını, yeni yatırımların cazibesine yol açacak, üstün teknolojiye sahip bir geleceğe dönüştürmektir (Shad ve ark., 2017).

Şekil 3.2.'de gibi bazı büyük kentlerin köşelerinde teknik esaslara uyulmaması nedeniyle bu konuda az sayıda önlem alınsa da bu önlemler tam anlamıyla başarıya ulaşamadı ve bazı durumlarda ise uygun olmayan yöntemlerin seçilmesi nedeniyle binanın görünümünün çevre ortamla homojen olmamasına neden olmuş, bazı durumlarda ise binanın zarar görmesine neden olmuştur.



Şekil 3.2. Yeşil çatılı tarihi Masuleh köyü

Bu nedenle, yüksekte bitki dikimi için uygun alanların inşasına yönelik özel teknik ve mühendislik ihtiyaçları göz önünde bulundurularak aşağıdaki hususlar dikkate alınmakta ve araştırılmaktadır (Eichholtz ve ark., 2010):

- Her binanın cephesine ve çatısına yansıtılan güzelliğin bütünlüğünü ve bağımsız kimliğini korumak
- Proje uygulama alanında yüzey suyunun hızlı bir şekilde uzaklaştırılmasına ve tamamen drenaja önem verilmesi

- Uzun süre hafif ortamlar ve bahçeler oluşturmak
- İklim koşullarına, rüzgara, güneş ışığına ve gölgeye uyumluluk
- Optimum sulama
- Döşeme, mobilya ve tasarım öğelerinde (bitkiler ve su vb. dahil)

malzeme seçimi için uygun teknik kriterlerin sağlanması

- Kullanıcıların güvenliğini ve konforunu sağlamak
- Bakım yönetimi

Eichholtz ve ark. (2010) yaptıkları çalışmada, yeşil çatı oluşturma'nın faydaları şunlardır:

- Çatı kabuğunun korunması: Yeşil çatı, ultraviyole ışınlarla ve ardından termal dalgalanmaların neden olduğu genleşme ve büzölmeye karşı koruma sağlayarak çatı kabuğunun ömrünü uzatabilir. Geçmişte çatıların her 15 ila 20 yılda bir değiştirilmesi gerekiyordu, ancak Almanya'daki bazı yeşil çatılar herhangi bir değişikliğe ihtiyaç duymadan 40 yıla kadar dayanabildi.

- Ses yalıtımı: Toprak ve bitkilerle kaplı bir çatı ses yalıtımı sağlayabilir ve binaya giren ve çıkan sesleri 18 dB'e kadar 3 dB veya daha fazla azaltabilir.

- Isı yalıtımı: Yeşil alan, ısı yalıtımı katmanı olarak kabul edilir. Yaz aylarında binaların sıcaklığının artmasını önleyerek soğutma amaçlı elektrik ihtiyacını azaltır ve kış aylarında ise yeşil çatı önemli bir yalıtkan olabilir ve termal enerjiye olan talebi azaltabilir, böylece enerji tasarrufunda önemli bir rol oynayabilir.

- Ekonomik faydalar: Yeşil çatılar ısıtma ve soğutma maliyetlerini azaltır ve evlerdeki mülk değerini artırır.

- Keyifli ve rekreasyon alanı: Yeşil çatılar, şehirlerin kamusal peyzajını ve binaların çevresindeki ortamı iyileştirir ve bina kullanıcıları için güzel ve uyumlu bir yeşil alan sağlar.

- Yağmur suyu kontrolü ve kanalizasyon koruması: Yeşil çatının drenaj tabakası, suyu bünyesinde depolayarak, ani ve şiddetli yağışlarda suyu kendi içinde depolayabilir ve bu suyu uzun süre tutarak toprak tabakasının nemli kalmasını sağlar. Bu sayede yağmur suyunun akışından dolayı su baskını oluşması önlenir. Ayrıca kanalizasyonun su kirliliği açısından ciddi sonuçları vardır. Yeşil bir çatı, 1 inç yağmurun %75'ini yakalar ve aşırı yüklü kanalizasyon sistemlerini sakinleştirir.

➤ Sulama ve çok fazla bakım gerektirmez: Yeşil çatı sistemi, alt katmanın izolasyon, drenaj ve bitki köklerinin çatıya nüfuz etmesine engel olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu sayede bahçe yazın sulama yapılmadan 1 aya kadar taze ve ferah kalabilir, bakım periyodu ise ayda 2 defaya kadar çıkabilmektedir. Çatı bahçelerinde kullanılan bitkilerin kuraklığa dayanıklı olması, az bakım gerektirmesi ve değişen koşullara uyum sağlama ve toparlanma yeteneğine sahip olması gerekir.

➤ Şehirlerdeki ısı adalarının etkilerinin azaltılması: Isı adası etkisi terimi, şehir ile banliyöleri arasındaki sıcaklık farkını ifade etmekte ve bu fark 10 santigrat dereceye kadar çıkabilmektedir. Yeşil çatı, şehir manzarasına eklenen bitki örtüsünün artmasıyla ısı adası etkisini ortadan kaldırıyor. Bitkiler doğal buharlaşma ve terleme döngüsü yoluyla çevrelerini soğuturlar.

➤ Yenilebilir bitkilerin yetiştirilmesi: İyi tasarlanmış bir yeşil çatı, geleneksel bir bahçede ortak bitki ve sebzelere sahip olabilir.

➤ Hava kalitesinin iyileştirilmesi: Yeşil çatı, karbondioksiti emip oksijen üreterek havayı temizler. 5,1 metrekarelik yeşil alan yılda bir kişiye yetecek kadar oksijen sağlıyor. Bir metrekarelik yeşil çatı, yılda 0,5 ila 0,2 kg havadaki partikülleri temizleyebilir. Bu sayede daha temiz ve sağlıklı solunacak havaya sahip olacak, akaryakıt ürünlerinin yakılmasından kaynaklanan kirliliğin emilip arındırılmasıyla ozon tabakasının daha fazla tahrip olması da önlenmiş olacak.

➤ Ruh sağlığı: Kentsel çevrenin yeşil alanlarında doğal bir çevrenin oluşturulmasıyla kent sakinlerinin zihinsel rahatlama ve fiziksel sağlığının yaratılmasında önemli bir rol oynamak mümkündür.

4. AKILLI BİNA

İnsanlar çevreleriyle pek çok şekilde etkileşime girerler. Çevre koşullarını algırlar ve buna göre hareket ederler, tepki verirler veya uyum sağlarlar. Eğer çevre bu davranışa karşılık verecek ve insan davranışına cevap verecek şekilde yapılabilirse, bu birçok avantaj sağlayacaktır. Bu tür davranışlar, insanların manuel olarak yapması gereken çeşitli görevleri otomatik olarak gerçekleştirebilir ve ayrıca yeni hizmetler ve olanaklar sağlayabilir (De Silva ve ark., 2012). İnsanın çevreyle olan etkileşimi ve toplumun giderek artan bina ve konut ihtiyacı göz önüne alındığında, yeni yapı sistemleri ve malzemelerinin kullanılmasının gerekliliği aşağıdaki amaçlarla ortaya çıkmaktadır:

- Binanın kalitesini artırmak
- Binanın ömrünü arttırmak
- İnşaat hızını artırmak
- Enerji tüketimini azaltmak
- İnşaat ve bakım maliyetlerini azaltmak

Uzun vadede bu önlemler uygun işletme koşullarının sağlanmasına, inşaatların optimizasyonuna, binaların endüstriyel üretiminin artmasına, konut üretiminin artmasına yol açacaktır.

Gerçek akıllı binaların enerjiyi verimli ve en azından kullanıcının konforundan ödün vermeden kullanabilmesi ve bunu başarabilmesi için de öğrenme, iç ve dış koşullardaki değişiklikleri anlama ve bunlara anında tepki verme yeteneği gibi insani özelliklere sahip olması gerekir (Bayraktar ve ark., 2007). Yukarıdakilere bakıldığında akıllı bina şu şekilde tanımlanabilir. Akıllı bina, konut sakinlerinin davranışlarına yanıt vermesini ve onlara çeşitli olanaklar sunmasını sağlayan, çevresel zekaya ve otomatik kontrole sahip, ev benzeri bir ortamdır (De Silva ve ark., 2012).

Söylenebilecek diğer bir tanım ise akıllı bina, düşünen ve ihtiyaçlarını ölçen, bunları karşılamak için adımlar atan, durumunu kontrol edip anlayan ve sağlık durumunu tahmin ederken, ihtiyaç halinde gerekli onarımları yapan binayı ifade eder (Guerrero ve ark., 2015).

Akıllı bina, doğal ve yapay zeka ile yakından ilişkili olmalıdır. Binanın kendisi ve tüm sistemleri değişen çevre koşullarından haberdar olmalı, ona tepki vermeli, iç ve

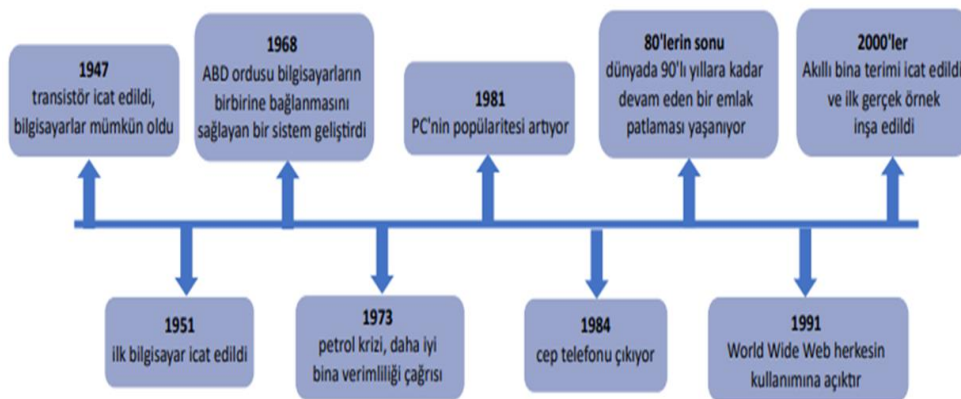
dış koşullar dikkate alınarak tasarlanmalı ve binalar bu koşullara sürekli uyum sağlamalıdır (Wigginton ve Harris, 2013).

Bu durumda gerçekten akıllı bir binanın doğal enerji kaynaklarından faydalanması ve yenilenemeyen enerji kaynaklarından gelen enerji ihtiyacını en aza indirmesi gerekiyor. Zeka, öncelikle pasif güneş mimarisi kavramının tasarımda uygulanmasıyla başlamalıdır. Pasif güneş mimarisi, binanın ısıtma ve aydınlatma ihtiyacını ana enerji kaynağı olan güneş ışığını kullanarak karşılıyor ve bu soğutma ihtiyacının doğal havalandırma teknikleriyle desteklenmesi esasına dayanan bir yaklaşımdır. Pasif güneş mimarisi bir tasarım süreci olsa da pencereler, gölgeleme elemanları ve atriumlar gibi temel yapı elemanları da bu teknolojinin bir parçası olarak düşünülebilir (Bayraktar ve ark., 2007).

Ayrıca akıllı bina kavramı mimari, insan ve çevre arasındaki uyumu, aynı şekilde ileri teknolojilerin kullanımı ile bölgenin yerel özellikleri arasındaki uyumu da hedeflemelidir. Bu bağlamda, yerel akıllı binalar oluşturmak için yerel yapıları çevrelerin uygun yerel özelliklerinin, akıllı yaşam ortamlarının somutlaşmış hali olarak kullanılması ümit vericidir (GhaffarianHoseini ve ark., 2013).

Akıllı binalar için çok çeşitli tanımlar yayınlanmış olup, bunları incelediğimizde zamanın geçmesi ve teknolojinin ilerlemesi ile birlikte uygulanan planların dezavantajlarının da incelenmesiyle tanımların daha doğru hale geldiğini görebiliriz.

Tablo 4.1. ve şekil 4.1.'de akıllı binaların en önemli tanımlarını sunduk. Aşağıdaki tabloda teorisyenlerin ve uzmanların sunduğu akıllı bina tanımlarından sonra, bu konuyu daha iyi anlayabilmek için akıllı bina teorilerinin ortaya çıkışı ve kullanımına yönelik tarihsel süreci incelemek daha doğru olacaktır.



Şekil 4.1. Akıllı bina tarihindeki ana olayların zaman çizelgesi

Tablo 4.1. Akıllı binaların en önemli tanımlarını

Farklı açılardan akıllı ev tanımları	
Yıl	tanımlar
1992	Farklı hizmetlerin ortak bir iletişim sistemi kullanılarak bir evde entegrasyonu, evin ekonomik, güvenli ve rahat çalışmasını sağlar ve yüksek derecede akıllı ve esnek performansa sahiptir.
2003	Konut sakinlerinin ihtiyaçlarını öngören ve bunlara yanıt veren, evdeki teknoloji yönetimi ve dünya ile iletişim yoluyla konforlarını, güvenliklerini ve eğlencelerini geliştirmeye çalışan bilgi işlem ve bilgi teknolojisi ile donatılmış bir rezidans.
2008	Yaşlanan nüfus ve savunmasız kullanıcılar için uygun fiyatlı evde bakım sağlamayı vaat eden bir ev.
2012	Ortam zekasına ve bina sakinlerinin davranışlarına yanıt vermesine ve onlara çeşitli kolaylıklar sağlamasına izin veren otomatik kontrole sahip ev benzeri bir ortam.
2013	Yüksek teknolojiye sahip ağ, sensörler ve ev cihazları ile uzaktan izlenebilen, erişilebilen veya kontrol edilebilen programlar ve özellikler ile donatılmış ve sakinlerinin ihtiyaçlarına cevap veren hizmetler sunan konut.
2017	Enerji açısından çok verimlidir ve çok düşük enerji gereksinimi büyük ölçüde yerinde veya bölgesel sistemdeki yenilenebilir enerji kaynakları tarafından karşılanır. Akıllı bir bina (i) enerji sistemini stabilize eder ve enerji depolama ve talep yönlü esneklik yoluyla daha hızlı karbondan arındırır (ii) kullanıcılarına ve konut sakinlerine enerji akışını kontrol etme gücü verir. (iii) kullanıcıların ve bina sakinlerinin konfor, sağlık, iç hava kalitesi, güvenlik ve operasyonel gereklilikler açısından ihtiyaçlarını tanıyıp ve bunlara tepki verir.
2018	Konfor ve verimlilik hedeflerine ulaşmak için sakinleri ve çevreleri hakkında bilgi edinebilen ve uygulayabilen akıllı bir ortam.
2018	Bir iletişim ağının, konut sakinlerine ve elektrik sistemine sık ve düzenli hizmetler sağlamak için yolcular ve diğerleri tarafından uzaktan izleme ve kontrol sağlamak üzere sensörleri, cihazları, kontrolleri ve diğer cihazları birbirine bağladığı bir ağ.
2019	Rezidans, kullanıcılara uygun hizmetler sunmak için akıllı teknolojilerle donatılmıştır.

Akıllı bina sistemleri kavramı bir binada teknolojik olarak kontrol edilebilen üç ana bölümden oluşmaktadır (Seçer, 2006):

- 1) Güvenlik
 - Metal dedektörleri ve X ışınları
 - Kullanıcı kimlik kartına ve sisteme erişim
 - Çevresel güvenlik sistemleri
 - Yangın dumanı algılama ve uyarı sistemleri
 - İklim kontrol sistemleri

- Hırsızlık tespit kameraları ve alarm sistemleri
- 2) Sakinlerin rahatlığı
- İklimlendirme sistemleri
- Aydınlatma sistemleri
- İletişim sistemleri
- Ses ve video sistemleri
- 3) Tasarruf (enerji tüketiminde)
- Güneşin kullanımı
- Rüzgar kullanımı
- su tasarrufu
- İç enerji kontrol sistemleri

Akıllı binalar, binaların ve şehirlerin enerji performansının iyileştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Akıllı bir binanın yönetilmesi, akıllı sistem ve bileşenlerin veri modellemesini gerektirir (Doukari ve ark., 2022). Binanın genel yönetimi ve performansı aşağıdakileri içeren altı parametreden etkilenebilir (Uddin ve ark., 2021):

- İklim ve hava durumu
- Binanın kaplaması ve cephesi
- Enerji
- Hizmet sistemleri
- Bina tasarımı, işletme ve bakım koşulları
- Ev sakinlerinin davranışları

Ayrıca, Clements Chrome "akıllı bir binanın, çalışanların refahını artırmak için uygun fiziksel, çevresel ve organizasyonel ortamlarda yenilikçi ve uyarlanabilir teknoloji setleri sağlayan bir bina olarak tanımlanabileceğini" ifade etmektedir (Clements, 2011). Akıllı binaların başarısının en önemli üç faktörü verimlilik, iletişim ve her şeyden önemlisi memnuniyettir. Son zamanlarda, Clements (2011) yaptıkları çalışmada, akıllı bina tasarımının geliştirilmesinin temeli olarak birbiriyle ilişkili beş modül sunmaktadır:

- Modül 1: Konsept, Strateji ve Yönetim: Kavramsal olarak çevresel sistemlere, yönetim yaklaşımlarına ve insanlarla iletişime vurgu yapan çok özellikli bir yaklaşıma dayanmaktadır.

➤ Modül 2: Bina sistemleri, mimari ve insanlar: İnsanlar ve mimari (akıllı binalar) arasındaki uyumluluğun rolünü açıklar.

➤ Modül 3: Bilgi Teknolojileri ve İletişim Sistemleri: Teknoloji uygulamalarının etkilerini kapsamaktadır.

➤ Modül 4: Binalarda Akıllı Tasarım: Akıllı teknolojinin değerlerine odaklanmaktadır.

➤ Modül 5: Finansal Analiz ve Yatırım Değerlendirmesi: Akıllı bina tasarımı geliştirmeleri sırasında ekonomik kaygıların rolünü vurgular.

günümüzün ileri teknolojilerle donatılmış pek çok binası sanıldığı kadar akıllı değil. Bunun nedeni ise ısıtma, soğutma, aydınlatma gibi mekanik sistemlerin bina bittikten sonra tasarlanması ve aslında bir sistem olan bina ile sonradan tasarlanan bu sistemler arasında gerçek anlamda bir entegrasyonun olmamasıdır (Bayraktar ve ark., 2007). Akıllı binaların bir başarı hikayesine dönüşmesi için birçok faydanın eşit derecede tanınması gerekir. Binalar, enerji üretimi, kontrolü, depolanması ve talep yanıtı da dahil olmak üzere enerji sistemi için esneklik sağlamanın yanı sıra elektrikli araçların entegre edilmesi için bir araç sağlama konusunda ön saflarda yer alma potansiyeline sahiptir. Aynı derecede önemli olan akıllı binaların, sakinlerine sağlıklı ve konforlu bir yaşam ve çalışma ortamı sunması gerekiyor. Binanın yüksek performansı, bina bileşenleri ile sakinleri arasındaki dinamik performans ve binaların çevrelerindeki enerji sistemiyle etkileşime girme yeteneği, bir binanın gerçekten akıllı olup olmadığına karar vermek için kriterlere dahil edilmesi gereken bileşenlerdir (De Groote ve ark., 2017). Mikro enerji merkezi, enerjiyi verimli bir şekilde üretebilen, depolayabilen veya tüketebilen bir enerji sistemine esnek bir şekilde bağlanan ve koordine edilen bir bina veya bina grubu olarak düşünülebilir. Bu binalar esnek olabiliyor, ihtiyaçlara uyum sağlayabiliyor ve aynı zamanda enerji sistemini de güçlendirebiliyor (De Groote ve ark., 2016).

Akıllı bir yapı çevre, bina sakinlerine daha iyi iç ortam kalitesi sağlayan dinamik performans gerektirir. Bireysel tercihlere göre binanın teknik yönetim sistemini (farklı otomasyon seviyelerine yönelik seçenekler dahil) yapılandırabilmeli ve sistem, enerji ihtiyaçlarına ve fiyat dalgalanmalarına uyum sağlayabilmelidir. Diğer bir deyişle, bina, sakinlerine, bağlantılı bina teknik sistemleri ve diğer iç mekan cihazları (örneğin,

akıllı termostatlar ve buzdolaplarının yanı sıra güvenlik ve erişim sistemleri) aracılığıyla enerji akışını kontrol etme yetkisi vermelidir (VOLT ve ark., 2017).

Son yıllarda küresel bir altyapı haline gelebilecek çevresel, ekonomik ve sosyal avantajlardan dolayı modern kentsel altyapının geliştirilmesi küresel bir öncelik haline gelmiştir. Özellikle elektriğin talep tarafında akıllı kullanımı, ev kullanıcıları için sürdürülebilirliğin ve enerji tasarrufunun iyileştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Gelişmiş ölçüm altyapısı (AMI), akıllı sensör teknolojileri, iki yönlü iletişim, akıllı ev aletleri, ev yerel alan ağı (HAN) ve ev enerji depolama sistemi (HESS) vb. gibi bilgi ve iletişim teknolojilerinde son gelişmeler geliştirilmiştir. Dolayısıyla bu büyüyen trend, akıllı binanın teknik temelini ve altyapısını Ev Enerji Yönetim Sistemi (HEMS) ile sağlıyor (Kim, 2016).

Akıllı ağılardaki talep yönetimi sistemi, akıllı evlerde insan-cihaz arayüzü aracılığıyla çeşitli ev aletlerini kullanıcı ayarlarına göre izleyerek elektrik tasarrufunu ve enerji verimliliğini artırıyor. Bu değişikliklerin uygulanması, modern enerji yönetim sistemlerinde merkezi geleneksel altyapılardan, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan bağımsız sistemlere doğru köklü değişikliklere yol açacaktır. Akıllı bir binada, ölçüm cihazlarına sahip akıllı kontrol merkezi, güç tüketimini ve üretim programını optimize etmek için bilgi toplayabilir ve gerekli sinyalleri sağlayabilir (Kim, 2016).

Tablo 4.2.'de akıllı ev aletleri planlama sistemlerini kullanarak elektrik fiyatlarını kontrol altına almayı ve düşürmeyi bekleyebiliriz. Fiyat tahminiyle birlikte otomatik enerji tüketimi planlama stratejileri, elektrik maliyetini azaltmak ve en aza indirmek için iyi bir öneridir. Elektrik tüketim talebinden toplanan bilgilere dayanan bir enerji yönetimi kontrolörü, akıllı bir binadaki tüm ev aletlerinin otomatik olarak ve maliyet etkin bir şekilde çalışmasını sağlayacaktır. Akıllı sistemler genellikle enerji maliyetleri, çevresel kaygılar, yoğun tüketim koşulları ve tüketici rahatlığı gibi birden fazla hedefi göz önünde bulundurarak optimum tüketim ve üretim programlarını tanımlar. Genel olarak akıllı sistemlerde ev aletlerine yönelik kontrol planlarının temel amacı enerji tüketimini en aza indirmektir. Ayrıca binaları kontrol etmek için çeşitli yapay zeka teknikleri kullanılıyor.

Tablo 4.2. Akıllı yapı bir ortamın özellikleri

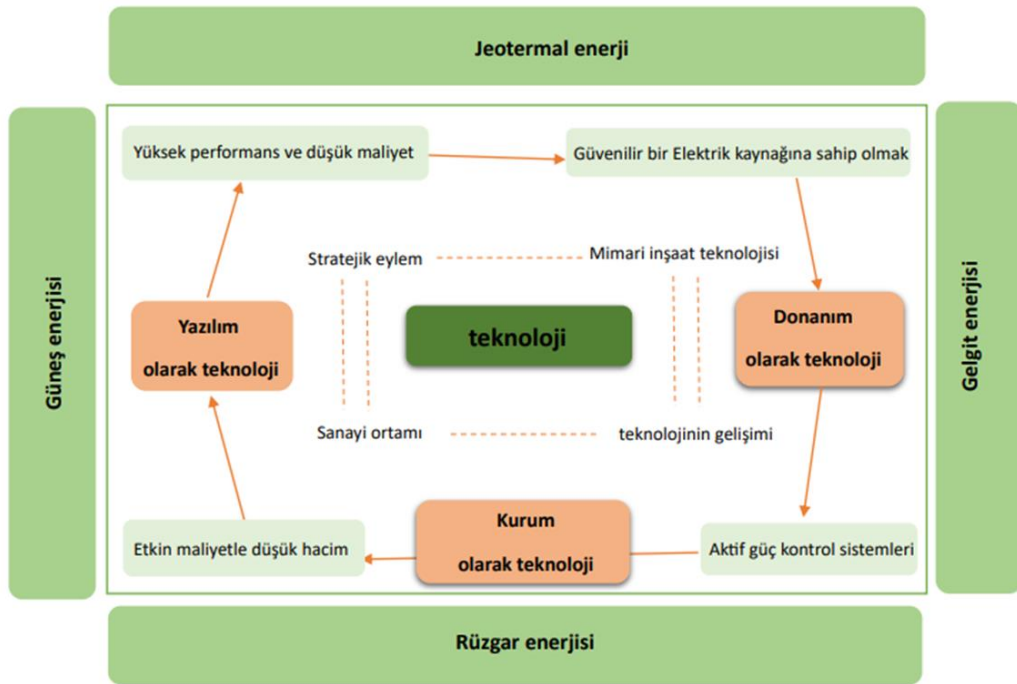


Enerji tüketen her ekipmanın kendine özgü özellikleri olduğundan, akıllı bir sistem oluşturmanın sorunlarından biri olan her ekipmanın durumunu gösteren bir model oluşturmak mümkündür. Yeni araçların dinamizmine bağlı altyapı ve iletişim zorluklarının ötesinde, birçok ev aletinin modellenmesi ve kontrolü, akıllı kontrol sistemlerinin konuşlandırılması ve optimizasyonu açısından bariz bir engel olabilir. Konut tüketicilerinin yaşam tarzına ilişkin refah düzeylerinin analiz edilmesi, enerji tüketimi yönetiminin sürdürülmesinde önemli bir hedef olarak değerlendirilmektedir. Enerji dağıtımından dolayı hizmet kalitesinin kaybolması tüketiciye rahatsızlık verebilir. Kontrol ve tahmin modelleri, beklenen hataları ele almanın en yaygın yoludur ve sistemin istenmeyen dinamik özelliklerinin etkilerini azaltarak neredeyse olumlu bir çözümü kapsayan açık döngülü bir çevrimiçi kontrol sistemidir. Akıllı kontrol sistemi modelleme gereksinimleri iletişim altyapısına bağlıdır. Enerji iletim şebekesinden elde edilen bilgilerin yetersiz olması durumunda akıllı ev kontrol sistemleri sadece evdeki cihazlarla iletişim kurar ve bireysel olarak internet üzerinden veya kablosuz sinyaller aracılığıyla ağdan bilgi alır (Volt ve ark., 2017).

Akıllı binada, pik yük dönemlerinde güneş paneli kurulumu, rüzgar enerjisi ve diğer enerji kaynakları ana kaynak olup, enerji depolama cihazları ev enerji sistemleri ile elektrik tesislerinin etkileşimini sağlar. Öte yandan elektrik kesintisi dönemlerinde bu sistemler kullanılarak farklı nesillerde yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi sağlanarak kritik yük durumlarında tüketicilere elektrik sağlamak üzere bağımsız bir üretim tesisi oluşturulabilir, böylece güç artışı mümkün olur. Enerjinin güneş, rüzgar ve mevsimsel jeotermal gibi farklı enerji kaynaklarından temininin değişken ve periyodik olması nedeniyle bu kaynaklar sürekli ve ekonomik bir güç tedariki sağlamada yetersiz kalmaktadır (Volt ve ark., 2017).

Şekil 4.2.'de modern teknoloji düşüncesinin etkisi tasarım yönteminde ve mimari inşaat teknolojisinde bile açıkça görülmektedir. Akıllı binalar çok büyük sistemler olarak değerlendirilebilir. Bu sistemler, devasa İnternet ağı gibi, bilgisayar ağlarını diğer çok büyük ağlara bağlar. Akıllı bir binada, işlevsel maliyeti azaltmak için sistem topluluğu kullanılır. Akıllı bir binada maliyetlerin azaltılabileceği birçok yöntem vardır; yöntemlerin çoğu performansı optimize etmeye ve verimliliği artırmaya dayanmaktadır:

1. İklimlendirme sistemi ekipmanlarının optimize edilmesi: Evdeki farklı yüklerin dinamik modellenmesi, sistemin en fazla konforu yaratmak için en az para harcamasını sağlar.
2. Konut düzeninin enerji tüketimine uygunluğu: Akıllı bir binada evdeki kişi sayısı azaltılarak tüketim maliyeti azalır.
3. Ekipmanların aktif bakımı: Analitik algoritmalar, işletmedeki sorunları tespit ederek, binada bir arıza oluşmadan önce harekete geçerek binanın bakımında verimliliği en üst düzeyde tutar.
4. Dinamik elektrik tüketimi: Elektrik şebekesinden sinyaller alıp tüketimi buna göre değiştiren akıllı evler, en düşük elektrik maliyetlerini garanti eder ve çoğu durumda tüketilen elektrik miktarını elektrik şebekesine satarak para kazanır (De Groote ve ark., 2016).



Şekil 4.2. Binayı daha akıllı hale getirmek için teknolojiye yararlanma

Akıllı bir bina, açık erişim düzeninde bilgi iletişimi kurarak altyapı oluşturabilir, bu da yeni ekipmanların geliştirilmesine yol açar. Yeni ekipman oluşturmak, internetteki açık bilgi durumunda olduğu gibi enerji, zaman ve işletme maliyetlerinden tasarruf edilmesini sağlayabilir.

Yenileme sürecini hızlandırmak ve akıllı bina teknolojisi aracılığıyla binaların kalitesini ve etkisini artırmak kritik bir yaklaşımdır (Wong ve ark., 2005). Süreç, entegre Nesnelerin İnterneti (IoT) sensörlerine sahip akıllı bir sistem katmanı aracılığıyla toplanan verilere dayanarak enerji tüketimini uyarlayarak geleneksel binaların "akıllı binalara" dönüştürülmesini içeriyor. Bu sürecin bir diğer önemli bileşeni, iyileştirme müdahalelerinin belirlenmesine yardımcı olabilecek Yapı Bilgi Modellemesinin (BIM) geliştirilmesidir. Örneğin BIM, veri modellemeyi otomatikleştirebilir ve veri kalitesini iyileştirebilir (Kamel ve Memari, 2019); bunların her ikisi de binanın enerji tüketiminin doğru tahmini ve tahmini için gereklidir. BIM ayrıca bina yaşam döngüsünün tüm aşamalarında bilgi paylaşımına olanak sağlar.

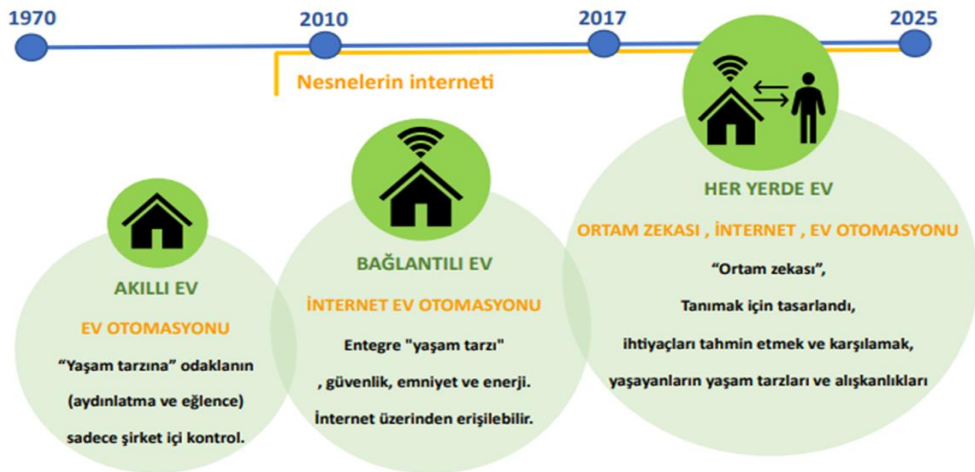
Nesnelerin İnterneti (IoT), nesneleri ağlara bağlayan ve bilgi paylaşan bir teknolojidir. Ev aletleri, akıllı binalar, akıllı arabalar, akıllı fabrikalar gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Sadece bilgi iletmekle kalmıyor, aynı zamanda toplanan verileri analiz ediyor ve buna dayanarak tahminlerde bulunuyor (Kim, 2016). İnternet ilk kullanıldığında internete yalnızca bilgisayarlar bağlanabiliyordu. Günümüzde cep telefonu ve tablet gibi kişisel bilgisayar teknolojileri de birbirine bağlanmakta ve internete bağlanan nesnelerin çeşitliliği artmaktadır. Nesnelerin İnterneti'nin sağladığı fırsatlardan yararlanılarak aşağıdaki hedeflere ulaşılabilir:

- binalarda en uygun ve ekonomik enerjinin kullanılması
 - Deprem, fırtına, yangın gibi afetlere karşı daha iyi önlemler almak
 - Malzemelerin dayanıklılığını koruyarak binaları akıllı hale getirmek
 - Akıllı binalardaki enerji sistemleri, Nesnelerin İnternetini kullanarak eş zamanlı olarak birbirleriyle iletişim kurabiliyor, zaman ve enerji tasarrufu sağlayacak şekilde programlanabiliyor.
- IoT sensörleri çevre kirliliği ve enerji tüketimine ilişkin verilerin elde edilmesinde önemli bir rol oynayabilir (SUR, 2020).

Kullanılan yapının akıllı bina konseptine uyarlanması için beyin gibi davranan ve ağa bağlanabilecek tüm nesneleri yöneten merkezi bir otomasyon sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Google Nest 1 ve Apple Home Kit 2 gibi akıllı bina yönetim sistemleri, binadaki mevcut cihazlarla entegre olarak otomasyon sağlar. Isıtma sistemleri yaşadıkları bölgenin hava durumu tahminlerini kullanarak veya sıcaklık sensörleri ile oda sıcaklığındaki değişimi tespit ederek ısıtma veya soğutma işlemlerini

ayarlayabilmektedir. Hareket sensörleri sayesinde evde olup olmadığınızı algılayarak otomatik olarak açılıp kapanabilmektedir. Öğrendiği bilgilerle bir daha eve dönmeden evi normal sıcaklığa getirebiliyor. Ekran, enerji tasarrufu sıcaklık ayarının ne zaman başladığını gösterir (SUR, 2020). IoT sistemleri, hareket ve ışık sensörleri ile titreşim varlığında canlı organizmaların varlığını tespit edebilir ve ortamın kullanıldığını anlayabilir. Ortam ışığını otomatik olarak açıp kapatarak kullanılmadığı zamanlarda gereksiz aydınlatmaların önüne geçer. İnternette alınan hava durumu, saat ve güneş bilgilerine göre ışığı otomatik olarak ayarlayabilmektedir. Ayrıca bu aydınlatma sistemleri sayesinde herhangi bir gaz veya dumanın varlığı da görsel olarak anlaşılabilir. Akıllı prizler tüm elektrikli cihazların açılıp kapanmasını kontrol edebilir. Akıllı lambalar ile ortam, kullanılan aydınlatma süresine ve senaryolara göre ayarlanabiliyor. Nesnelerin İnternetini kullanan aydınlatma sistemleri enerji tasarrufu sağlıyor ve ışık kirliliğini önüyor (Kim, 2016).

Şekil 4.3.'te akıllı gelişme düzeyine odaklanarak gelişen akıllı bina konseptini göstermektedir. Bu konsept ortaya çıktığında akıllı bir binadaki zeka seviyesi oldukça ilkel idi. Günümüz binalarındaki zeka çok daha karmaşıktır. Bir sonraki adım, binanın duyarlı olduğu ve sakinlerin ve enerji sisteminin ihtiyaçlarına duyarlı olduğu konseptine atıfta bulunan çevresel zekadır. Çevresel açıdan akıllı bir bina aynı zamanda insan merkezli bir binadır. Bina, bina sakinlerinin davranış ve tercihlerini tanır ve bunlara göre otomatik olarak uyum sağlar ve böylece konforu, güvenliği, enerji tüketimini ve refahı optimize eder (De Groote ve ark., 2017).



Şekil 4.3. Gelişen akıllı bina konseptini

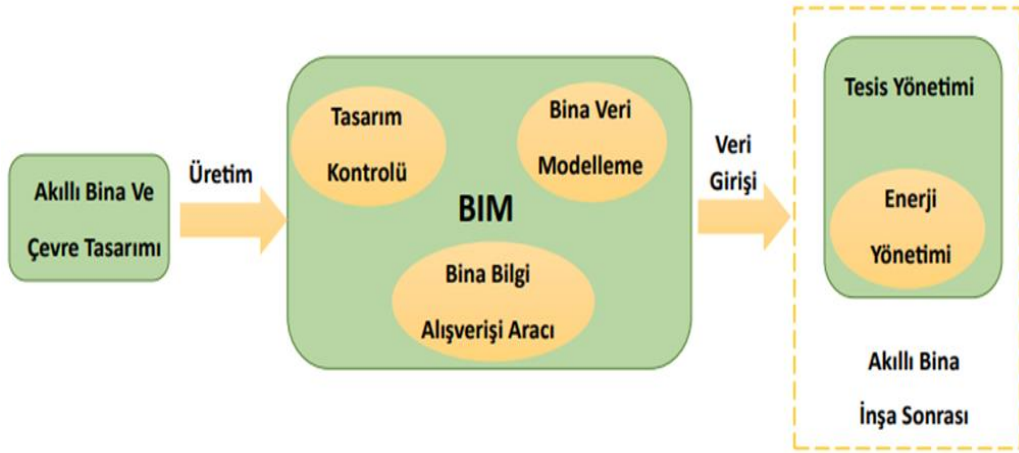
Binaların enerji tüketimine ilişkin literatür iki geniş kategoriye ayrılabilir:

➤ İlk kategori yeni inşaatlarla ilgilidir ve geliştirme aşamasındaki önemli kararları içerir: yer seçmek, düzen, bütçe kısıtlamaları dahilinde uygun boyut ve malzemeler.

➤ İkinci kategori işletme aşamasında ortaya çıkar ve enerji tüketim seviyelerinin iyileştirilmesi ve enerji azaltma hedeflerinin ve ilgili enerji iyileştirme müdahalelerinin belirlenmesi gibi mevcut bir binanın operasyonel performansının iyileştirilmesine odaklanır (Kamel ve Memari, 2018).

Chang ve ark. (2018)'nin çalışmalarında akıllı tesis yönetim sistemlerini mümkün kılmak için sanal gerçeklik ve BIM'in yeniden birleştirildiği bir süreç önerdiler. Rashid ve ark. (2019) akıllı binalardaki Ling elektrikli cihazlarını kontrol etmek için (3D UNITY) sanal bir ortam geliştirdiler. Bu çalışmada sensörlerden gelen gerçek zamanlı veriler kullanılırken, akıllı bina modelleme ve bilgi alışverişi ile ilgilenilmedi ve BIM modelleriyle entegrasyon yerine sanal bir 3D ortam dikkate alındı.

Fransız uzman bir şirket tarafından yapılan bir araştırmada şirketlerin çoğunun (%70) bina enerji çalışmalarında BIM kullanmadığı ortaya çıktı. Yenileme projelerinde, on yıllar öncesinden kalma mevcut binalar için yerleşik BIM modelleri nadiren kullanılabilir. Yeni yapılar açısından çoğu şirket, bilginin kağıt belgeler veya CAD çizimleri biçiminde üretildiği ve paylaşıldığı iş akışlarını benimsemiştir. Başlangıçta BIM destekli projeler olarak planlanan projeler bile, henüz dijital modellerin oluşturulmadığı bir noktada enerji mühendisliği firmalarının katılımını gördü. Şekil 4.4.'te bazı şirketler (%25) BIM modellerini diğer şirketlerle iş birliği yapmak amacıyla geliştirmeden, kendi ihtiyaçlarına göre bağımsız olarak geliştiriyor. Yalnızca bir mühendislik danışmanı, BIM ve 3D CAD modellerinin ve bilgilerinin yerleşik endüstri standartlarına göre paylaşıldığı ve ortak bir veri ortamı kullanılarak merkezi olarak yönetildiği, işbirliğine dayalı, yönetilen bir iş akışında çalışma deneyimini bildirdi (Doukari ve ark., 2022).



Şekil 4.4. Akıllı binalarda BIM süreci

Jianchao ve ark. (2015)'nin çalışmalarında Akıllı binaların modellenmesinde üç soru ortaya çıkmaktadır:

- Bunlardan ilki akıllı nesnelerin konumudur. Sensör ayarları konum açısından doluluk algılama ışığından etkilenebilir?
- İkincisi ise akıllı nesnelerin çevreyle nasıl etkileşim kurduğudur?
- Üçüncü soru ise binanın kullanım sürecinde akıllı nesnelerin bakımının nasıl olacağıdır?

Günümüzde bina enerjisini analiz etmek ve yukarıdaki sorulara cevap vermek için çeşitli BIM araçları üretilmektedir. Bu araçlar bina performansını artırmak için bir dizi simülasyon sağlar. Örneğin eklenti aracı olarak Revit'te LEED kriterlerine göre gün ışığı analiz kredilerini, su geri kazanımını, atık içeriğini hesaplayan bir eklenti ve BREEAM kriterlerine göre yeşil binaları değerlendiren bir araç bulunmaktadır (SUR, 2020).

4.1. Bina Enerji Tüketiminin Görselleştirilmesi

Farklı ülkelerdeki farklı sektörleri kapsayan ilerici yasal düzenlemeler, daha akıllı binaların önünü açıyor. Örneğin Almanya binalardaki pil sayısını artırmaya yönelik bir plan başlatırken, İsveç, Finlandiya ve İtalya akıllı sayaçlarının geliştirilmesini zaten tamamladı. Birleşik Krallık ve Fransa talep yanıt faaliyetlerini teşvik ediyor ve Danimarka yeşil bölge ısıtma faaliyetlerinde başı çekiyor. Elektrikli araçlar yalnızca Hollanda'da ilk benimseyenler için değildir. Finlandiya ayrıca ısı

pompalarından yenilenebilir enerji üretimine de önemli yatırımlar yaptı (Volt ve ark., 2017). Evde enerji tasarrufunda, Avrupa Komisyonu "enerji tüketicileri için akıllı çözümler sunan akıllı evler için teknolojiler ve hizmetler yarattığından" Singapur'da bazı haneler, hükümet ve Panasonic ile işbirliği içinde Ev Enerji Yönetim Sistemi (HEMS) kurmak üzere seçildi (Bhati ve ark., 2017). ABD EIA'sına göre binalarda ev aletleri, aydınlatma, soğutma, ısıtma ve diğer ekipmanlar için kullanılan elektrik, konut ve ticari binalarda enerji tüketiminin ana kaynağıdır. Bina sektörünün enerji tüketimini ve çevresel etkilerini anlamak, enerji ve buna bağlı sorunları azaltmak için çok önemlidir (De Chalendar ve ark., 2019).

Louis ve ark. (2015)'nin çalışmalarında ev enerji sistemlerinin yaşam döngüsü boyunca çevresel etkilerine odaklandılar ve enerjinin geri ödeme süresinin 1,6 yıl olacağını belirttiler. Ayrıca akıllı ev pazarının gelişmesinde enerji tasarrufu, yaşam kalitesinin iyileştirilmesi, çevre ve bilginin şeffaflığının dört temel faktör olduğunu ifade etti.

Konut binalarının enerji verimliliği sorununu çözmek için birçok teknoloji geliştirilmiştir. Son yıllarda bilgi ve iletişim teknolojilerinin (BİT ve akıllı ağlar)(ICT) hızla gelişmesiyle birlikte akıllı ev teknolojisi (SHT), ev sakinlerinin yaşam ortamından yararlanma ve yaşam kalitesini artırma konusunda umut verici bir önlem haline gelmiştir. SHT'nin önemli kategorilerinden biri, özellikle konut sakinlerine enerji yönetimi hizmetleri veya enerji azaltım önlemleri sağlamayı amaçlayan akıllı ev enerji teknolojisi (SHET). SHET, evdeki elektrik tüketimini ve çeşitli akıllı ev cihazlarını izleyerek ve düzenleyerek akıllı bir şebekenin talebini yönetmek için entegre sistemler veya ayrı bileşenler içerir. SHET, enerji yönetimi hedeflerine iki şekilde ulaşır:

- Konut sakinlerinin enerji tasarrufu davranışlarını geliştirmelerine yardımcı olmak için konut sakinlerine enerji tüketimi bilgileri sağlamak.
- Konut sakinlerinin, akıllı cihazlar aracılığıyla programlanabilen veya optimize edilebilen ev aletlerini kontrol etmelerine olanak tanıyarak, enerji faturalarını azaltmak için belirli elektrik tarife politikalarından yararlanabilmelerini sağlıyor (Ji ve Chan., 2019).

Karlin ve diğerleri (2015), mevcut SHET'i üç gruba ayırdı:

- Enerji portalı ve dahili ekranı (yükleyici ekranı) içeren kullanıcı arayüzleri

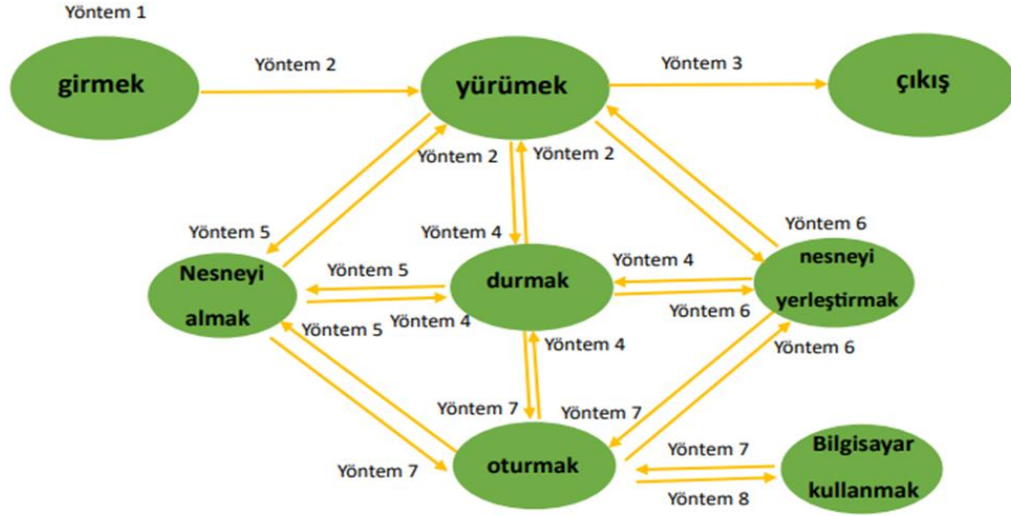
➤ Akıllı ev aletleri, akıllı ışıklar, akıllı termostatlar, akıllı prizler/anahtarlar içeren akıllı donanımlar

➤ Akıllı ev platformu/web hizmeti içeren yazılım platformları. Elektronik ve bilgi işlem alanındaki en son gelişmelerle birlikte, akıllı bir binayı gerçekleştirmek için gereken algılama teknolojileri ve bilgi işlem gücü artık küçük boyutlarda, düşük fiyatlarla ve enerji verimliliğiyle sunuluyor. Evdeki insan davranışı oldukça yapısal değildir. Bu tür davranışları anlamak için çeşitli duyuşal yöntemlere ihtiyaç vardır. Çoklu yerleşik davranışları tanımak için gelişmiş örüntü tanıma tekniklerine ihtiyaç vardır. Sistemler veri depoladığında gizlilik önemli bir sorun haline gelir. Bu sorunlar nedeniyle akıllı oda teknolojileri henüz olgunluğa ulaşamamıştır (De Silva ve ark., 2012).

➤ Akıllı evlerde video tabanlı teknikler: İnsanları ve onların eylemlerini tanımlamak için belirli bir sahneden elde edilen birkaç sabit kameradan gelen görüntü dizilerini ve bu etkinliklere dayalı dizi listesini analiz eden bir sistem kullanılabilir. Şekil 4.5.'te tek bir kameranın birden fazla kişiyi takip etmesini içeren kamera tabanlı bir algılama yaklaşımı sunulmuştur. Bu yöntemler özellikle yaşlı ya da küçüklerin bakımında oldukça etkili olabiliyor.

➤ Akıllı evlerde ses temelli teknikler: Akıllı evde kaydedilen ses sinyallerinin işlenmesiyle olaylar tespit edilebilmektedir. Smeaton ve McHugh (2005), bir mikrofona ağının birden fazla kameradan gelen bir video koleksiyonunu önemli ölçüde özetleyebilen ses olaylarını algılayabildiğini gösterdi. Bu ifadenin anlamı, video özetleme için kritik bilgilerin çıkarılması amacıyla zaman alanında ses olaylarının bir dereceye kadar kullanılabileceğidir. Dolayısıyla, örneğin evin içinde dolaşan bir çocuğun sesini takip ederek çocuğun odadan odaya yürüdüğü video klipleri çıkarmak biraz daha kolaydır.

➤ Akıllı evlerde multimodal teknikler: Bu senaryoda, bir robot multimodal teknikleri kullanarak bir insanı takip eder ve odadaki insan derisinin ve ten dışı renginin öğrenilmesi için bir sinir ağı kullanılır (De Silva ve ark., 2012).



Şekil 4.5. Kamera ağı ve yönetimi

4.2. Akıllı Bina Çalışma Sistemi

Enerji tüketimini ve talebi azaltmak için akıllı bir sistem, akıllı ev aletlerini, yenilenebilir enerji kaynaklarını ve gerçek zamanlı bilgi izlemeyi kontrol ederek enerji tüketimi yönetimini mümkün kılar. Bu sistemlerde iki tip kontrol bulunmaktadır:

- 1- Doğrudan kontrol (Aktif kontrol sistemleri)
- 2- uzaktan kontrol (Pasif kontrol sistemleri)

Mevcut ekipman ve sistem üzerinde doğrudan kontrol sistemi uygulanmakta olup; Uzaktan kontrol, evdeki cihazları kişisel bir bilgisayar veya akıllı telefon aracılığıyla kontrol etmek ve kullanmak için bu sistemlere çevrimiçi olarak erişilebilmesi anlamına gelir.

Ev tüketicileri enerji verimliliklerini artırmak için kullanıcı arayüzü üzerinden gerekli ayarları seçebilmektedir. Ev enerji yönetim sisteminin altyapısı ve akıllı binanın iç altyapısı, akıllı tüketim ölçüm merkezi, iletişim ve ağ sistemi ile diğer akıllı cihazları içermektedir. Bu altyapıları kullanarak ev aletleri ve ekipmanlarına erişmek, bunları izlemek, kontrol etmek ve performanslarını optimize etmek mümkündür.

Ayrıca akıllı cihazların ve akıllı binaların tam entegrasyonu ve kullanıcılarla çift yönlü etkileşim sayesinde, akıllı şebekelerin verimlilik ve maliyet düşürme, güvenilirlik, farklılaştırılmış hizmet sunumu ve akıllı kullanıcıların güçlü ileri teknolojisi gibi birçok cazip özelliği hayata geçirilebilmektedir.

Bean ve ark. (2012)'nin çalışmalarında Akıllı bina sistemlerini oluşturan unsurlar şunlardır:

- Sensörler: değişiklik durumunda izleme ve mesaj gönderme.
- Tahrikler: Sistemi hareket ettiren motor türüdür. Fiziksel bir eylem gerçekleştiriyorlar.

- Kontrol mekanizması: Kullanıcının belirlediği program ve kurallara göre ünite ve cihazları kontrol eder.

- Merkezi ünite: Sistemde bulunan birimlerin programlanmasını sağlar.
- Arayüz: Kullanıcıyı sisteme bağlayan yapıdır.
- Network: Birimler arası iletişimi sağlayan sanal altyapıdır.
- Akıllı sayaçlar: Kullanıcı, sistemler ve çevredeki nesneler arasında iki yönlü, yakın veya gerçek zamanlı iletişim kuran, tüketici ile elektrik şirketi arasında daha fazla etkileşim sağlayan dijital sayaçlardır. Akıllı sayaçlar tüketicilerin ve toplayıcıların enerji tüketimlerine ilişkin gerçek zamanlı verilere sahip olmalarını sağlar, enerji tüketimini istedikleri zaman enerji fiyatına göre ayarlarlar ve bu talebi azaltma yeteneğini şebeke ve enerji hizmeti şirketlerine esnek bir hizmet olarak sunarlar ve tüketicinin enerji faturasında tasarruf sağlarlar. Isıtmanın genellikle insanların enerji faturalarının %65-70'ini oluşturduğu göz önüne alındığında, vatandaşların elektrik ve gaz (ısıtma) tüketimleri konusunda bilinçli olmaları önemlidir.

- Enerji kaynağı: Akıllı binalar, enerji depolamayı sağlayan küçük bir yenilenebilir enerji kaynağına sahip olabilir. Tüketicilerin kendi enerjilerini üretebilmeleri, tüketebilmeleri, depolayabilmeleri ve ayrıca elektrik ve ısıtma şebekelerine satabilmeleri gerekiyor. Bu da milyonlarca insanın piyasada aktif olmasının önünü açabilir. Tüm tüketicilerin ürettikleri ve kullanmadıkları enerjiyi şebekeye vermelerine veya talep yanıt faaliyetlerine katılmalarına izin verilmemelidir.

Wong ve Li (2008) yaptıkları çalışmada, Ayrıca akıllı bir bina, tamamen doğal bir etkileşim ve kontrol için tasarlanmış sistemlerden oluşur ve bunları şu şekilde sıralayabiliriz:

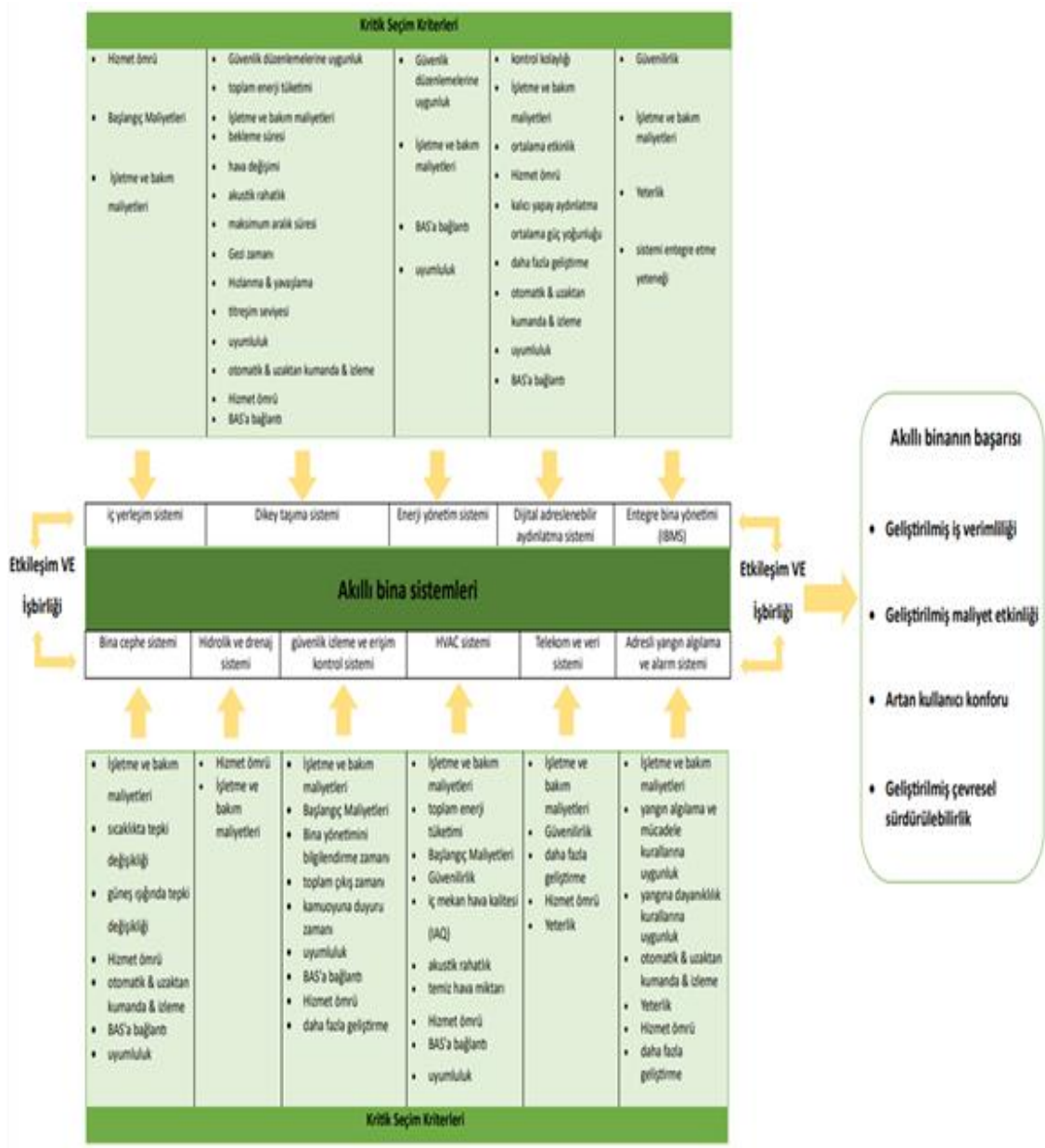
- Binanın iç yerleşim sistemi
- Bina cephe sistemi
- Hidrolik ve drenaj sistemi
- Enerji yönetim sistemi

- Dijital adreslenebilir aydınlatma kontrol sistemi
- Dikey taşıma sistemi
- Güvenlik izleme ve erişim kontrol sistemi
- HVAC sistemi
- Yangın algılama ve alarm sistemi
- Telekomünikasyon sistemi ve veri sistemi
- Entegre bina yönetim sistemi

4.3. Akıllı Bina Formu ve Kapağı

Tablo 4.3.'te akıllılığın amacı teknolojiyi plansız daha fazla kullanmak değil, enerji kullanımını azaltmak ve konut sakinlerinin konforunu sağlamaktır. Bina formu enerji tüketiminde önemli bir rol oynar. Kompakt form, bina kabuğundan iletim yoluyla ısı transferini en aza indirir ve doğal ışık, doğal havalandırma ve ısı kazanımına olanak tanır. Küp şeklindeki bir binanın ısı kaybı minimum düzeyde olmasına rağmen, iyi bir pasif güneş enerjisi binası dikdörtgen şeklindedir; uzun kenarlarından biri güneye bakar ve kuzey tarafı daha fazla güneş enerjisi toplamak için iyi yalıtılmıştır. Yapı elemanlarının güneş ışığına göre ayarlanması binanın ısıtma ve soğutma yüklerini azaltır. Ayrıca bina içindeki mekânlar enerji bölgesinin en uygun konfigürasyonunu oluşturacak şekilde gruplandırılmalıdır (Lechner, 2014).

Bina kabuğu, binayı (klima) duvar, çatı, zemin, pencere, kapı gibi dış ortamdaki ayıran, ısı enerjisinin içeriye veya dışarıya aktarılmasını sağlayan bileşenlerdir ve bina kabuğunun iç ve dış ayırıcı olarak enerji tüketimi üzerinde büyük etkisi vardır. Bina kabuğunun yapım maliyeti toplam inşaat maliyetinin %15-40'ına tekabül ederken, yaşam döngüsü maliyetlerindeki (özellikle enerji maliyetindeki) payı %60 civarındadır (Bayraktar ve ark., 2007). Bina enerji maliyetlerini azaltmak için değişen çevre koşullarına uyum sağlayabilen dengesiz kabuklara akıllı benimsenme denir. Bina kabuğunun ısı davranışları çok farklı olan şeffaf ve opak bileşenler binanın enerji ihtiyacını, ısı ve görsel konforunu belirlemektedir.



Tablo 4.3. Bir Akıllı Konsept Modeli

• Opak bileşenler: binanın duvar, tavan, zemin vb. bölümleri olan soğuk havalarda, yalıtım seviyesini artırarak ısıtma döneminde ısı transferini azaltmak, Opak bileşenler açısından en yaygın yöntemlerden biridir. Bu yöntem aynı zamanda sıcak havanın olduğu bölgelerde iletken ısı transferinden kaynaklanan aşırı ısıtmanın önlenmesi için de kullanılabilir. Öncelikle pasif solar akıllı binanın iletim kayıplarını önlemek için iklim özelliklerine göre iyi bir şekilde yalıtılması gerekmektedir. Isı kayıpları azaltıldıktan sonra kalan ısıtma ve soğutma yükleri pasif yöntemlerle sağlanabilir (Lechner, 2014).

Yalıtımın yanı sıra kabuktaki ısı kaybını azaltmanın başka yolları da vardır. Termal kütle, su veya kaya gibi ısı enerjisini uzun süre depolayabilen malzemeleri ifade eder. Güneşli günlerde termal kütle güneş enerjisini emip depolar ve gündüz saatlerinde aşırı ısıyı önler. Geceleri depolanan enerji iç veya dış ortama geri döner. Bunun dışında termal kütle, iç ortamdaki ani sıcaklık değişimlerini engeller ve sıcaklığı zaman gecikmeli olarak ayarlar (Lechner, 2014).

Opak bileşenlerin yüzeyinin rengi binanın ısı davranışını etkileyen bir diğer parametredir. Opak bileşenlerin yansımaya ve soğurma gibi optik özellikleri yüzey renginin bir fonksiyonudur. En basit şekliyle dış duvarlar ve çatı gibi yapı bileşenlerinin dış yüzey rengi, sıcak iklime sahip bölgelerde açık, soğuk iklime sahip bölgelerde ise koyu seçilmelidir (Bayraktar ve ark., 2007).

- Şeffaf bileşenler: Pencere sistemleri binalarda gün ışığının ve güneş enerjisinin içeri girmesini sağlayan şeffaf bileşenlerdir. Yüzeye giren güneş ışınımının %80'inden fazlasını taşıdıkları için pasif güneş enerjisi tasarımında önemli bir rol oynarlar. Ancak diğer taraftan termal olarak bina kabuğunun en zayıf noktalarından biridir. Camın doğal özelliğinden dolayı güneşten gelen kısa dalga boylu ışınımı karşı tarafa iletir ancak uzun dalga boylu ışınımı içeride hapseder ve iç ortamı ısıtır (sera etkisi) (Lechner, 2014).

Binalarda enerji tüketimini etkileyen önemli faktörlerden biri de camın yani şeffaf bileşenlerin boyutu ve yerleşimidir. Genel bir kural olarak, eğer ısıtmaya ihtiyaç duyuluyorsa, binanın pencerelerinin çoğunun güney tarafında olması gerekmektedir. Doğu ve batıya bakan pencereler kışın daha az, yazın ise daha fazla güneş enerjisi topladığından, doğal ışıktan da ödün vermeden mümkün olduğunca az kullanılmalıdır. Pencereler yeterli doğal ışık sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Örneğin pencerenin boyutu odanın taban alanının en az %15'i kadar olmalıdır (Lechner, 2014).

Standart pencereler konveksiyon ve radyasyon yoluyla önemli miktarda ısı kaybına neden olur. Pencerelerdeki cam katmanlarının sayısı artırılarak ısı kaybı azaltılabilir. Ancak hava ile cam yüzeyin temas ettiği herhangi bir noktada yüzeyin yansıtıcılığı ve cam malzemenin soğurma yeteneği güneş ışığının içeriye girişini azaltır. Çift cam genellikle birçok iklim için uygundur (Bayraktar ve ark., 2007).

4.4. Kontrol Sistemleri

- Pasif kontrol sistemleri

Bina kabuğundaki en önemli pasif kontrol sistemlerinden biri, gölgeleme elemanları kullanarak günün ve yılın belirli saatlerinde doğrudan güneş ışığının pencereye girmesini engelleyen güneş kontrol sistemidir. Gölge elemanları doğal ışığı, havalandırmayı, güneş enerjisini ve dolayısıyla binanın genel performansını etkiler. Yaz güneşi kış güneşinden daha yüksekte doğar. Uygun büyüklükteki pencerelere yerleştirilen yatay gölgeleme elemanları, güneyden gelen güneş enerjisi kazanımını optimize etmenin iyi bir yoludur. Yaz güneşinin pencereye ulaşmasını engellerken, kış güneşinin pencereden içeri girmesini sağlarlar. Etkili bir gölgeleme elemanının tasarımı, gölgeleme elemanının yerleştirileceği bina cephesinin güneşe doğru yönelimine bağlıdır. Dikkatli bir şekilde uygulanan güneş kontrolü, mekanik soğutma ihtiyacını azaltır, maliyetleri düşürür ve yıl boyunca konfor sağlar (Bayraktar ve ark., 2007).

Pasif sistemler ile aktif sistemler arasındaki farka göre pasif sistemler zemin konumu, güneş açısı, rüzgar yönü, bina yalıtımı ve bina durumu gibi konuları kapsar. Aktif sistemler ek ekipman ve sistemleri içerir. Pasif sistemler doğal yöntemler içerdiğinden bakımı kolay, dayanıklı ve uygun maliyetlidir. Uygun tasarım kriterleri ve çözümleri sayesinde birçok enerji probleminin çözümüne yardımcı olur (SUR, 2020). Bina kabuğundaki diğer bir kontrol sistemi ise genellikle pencere açıklıklarından sağlanan doğal havalandırmadır. Doğal havalandırma sistemleri, adından da anlaşılacağı gibi, temiz hava sağlamak ve binayı soğutmak için doğal kuvvetleri kullanır. Rüzgar etkisi ve sıcaklığın neden olduğu basınç farkı iki temel kuvvettir. Doğal havalandırma komple bir bina tasarım konseptidir (Bayraktar ve ark., 2007).

- Aktif kontrol sistemleri

Aktif sistemler kendi elektrik ve enerjisini üreten yapılardır. Aktif ev ürettiği enerji ile kendi kendine yetebilir ve tükettiği enerji miktarını karşılayabilir, enerji fazlası varsa enerji talep şebekesine de tedarik edilebilir. Ancak aktif sistemlerin tesisleri ve teknolojisinin varlığı nedeniyle bunların bakımı zordur. Bu sistem aşağıdaki gibi sistemleri içerir:

- Havalandırma sistemleri
- Fotovoltaik güneş pilleri
- Isı pompaları

- Işık sensörleri
- Hareket sensörleri
- Isı değiştirici sistemler
- Eş zamanlı üretim sistemleri
- Rüzgar türbinleri

Yukarıdaki durumların her birinde kullanılan sistemlerin nasıl çalıştığını öğreneceğiz.

- Fotovoltaik güneş pilleri

Güneş enerjisini yapay olarak üretilip depolamanın en önemli yollarından biri, güneş pilleri ile donatılmış plakalar kullanarak bu enerjiyi emen ve çeşitli amaçlarla kullanılacak elektrik üreten fotovoltaik sistemlerin kullanılmasıdır. Bu sistemin binadaki en önemli kullanım alanlarından biri de güneş enerjili su ısıtıcıları alanında kullanılmasıdır. Güneş enerjili su ısıtıcıların en önemli özelliklerinden biri dünyanın birçok yerinde kullanılabilme özelliği olup, performansı mekandaki güneş ışınımının yoğunluğu, sıcaklığı veya şofben tankına giren su gibi faktörlere bağlıdır. Sıcaklık ne kadar düşük olursa verim de o kadar düşük olur ve bu aynı zamanda güneş panellerinin gücüne, büyüklüğüne ve kullanılan hücre sayısına da bağlıdır (Inc, 1998).

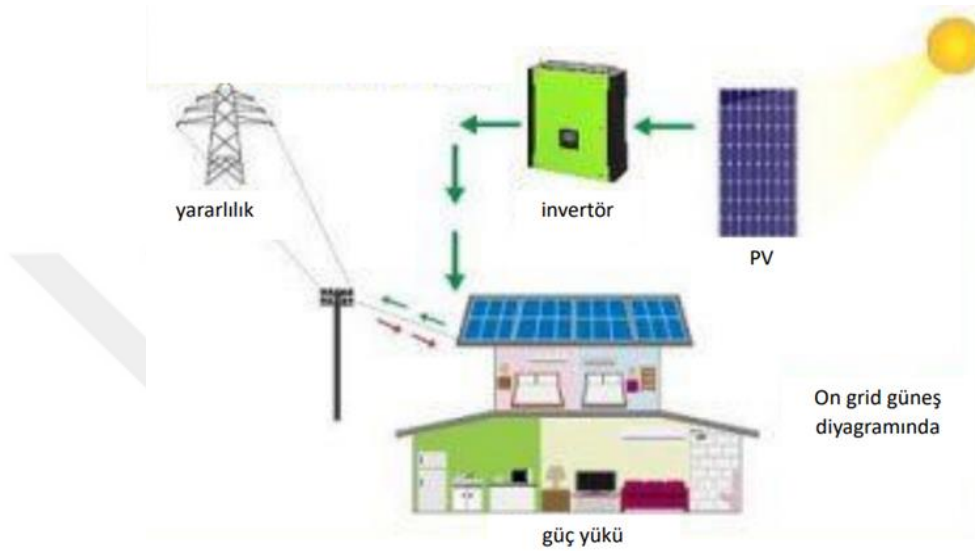
Güneş enerjili su ısıtıcı sistemi, gerekli enerjiyi elektriğe dönüştürmenin yanı sıra güneşin doğrudan ısını su gibi bir akışkan aracılığıyla absorbe ederek de elde eder. Güneş enerjili su ısıtıcılarının verimliliğini arttırmak için şofbenin ve sıcak su borularının tamamen yalıtılması, banyoda otomatik musluk ve duş başlığı kullanılması, şofben tüketim sıcaklığının düşürülmesi gibi prensiplere uymamız gerekmektedir. Güneş enerjili su ısıtıcıları genellikle acil durumlarda ve sıcak su kullanımına ihtiyaç duyulduğunda ve yeterli enerji rezervinin bulunmadığı durumlarda sıcak su sağlama görevini yerine getiren elektrikli ısıtıcı ile donatılmıştır. Güneş enerjili su ısıtıcıları, çevreyi kirleten maddelerin üretimi açısından tamamen temiz ve güvenli olup, uzun vadede kullanım kültürünün teşvik edilmesiyle maliyetlerin azaltılmasının yanı sıra, başlangıç maliyeti de iyi bir şekilde telafi edilebilir. Enerji fiyatlarının sürekli arttığı göz önüne alındığında, bu bedava enerjinin, başlangıçtaki kısa sürede tüm maliyetlerin sisteme geri dönecek ve sonrasında tasarruf sağlayacak şekilde maliyetleri azaltmak için kullanılması çok önemlidir (Inc, 1998). Sonuçlar, pasif ve aktif hibrit senaryoların kullanımının referans binalardaki enerji tüketimini önemli ölçüde etkilediğini

göstermektedir, Örneğin yıllık elektrik tüketiminin %66,4'ü tasarruf edilebilir. Buna ek olarak, güneş enerjisi kaynaklarının kullanımı, örneğin fotovoltaik modüllerin kullanılmasıyla yıllık elektrik tüketiminin %78'e ve ilave elektrik tüketiminin %20,4'e kadar çıkabildiği binadaki enerji talebini neredeyse karşılamaktadır. Ayrıca iki adet güneş kolektörü kullanılarak yıllık %66,8'e kadar doğal gaz depolanabilmektedir (İbrahim ve ark., 2021).

Fotovoltaik sistemler genel olarak üç bölümden oluşur: Güneş panelleri, invertörler ve güneş enerjisini kirlilik yaratmadan elektriğe dönüştüren piller. Güneş enerjisinin elektriğe dönüşümü paneller veya fotovoltaik hücreler tarafından yapılır ve ev kullanımı için dönüştürücü üretilen elektriği alternatif akıma dönüştürür. Son olarak sistemde üretilen fazla elektriği bir pil ile depolayabilirsiniz. Teller, devre kesiciler ve destek yapıları fotovoltaik sistemlerin diğer yan bileşenleridir (El-Azab, 2021). Fotovoltaik malzemeler ve aksesuarlar güneş ışığını elektriğe dönüştürür. Bağımsız bir fotovoltaik üniteye hücre denir. Her güneş pili genellikle küçük boyutludur ve 1 veya 2 watt elektrik üretebilir. Bu hücreler çeşitli yarı iletken malzemelerden yapılmıştır ve genellikle 4 insan saçı kalınlığından daha azdır. Bu hücreler, farklı çevre koşullarında yıllarca çalışabilmeleri için cam ve plastik karışımından oluşan koruyucu bir malzemenin içerisine yerleştirilmiştir. Fotovoltaik hücrelerin üretim kabiliyetini arttırmak için seri bağlanarak modül veya panel adı verilen daha büyük bloklar oluşturulur ve modüllerin birleştirilmesiyle diğer diziler oluşturulur. Fotovoltaik sistemlerin modüler yapısı nedeniyle, fotovoltaik sistemler küçük veya büyük herhangi bir elektronik cihaza güç sağlamak için kullanılabilir (İbrahim ve ark., 2021).

Modüller ve diziler fotovoltaik sistemin yalnızca bir parçasıdır. Bu sistemlerde panellerin yanı sıra bu modüllerin her zaman güneşe doğru açıda tutulabilmesi için bir destek yapısına da ihtiyacımız var. Fotovoltaik panellerin ürettiği elektrik doğru akımdır (DC), ev aletleri ise alternatif akıma (AC) ihtiyaç duyar. Panellerden gelen doğrudan elektriği alternatif akıma dönüştürmek için solar invertör olarak da bilinen bir dönüştürücüye ihtiyacımız var (El-Azab, 2021). Şekil 4.6.ve Şekil 4.7.'de Fotovoltaik sistemler şebekeye bağlı sistemler (On-grid) ve şebekeden ayrılmış sistemler (Off-grid) olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Şekil 4.8.'de Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemlerde güneş enerjisi sisteminin tüketici ekipmanlarının ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisine göre tasarlanması ve uygulanması gerekmektedir. Şebekeye bağlı sistemlerde

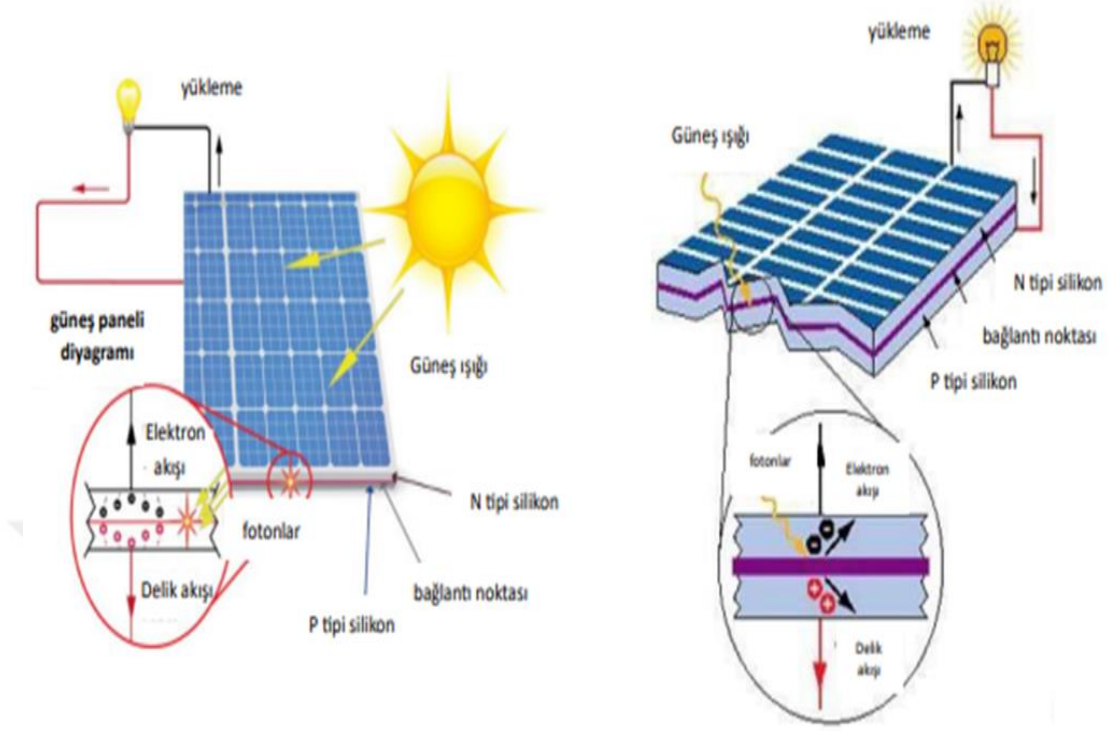
elektrik şebekesi bir depolama cihazı görevi görür. Almanya'da çoğu fotovoltaik sistem şebekeye (On-grid) bağlıdır , Çünkü teşvik tarifesini yeni enerji kaynaklarından elektrik üretmek için kullanıyorlar ve önümüzdeki 40 yıl içinde Almanya'nın elektrik ihtiyacının üçte biri güneş enerjisi sistemlerinden sağlanacak (El-Azab, 2021).



Şekil 4.6. Şebekeden ayrılmış fotovoltaik sistem (off-grid)



Şekil 4.7. Şebekeye bağlı fotovoltaik sistem (on-grid)



Şekil 4.8. Fotovoltaik güneş pilleri

Fachrizal ve ark. (2024)'nin çalışmalarında fotovoltaik sistemleri kullanmanın avantajları şu şekilde sıralayabiliriz:

- Dayanıklılık: Fotovoltaik modüllerin yapımında kullanılan teknoloji, daha önce sistemin dayanıklılığının yaklaşık 10 yıl olacağı düşünülüyordu. Ancak yapılan iyileştirmelerle bu sistemlerin ortalama kullanım ömrü 25 yıla ulaştı.
- Düşük bakım maliyeti: Yenilenemeyen kaynak sisteminde malzeme taşıma ve işçilik maliyeti çok yüksektir, ancak fotovoltaik sistemde üretim döngüsünde böyle bir maliyet yoktur. Çünkü sistemin minimum maliyet ile periyodik muayene ve bakıma ihtiyacı vardır.
- Yakıtı gerek yok: Fotovoltaik sistem fosil yakıt kaynaklarına ihtiyaç duymaz. Dolayısıyla bu kaynakların çevreye verdiği zararın, taşıma ve depolama maliyetlerinin ortadan kaldırılması gerekmektedir.
- Gürültü kirliliğinin azaltılması: Fotovoltaik sistemler hareketsiz ve tamamen sessizdir ve gürültü kirliliğinden arındırılmıştır.
- Kentsel elektrik şebekesine bağımlılık olmaması: Kentsel elektrik iletim imkânının bulunmadığı durumlarda bu sistem kullanılabilir.

- Güneş enerjili hava ısıtıcısı

Güneş enerjili hava ısıtıcısı, güneşten gelen ısı enerjisini emen ve binaya giren temiz havayı ısıtan bir cihazdır. Bu durumda temiz enerji kullanılırken taze hava temininde herhangi bir sınırlama olmadığı gibi sistem binanın ısıl yükünün tamamını veya bir kısmını karşılayabilecek durumdadır. Cihaz iki ana bölüme ayrılabilir (İbrahim ve ark., 2021):

- Dış ünite: fan ve ısı emici toplayıcı yüzeyler dahil
- İç ünite: iletim sistemi, kontrol

Güneş enerjili hava ısıtıcıları, çalışma döngüsüne bağlı olarak aktif ve pasif kategorilere ayrılabilir. Pasif sistemlerde hava akışı doğal olarak ve sıcak hava ile soğuk havanın özgül ağırlık farkına bağlı olarak sirküle olur. Ancak aktif sistemlerde hava akışı harici bir itici güç (fan gibi) tarafından yapılır. Diğer kategorilerde güneş enerjili hava ısıtıcıları kurulum konumuna göre eğimli ve dikey olarak ikiye ayrılabilir. Eğimli kolektörler çoğunlukla düşük ısıtma kapasitesine ve daha yüksek verime sahip olup, montaj yerleri çatı veya düz zemin üzerinedir. Dikey kolektörler binanın duvarına monte edilebilir; Eğik tipe göre yüksek ısıtma kapasitesine ve daha düşük verime sahiptirler (Lechner, 2014).

- Güneş soğutma sistemi

Emici malzeme ve soğutucu karışımını ayırmak için elektrik ve kompresör yerine güneşin ısı enerjisini kullanırlar. Soğutucu akışkan ayrıldıktan sonra yoğunlaşır ve buharlaşmak ve soğutma etkisi yaratmak üzere evaporatöre gider. Son olarak döngünün tekrarlanması için emici malzeme tarafından yeniden emilir (İbrahim ve ark., 2021). Güneş enerjisiyle soğutma oluşturmak iki şekilde mümkündür:

1. Chiller soğutma sistemi
2. Absorpsiyon sistemi

Chiller soğutma sisteminde solar fotovoltaik paneller yardımıyla elektrik oluşturulur ve üretilen elektrik yardımıyla sıkıştırılmalı chiller sistemini çalıştırırlar. Bu tip çok fazla elektrik tüketir ve gerekli elektriği üretmek için çok sayıda ve hacimde panel kurulması gerekir (Fachrizal ve ark., 2024).

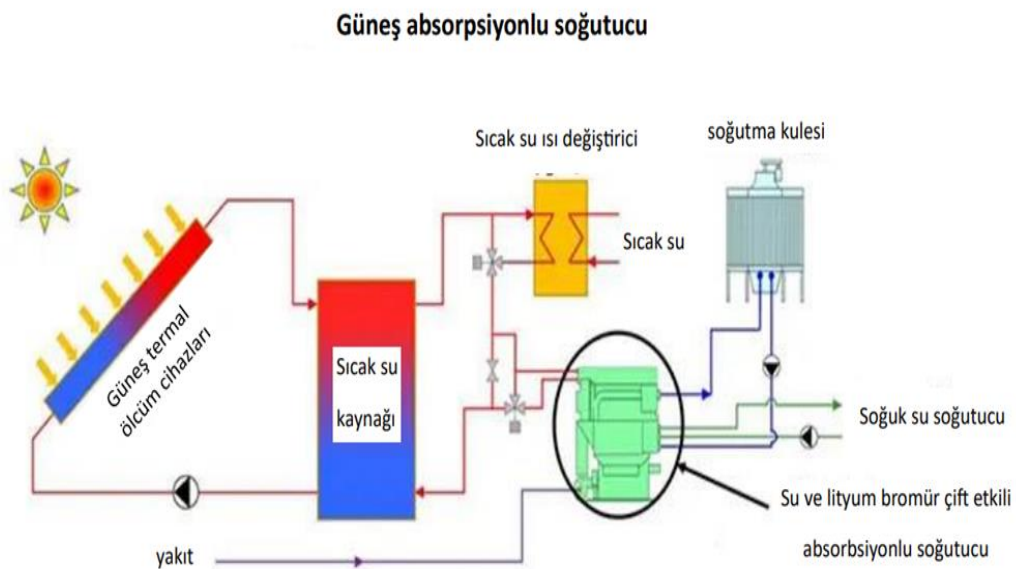
Diğer bir tipinde ise bir tür absorpsiyon sistemi kullanırlar, böylece güneş kolektörlerinin oluşturduğu sıcak su yardımıyla sistemin ısısı oluşturulur. Üretilen sıcak su, güneş enerjisi sisteminin ısısını üretebilir ve bu tür güneş absorpsiyon sistemi için

bir yöntemdir. Bu yöntemde mobil ekipman ve cihazlar daha az kullanılmakta ve güneş panelleri yardımıyla sağlanacak elektriğe daha az ihtiyaç duyulmaktadır (El-Azab, 2021).

Günümüzde dünyanın her yerinde farklı mevsimlerde ve hava değişimlerinde dengeyi korumak için kalın duvarlar kullanılıyor veya beton duvarlar kullanılarak günlük enerji absorbe edilmeye çalışılıyor. Ayrıca güneş enerjisiyle soğutma sistemi oluşturmak, çatılara su serpilerek ve üretilen su buharını kullanarak gerekli soğutmayı oluşturarak oluşturulabilecek binaların iç mekanlarında konforlu hava yaratmanın etkili yollarından biridir (İbrahim ve ark., 2021).

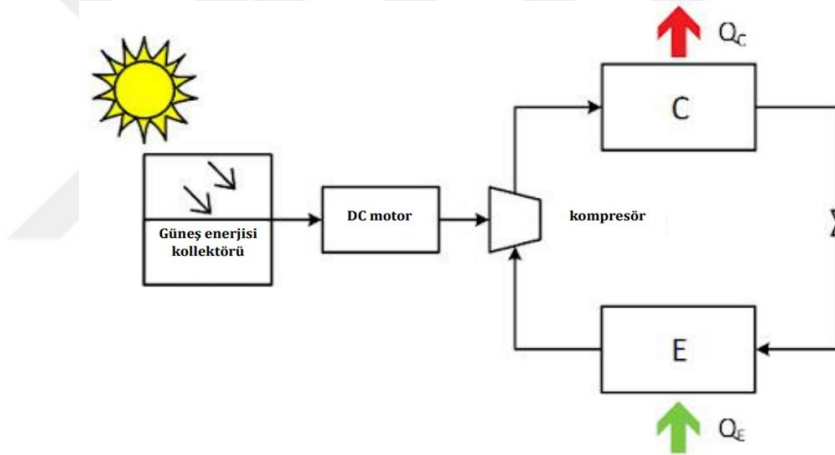
Günümüzde aktif veya pasif güneş enerjili soğutma sistemleri yerini almıştır. Bu arada şekil 4.9.'da güneş absorpsiyon sistemi bilinen ortamdaki en iyi iklimlendirme sistemlerinden biridir.

Dünya çapında sıcak günlerin ve soğuk gecelerin sıkıntısını çeken birçok bina, trombe duvarlar adı verilen kalın duvarların ısı emme kapasitesini kullanabilir veya diğer beton yapılar günlük enerjiyi absorbe etmek için kullanılabilir. Başka bir soğutma alanına ihtiyaç duyulması halinde çatıya su püskürtülerek suyun buharlaşmasından soğutma oluşturularak veya aktif veya pasif güneş enerjisi sistemleri kullanılarak güneş enerjisiyle soğutma sistemi kullanılabilir. (Anonymous, 2019)



Fachrizal ve ark. (2024)'nin çalışmalarında şekil 4.10.'da güneş enerjisiyle soğutma sistemi tasarlamak için aşağıdaki adımları izleyin:

1. Güneş enerjisi kollektörü: Çatıya monte edilen bu siyah paneller güneş enerjisini ısıya dönüştürür. İki tip toplayıcı vardır: düz ve boşaltılmış boru.
2. Sıcak su deposu: Bu depo kollektörden çıkan bir çeşit sıcak su bataryasıdır. Su boruları kollektörden tanka akar ve ısıyı aktarır.
3. Kolektör konumu: Kollektörler güneş ışığının fazla olduğu ve güneye bakan bir ortama kurulmalıdır.
4. Enerji ihtiyacının hesaplanması: Kişi sayısına ve sıcak su ihtiyacına göre ihtiyaç duyulan enerji miktarını hesaplayın.
5. Sıcak su dağıtım sistemi: Sıcak suyu odalara taşıyan borular ve cihazlar.



Şekil 4.10. Güneş enerjisiyle soğutma sistemi

- Rüzgar enerjisi ve rüzgar türbinleri

Rüzgar türbinlerinde performans açısından rüzgarın kinetik enerjisi önce mekanik enerjiye, daha sonra da elektrik enerjisine dönüştürülür. Rüzgar enerjisinden rüzgar türbinleri tarafından faydalanılması çok eski bir fikirdir. Örneğin, eski Çin'de ve Yakın Doğu'da ilk rüzgar enerjisi sistemleri uzun süre kullanıldı. Günümüzde rüzgar türbinlerinin faaliyet ve uygulama yelpazesi çok çeşitli endüstrileri kapsamaktadır. Bu türbinler, optimum kullanım ve daha fazla güç üretimi için güneş pilleriyle (fotovoltaik) birleştirilebilir (Balta ve ark., 2014). Rüzgar türbinleri, rüzgar türbininin sabit olması dışında, bir nokta etrafında dönen uçak pervanelerine benzer. Aslında türbinler rüzgarda

hapsolmuş enerjiyi alıp elektriğe dönüştürüyor. Rüzgar türbininin ana bileşenleri şunlardır:

1. Rotor Kanatları: Büyük kanatlar rotor üzerinde bulunur ve uçak kanadının kanat profili gibi kavisli bir şekle sahiptir. Rüzgar bu kanatların üzerinden geçtiğinde, ona "kaldırma" kuvveti adı verilen yukarı doğru bir kuvvet uygular. Rüzgar kinetik enerjisinin bir kısmını kaybeder ve türbin kazanır.

2. Nacelle: Rotorun nacelle adı verilen üst kısmı, kanatlar her zaman rüzgara bakacak şekilde kule üzerinde döner.

3. Jeneratör: Kanatların kinetik enerjisi şaft vasıtasıyla jeneratöre aktarılır. Son olarak jeneratöre aktarılan enerji elektrik enerjisine dönüştürülür (El-Azab, 2021).

Balta ve ark. (2014)'nin çalışmalarında Rüzgar türbinleri iki ana kategoriye ayrılabilir:

➤ Dikey dönme eksenine sahip rüzgar türbinleri: Dikey eksenli türbinler iki ana bölümden oluşur. Rüzgara bakan bir ana direk ve rüzgar yönüne dik olan diğer dikey direkler. Bu tip türbinlerin yapısı oldukça basittir ancak verimliliği düşüktür. Bu tip türbinlerde türbinin bir tarafı rüzgarı diğer tarafına göre daha fazla emer ve sistemin bir çapa bulup dönmesine neden olur. Bu tip tasarımın sonucu, sistemin dönüş hızının rüzgar hızına tam olarak eşit olması ve rüzgar hızının düşük olduğu bölgelerde ortaya çıkmasıdır. Pek kullanışlı değildir ve avantajlarından biri de sistemin rüzgar yönüne bağlı olmamasıdır.

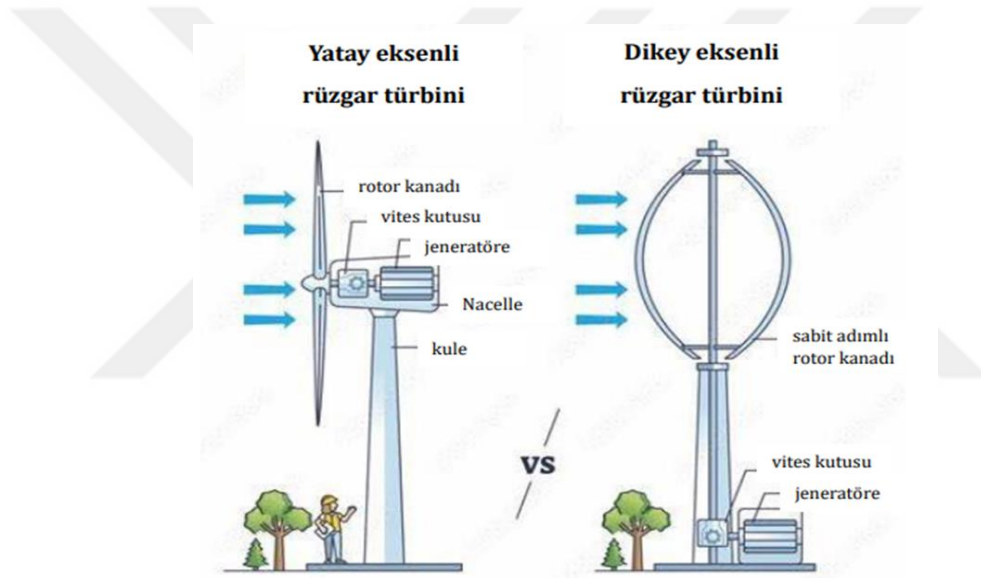
➤ Yatay dönme eksenli rüzgar türbini: Bu tip türbinler dikey eksenli modele göre daha yaygındır. Ancak bunlar daha karmaşık ve pahalıdır, yapımı daha zordur ama çok verimlidirler. Düşük rüzgar hızlarında bile her hızda çalışırlar ve daha ileri tiplerde rüzgarın yönüne göre yönleri ayarlanabilmektedir. Bu türbinlerin görünümü uzun bir tabana monte edilmiş bir kanattır. Bu kanatlar her zaman rüzgarın yönüne yerleştirilir.

şekil 4.11.'de rüzgar türbinleri, çevredeki mevcut enerjiden en iyi şekilde yararlanmak için öncelikle anemometre tarafından mümkün olan en iyi yöne otomatik olarak yerleştirilir.

Rüzgar santrallerinde çok sayıda türbinin birbirine bağlanması ve ulusal bir enerji şebekesinin oluşturulması, daha istikrarlı ve güvenilir bir kaynağa yol açacaktır. Elektrik üretimine sürdürülebilir bir çözüm olan bu teknoloji gelecekte önemli bir rol oynayacak.

Rüzgar enerjisi kullanmanın avantajları (Balta ve ark., 2014):

- yakıtı ihtiyacı yoktur, bu da fosil yakıt tüketimini azaltır
- Rüzgar enerjisi ücretsizdir
- Elektrik enerjisi talebinin bir kısmını karşılama yeteneği
- fosil enerjiden daha ucuzdur ve fosil yakıtlara göre çevreyi kirlletmemesi
- uzun vadede düşük bakım maliyetleri
- Enerji kaynaklarının çeşitliliği ve sürdürülebilir enerji sisteminin oluşturulması
- Suya gerek yok



Şekil 4.11. Rüzgar türbinleri

- Trombe duvar

Trombe duvarı, güneye bakan pencerelerde uygulanan güneş enerjili ısıtma sistemi türüdür, sera ile aynı etkiye sahiptir, kısacası bu şekilde çalışır. Trombe duvarı ilk olarak 1950'lerin sonlarında Fransız bir mucit tarafından ve daha sonra Amerika Birleşik Devletleri'nin New Mexico eyaletindeki bir laboratuvarında yaratıldı. Geceleri, duvarın emici yüzeyinin ve bitişik katmanlarının sıcaklığı oda hava sıcaklığının altına düşer. Bu, soğuk havanın cam boşlukta yoğunlaşması nedeniyle eve alttan soğuk havanın girmesine ve sıcak havanın üst havalandırma deliğinden duvar ile cam arasındaki odaya girmesine neden olur; Bu nedenle açıklıkları kontrol etmenin en pratik yolu trompe duvarının üst açıklığında yer alan hafif bir plakadır (Hu ve ark., 2017).

Trombe duvarında enerjinin yayılması bir tür dolaylı sistemdir. Bu sistem, güneye bakan, yapı malzemelerinden yapılmış karanlık bir duvar ve onu kaplayan camdan oluşan bir tür termal depolama duvarıdır. Cam boşluk ile emici duvar arasında bir boşluk bulunmaktadır ve bu boşluk, sıcak ve soğuk havanın akışına neden olmaktadır (Al-Yasiri ve Szabó, 2021).

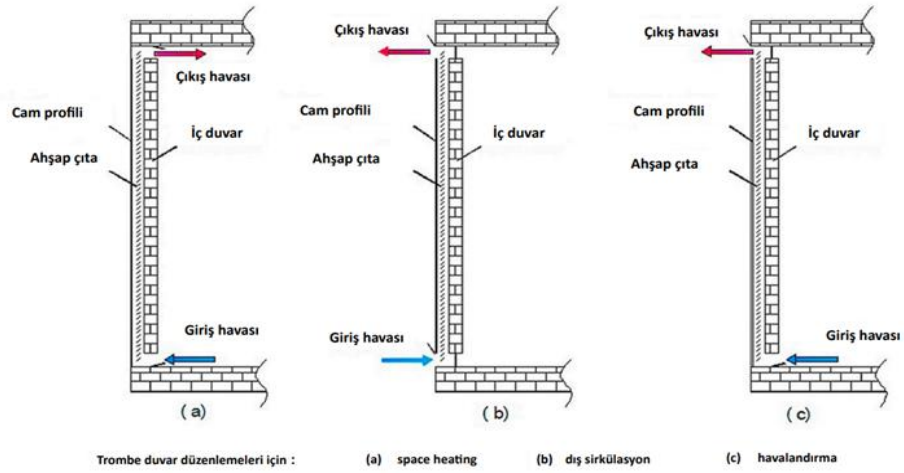
Hu ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada, trombe duvarı ısıtma ve soğutma amaçlı kullanılmakta olup farklı tipleri bulunmaktadır.

- Trombe ısıtma duvarları çeşitleri:
 - Klasik Trombe Duvarı (CTW)
 - Trombe Kaposit Duvarı veya Trombe Michel Duvarı (TMW)
 - Mavi Trompe Duvarı (WTW)
 - Trombe Zikzak Duvarı (ZTW)
 - Şeffaf Güneş Trombe Duvarı (STW)
 - Trombe Fotovoltaik Duvarı (PVTW)
- Trombe soğutma duvarı çeşitleri:
 - Seramik buharlaşmalı soğutma duvarı (CETW)
 - Soğutma modu için Klasik Trombe duvarı ve Fotovoltaik Trombe duvarı
 - Trombe duvarının güneş bacası ile kombinasyonu (SCTW)

Bu duvar basit bir konfigürasyona sahiptir ve klasik Trombe duvarı olarak bilinen güneş ışığını toplayacak ve iç mekana ısıtma sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Duvarın dış yüzeyi yutma katsayısını arttırmak için siyaha boyandı ve önünde cam yüzey bulunarak duvar ile cam arasında kanal oluşturuldu. Aşağıdaki şekil bu tip duvarların nasıl çalıştığını göstermektedir (Hu ve ark., 2017).

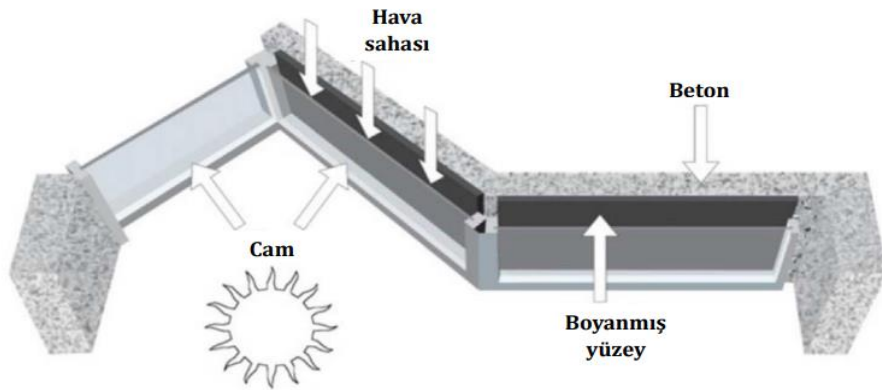
Klasik Trombe duvarı şekil 4.12.'de, güneş ışıınımını kullanarak hava boşluğunda ve cam yüzeyinde sera etkisi yaratıp, ısınıp emerek masif duvarda depolayabiliyor. Klasik trombe duvarlarda ısı kaybını azaltmanın bir diğer yolu ise beton, tuğla, kil ve taş gibi yapı malzemeleri yerine termal kapasitör olarak suyun kullanılmasıdır.

Böylece Trombe mavi duvarı icat edildi. Suyun özgül ısısı yapı malzemelerinden daha yüksek olduğundan yapı malzemelerinin yüzey sıcaklığı artmaz. Sonuç olarak, cam yüzeyinden (dışarıya) daha az ısı geri döner. Ancak suyun korunması, malzemenin korunmasından çok daha zordur (Al-Yasiri ve Szabó, 2021).



Şekil 4.12. Trombe duvar detayı 1

Şekil 4.13.'de başka bir trombe duvarı türü, aşırı ısıyı azaltmak için tasarlanmış zikzak trombe duvarıdır. Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi bu duvar üç bölümden oluşmaktadır. Bir bölüm güneye bakarken diğer iki bölümün köşeleri içe doğru bakıyor ve V şeklinde bir duvar oluşturuyor. Güneydoğuya bakan bölümde sabahın erken saatlerinde hızlı ısınmaya ihtiyaç duyulan soğukta ışık ve ısı sağlayan bir ışık bulunmaktadır. Trombe V şeklindeki duvarın önünde gecenin soğuk saatlerinde ısıyı yaymak için ısıyı depolayan klasik Trombe duvarı yer alıyor (Hu ve ark., 2017).



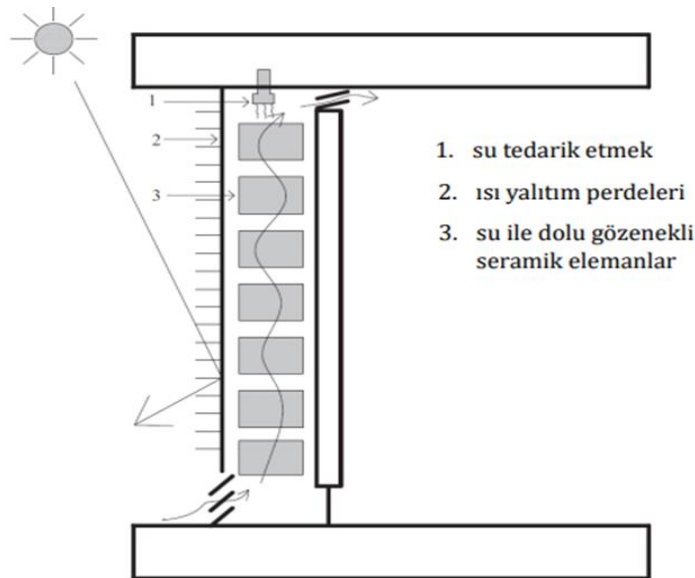
Şekil 4.13. Trombe duvar detayı 2

Fotovoltaik Trombe duvarı olarak bilinen klasik Trombe duvarında güneş pilleri kullanılarak bir başka Trombe ısıtma duvarı türü icat edilmiştir. Bu Trombe Fotovoltaik duvar, yalnızca mekanın ısıtılması için gerekli ısıyı sağlamakla kalmıyor, aynı zamanda elektrik üretiyor ve bu da aynı zamanda güzellik değerini de artırıyor. Cam üzerindeki fotovoltaik kaplama Trombe duvarının ısınma kabiliyetini azaltır.

- Trombe soğutma duvarı

Şekil 4.14.'de seramik evaporatif soğutma duvarında güneş ışınımının doğrudan girişini engellemek için dış yansımali yalıtım perdesi kullanılır. Bu tip duvarda iç duvarda temiz su ile doldurulmuş seramik elemanlar kullanılır. Dış havanın girişi hava boşluğunun alt kısmındaki yuvalardan, hava çıkışı ise üst kısımdadır. Yaz aylarında bu hava boşluğu, dış hava sıcaklığını azaltmak için soğutma alanı görevi görür (Hu ve ark., 2017). Trombe duvarı ve güneş bacasının birleşimi olan Trombe duvarının bir diğer türü ise sıcak ve kuru alanlarda test edilmiştir. Hu ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada, bu yenilikçi tasarım, önceki iki soğutma sisteminin ana kusurlarını kapsamaktadır:

- Trombe duvarının yılın yarısında kullanılamaması
- gün sonunda Trombe duvarının hava akımı oluşturamaması



Şekil 4.14. Trombe duvar detayı 3

Ayrıca bu yeni tasarımda, güneş ışınlamını tek taraftan soğuran klasik Trombe duvarından farklı olarak doğu, güney ve batı olmak üzere üç yönden güneş ışınlamı alma imkanı sağlayacak bir kanal yerleştirilmiştir. Ayrıca hava sıcaklığını düşürmek ve odadaki nemi arttırmak amacıyla her iki hava girişinde de sprej sistemi bulunmaktadır. Sonuçlara göre, su spreji kullanımı sistemin termal verimliliğini yaklaşık %30 oranında artırmaktadır.

- yeşil çatı

Çatıyı korurken çatıda bitki büyümesini sağlayan, tasarlanmış hafif bir sistemdir. Yeşil çatı, yalnızca yeşil renkle kaplanmış bir yüzey değil, aynı zamanda çatının üstündeki toprak tabakasında bulunan bitkisel bitkilerin de yaşadığı bir yüzeydir ve bu duvarlar havada toz yayılmasını önler, binayı ultraviyole ışıklardan ve güneş ışıklarından, yağmur ve rüzgar basıncından korur (Velazquez, 2005).

Böyle bir çatının uygulama detayları alışılmış çatılardan pek farklı olmayıp nem, ısı yalıtımı, kum geçirmez kaplama ve dikiş kaplamasını içermesinin yanı sıra inşaatta nem drenajını ve tesis bakımını (Standartlara uygun olarak) sağlayabilecek malzeme ve elemanları da içerir.

Çatıda bahçe ve üzerinde tarım yapılması fikri eski çağlarda 2500 yıl önce İranlılar tarafından ve ziguratların çatılarında kullanılmış olup, milattan 600 yıl öncesine kadar Babil halkı tarafından Babil'in asma bahçelerinde inşa edilmiştir. Yeşil çatı tasarımının modern ilkeleri, 1970'lerde Almanya'da doğal çevreyi eski haline getirmek ve onu korumak için çatıya bir katman eklemek amacıyla güçlü bir şekilde geliştirildi. Geçmişten günümüze şehirlerimizde artan yeşil alan ihtiyacı ve sağladığı büyük çevresel ve ekonomik faydalar nedeniyle yeşil çatılar oldukça yaygınlaşmıştır. Bam bahçesinin bileşenleri beş genel kategoriye ayrılabilir:

- Bitki örtüsü katmanı Bitki katmanı (Plant layer)
- Yetiştirme ortamı (Growing medium)
- Drenaj katmanı (Drainage layer)
- Koruma katmanı (Protection layer)
- Çatı konstrüksiyonu (Roof construction)

Velazquez (205), yeşil çatı yürütme sistemleri:

- Kapsamlı yeşil çatı sistemi (Extensive):
 - Bu tür yeşil çatı sığdır ve yalnızca bir veya iki tür bitkiyi içerir

- Doğal bitki örtüsü kullanılıyor
- Daha düşük bakım maliyetleri vardır
- Yağmur suyu kaybını azaltmak ve çevreyi korumak için uygundur

➤ Yarı kapsamlı yeşil çatı sistemi (Semi-Extensive):

- Daha derin bir ekim yatağına sahiptir
- Yapay ve doğal bitkiler kullanılmaktadır
- Çiçekli bitkiler ve çimenler kullanarak güzelliği arttırmaya uygundur

➤ Yoğun yeşil çatı sistemi (Intensive):

- Daha derin bir ekim yatağına sahip olup içerisinde farklı türde bitkiler yetiştirilebilmektedir

- Daha fazla bakıma ihtiyacı var
- Park ve bahçe gibi yeşil alanlar oluşturmaya uygundur

➤ Modüler yeşil çatı sistemi veya Ekici Kutusu (Planter Box): Bu sistemde bitki ve ekim ortamı yeşil çatının tamamını veya büyük bir kısmını kaplayan özel kutularda muhafaza edilir. Modüler olmayan sistemde bitkilendirme ortamı yeşil çatı üzerinde sürekli bir katmandır.

➤ Biyoçeşitlilik yeşil çatıları (Biodiversity): Bu tip yeşil çatılar ekolojik amaçlarla kullanılmaktadır. Bu çatı tipinde, arı ve küçük böcekler gibi hayvanları çekmek için kırma taş, kum, kauçuk veya ağaç kütükleri gibi geri dönüştürülmüş malzemeler kullanılır. Bu tip çatılara bazen kahverengi çatı da (brown roof) denir. Bu yeşil çatı çevreye yardımcı oluyor ve sürdürülebilir bir çevre yaratmaya yönelik yerel politikaların belirlenmesinde pratik bir araç olarak kullanılabilir.

Doukari ve ark. (2022) yaptıkları çalışmada, yeşil çatı tasarımında önemli noktalar :

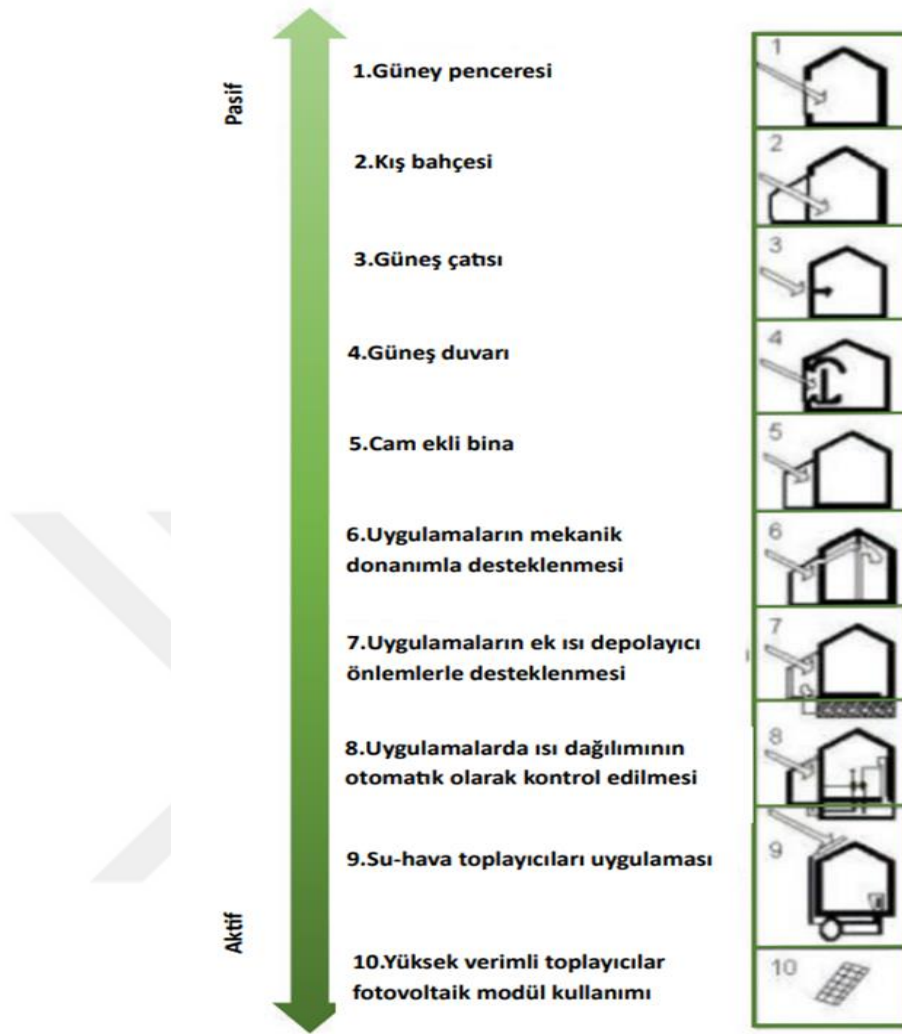
- Her bir yeşil çatı tipinin tasarımı için binanın ve çatının sağlamlığı, bina yükünün dağılımı, anten, soğutucu vb. mevcut tesislerin konumu, drenajın kontrol edilmesi gibi birçok husus dikkate alınır. Binanın çatısı vs. mutlaka muayene edilmeli ki uygulama sırasında veya sonrasında çatıda veya binada sorun yaşanmasın.

- Yeşil çatı uygulamasında ağırlık sınırı dikkate alındığında kullanılan malzeme cinsinin seçimi oldukça önem kazanmaktadır. Sonuç olarak diğer tasarımlarda (park, zemin vb.) kullanılan herhangi bir malzeme türünün seçilmesi mümkün değildir.

- Yeşil çatıların uygulanmasının önemli aşamalarından biri, çatıyı nemden yalıtan yeşil çatı alt katmanının temeli veya oluşturulmasıdır. Altyapının uygulanmasından sonra çatının yalıtımının sağlanması için 2 veya 3 gün içerisinde su testinin yapılması gerekmektedir.

- Genel olarak geniş yeşil çatılar yağmur suyu kaybını azaltır, hava kalitesini iyileştirir ve şehirlerin güzelliğini artırır. Yeşil çatı sisteminin tipinin seçimi ihtiyaçlara ve istenilen ortama bağlıdır.

Dolayısıyla şekil 4.15.'de yeşil çatı ve duvarlar gibi çözümler kullanarak, doğayla yüzleşmek yerine onunla birlikte tasarım yaparak, çevrenin korunması ve insan yaşamının sürdürülmesi konusunda çağdaş mimarinin ve kentsel gelişimin sürdürülebilirliğine ve kalkınmanın güvenle büyümesine katkıda bulunmak mümkündür. Bu bakımdan projenin ağırlığı, maliyeti, garantisi ve motivasyonu açısından geri dönüştürülmüş malzeme ve yerli bitki türlerinin kullanımına dikkat edilmesi, çatı, duvar vb. bakımlarının yapılması çevre ve doğayla uyumlu uygun bir kombinasyon oluşturabilir (Velazquez, 2005).

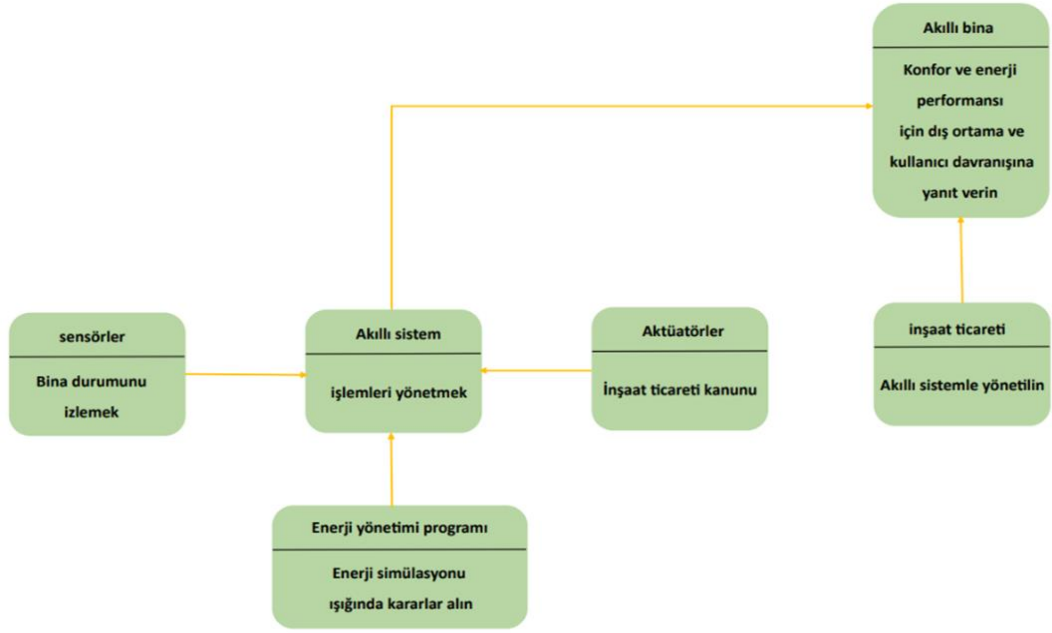


Şekil 4.15. Pasif ve aktif system şeması

- Akıllı bina çalışma sistemi

Doukari ve ark. (2022) yaptıkları çalışmada, aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi akıllı bir bina iki bölümden oluşur :

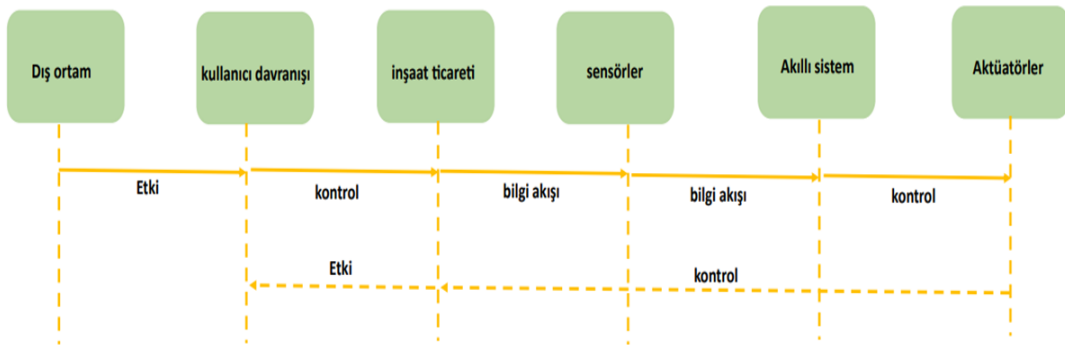
- (a) Fiziksel varlıktan dijital versiyona ve tersi yöndeki faaliyetleri ve bilgi alışverişini yöneten akıllı bir sistemdir. Cepheler, merdivenler, çatılar, yalıtım, bölmeler, klima ve elektrik bileşenleri, yangın güvenliği gibi birçok ticari bileşeni yönetir.
- (b) Akıllı bir binadaki akıllı sistem, sensörlerden ve enerji simülasyonundan alınan verilere göre binanın enerji tüketimini yönetmek için bir dizi sensör ve aktüatör bileşeninin yanı sıra bir karar motoruna ihtiyaç duyar.



Şekil 4.17. Akıllı bina ve dış çevreye , blok tanımı diyagramı

Doukari ve ark. (2022) yaptıkları çalışmada, şekil 4.18. binanın iki kullanımını göstermektedir:

1. akıllı sistem ve bileşenleri aracılığıyla enerji tüketimini kontrol etmek ve optimize etmek ve
2. ticari bileşenlere göre hareket ederek kullanıcılar için iç mekanda konfor yaratmak.

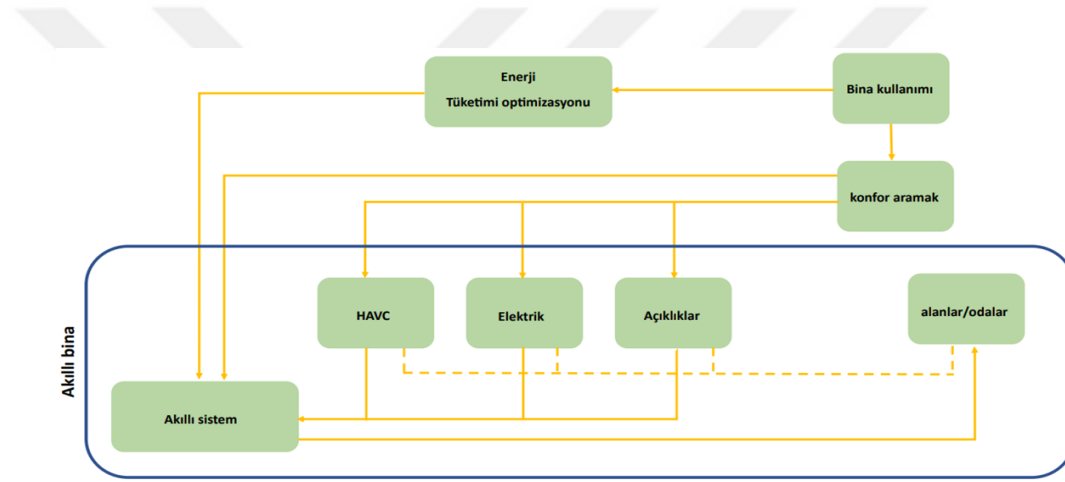


Şekil 4.18. Akıllı bina ve Sıra diyagramı

Şekil 4.19. akıllı yapı bloğunun kapsüllenmiş yapısal içeriğini gösteren bir yakınlaştırm a görüntüsüdür.

Akıllı binalarda daha kaliteli bir yaşam ve çalışma ortamı sağlayan çeşitli sınıflandırılmış akıllı hizmetler bulunmaktadır. Bu tipler, evlerde ve binalarda hedef ihtiyaçlara ve tercih edilen teknik uygulamalara bağlıdır. Balta ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada, üç kategoriye ayrılmıştır:

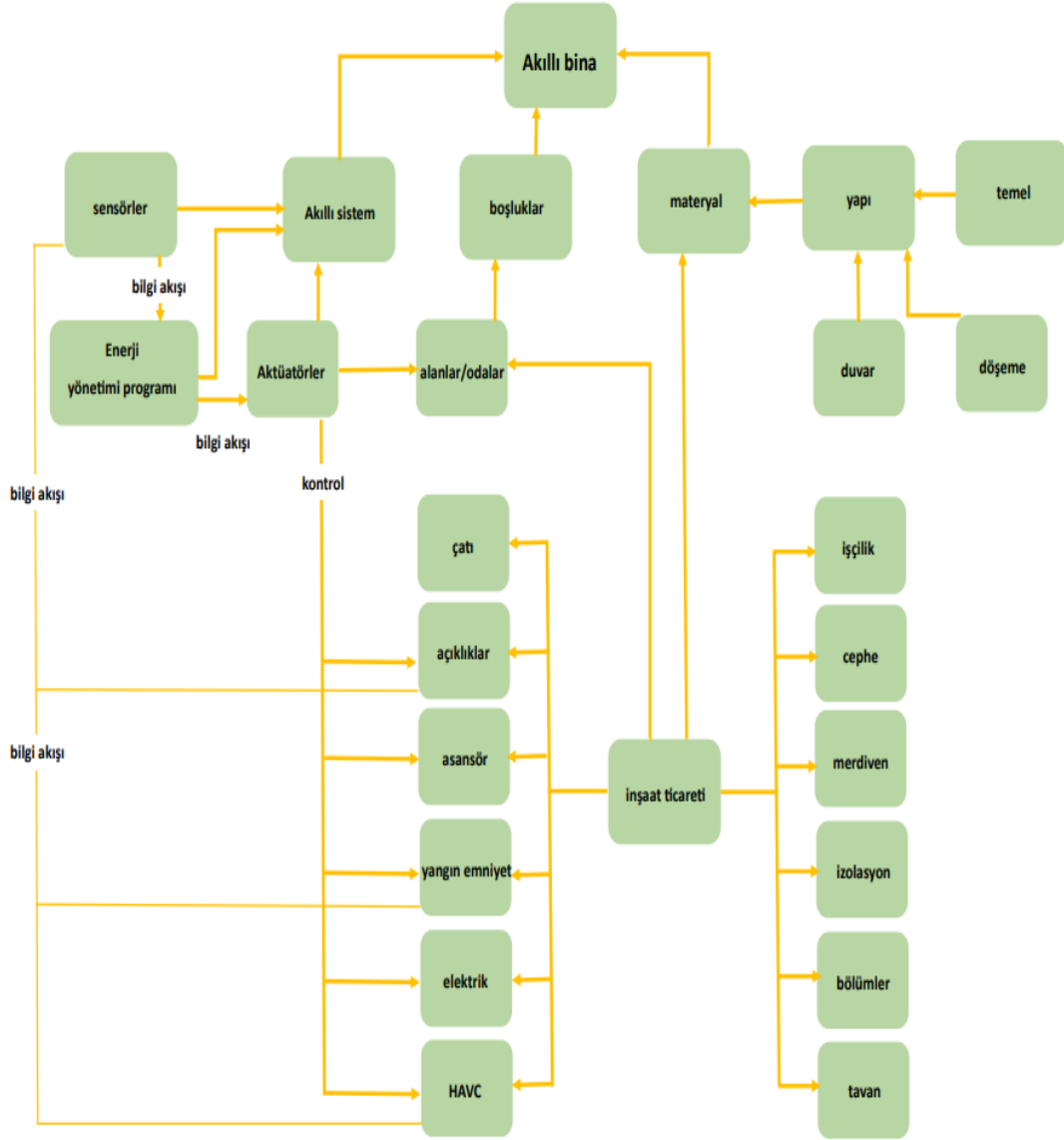
- enerji tüketimi
- güvenlik yönetimi
- ve bütünsel bir yaklaşım kullanarak yaşam tarzı desteği



Şekil 4.19. Akıllı bina kullanımı

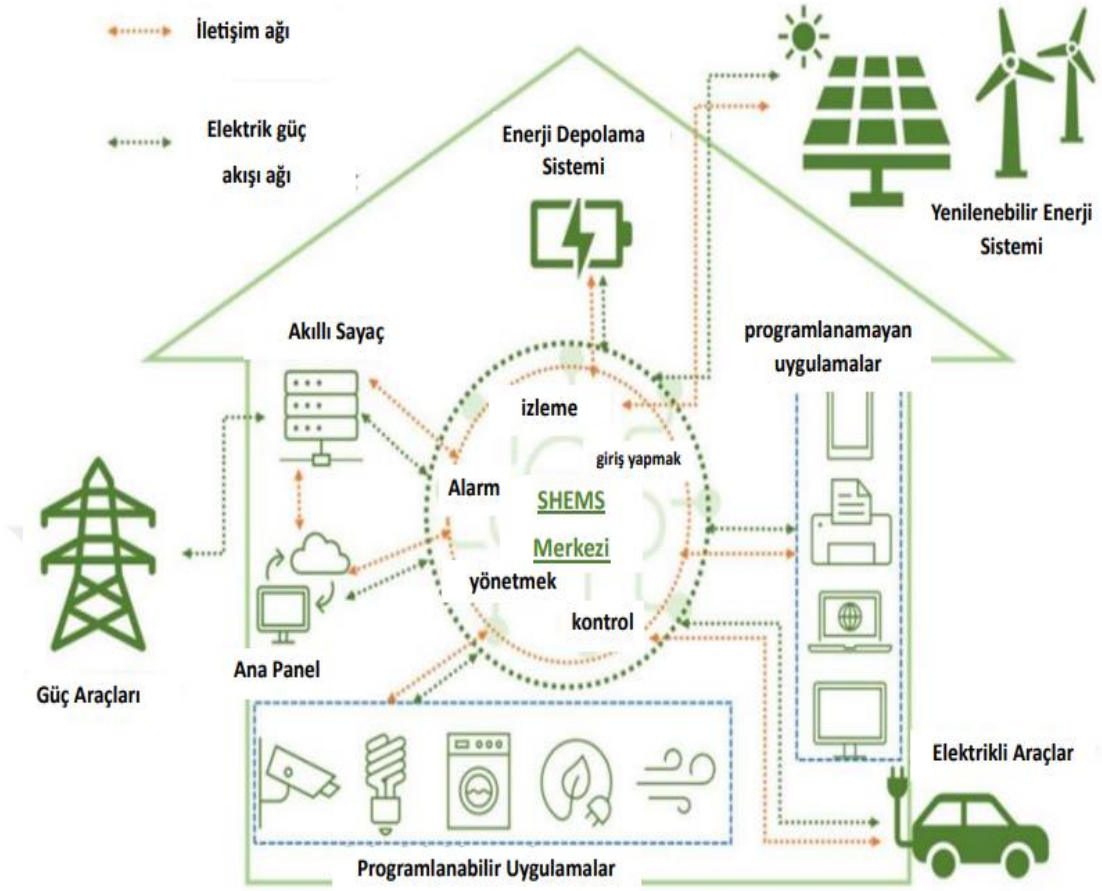
Kim ve ark. (2022) yaptıkları çalışmada, şekil 4.20. görüldüğü gibi SHEMS sistemi yukarıdaki hedeflere ulaşmak için tasarlanmıştır. İzleme sayaçları, sensör cihazları, elektrikli cihazların kontrolör/optimizasyon yönetimi, yenilenebilir enerji sistemleri ve bunların iletişim ağları ve elektrik gücü ile enerji depolaması da dahil olmak üzere SHEMS'in çeşitli bileşenleri bulunmaktadır. Bu bileşenlerin her biri, bir ev ağı alanındaki enerji akışını yönetmek için kullanılabilir. Örneğin bir akıllı sayaç, elektrikli cihazlar veya ısıtma/soğutma sistemleri tarafından tüketilen ev enerji tüketimini izler. Bu tüketim bilgisi sensör cihazlarından alete SHEMS iletişim ağı üzerinden iletilir. Optimize edici/kontrolör, binanın enerji tüketimi girdisini ve sahadaki elektrik üretimini yansıtarak operasyonel programların optimum koordinasyonu için en

iyi kararları alır. Ayrıca SHERMS, termal konfor, görsel konfor ve hava kalitesi dahil olmak üzere bina sakinlerinin konforunun faydalarını en üst düzeye çıkarabilir.



Şekil 4.20. Akıllı bina iç blok diyagramı

Şekil 4.21’de gibi yenilenebilir enerji sistemlerine sahip akıllı binaların büyük ölçekli uygulaması, daha az tüketim ve sahadan enerji dağıtım ağına artan fazla enerji üretimi nedeniyle mevcut enerji talep modellerini etkileyebilir.



Şekil 4.21. Akıllı binalarda SHEMS sistemi

Kim ve ark. (2022) yaptıkları çalışmada, net sıfır enerjili akıllı binaların başarılı bir şekilde tasarlanması için ağ altyapısında giriş/çıkış parametrelerinin ve kaynaklarının dikkate alınması gerekir. Bunları şu şekilde sıralayabiliriz:

- Elektrik/termal verimlilik
- Coğrafi konumun özellikleri
- Enerji fiyatı
- Enerji talebi
- Termal konfor ve güvenlik

Şekil 4.22’de pasif ve aktif sistemler tek yapıda birleştirilirse asıl amaca ulaşılır. Arazi verimliliği, binanın konumu, doğru tasarım kriterleri olan gün ışığı, gölge, rüzgar verilerine göre dikkate alınarak pasif bir evin çatısında tüketilen elektrik enerjisinin üretilmesi mümkündür ve pasif bir evin daha az enerji tüketmesi ve yeterince yalıtılması gerekir. Pasif ve aktif sistemlerle inşa edilen akıllı binalar, sürdürülebilir yeşil bina

kavramını desteklemekte ve önemli bir katkı sağlamaktadır. Aşağıdaki durumlarda akıllı bina tasarımı yönünde alınması gereken aksiyonlar tartışılacak olup, aşağıdaki şekil bu konunun net bir sunumudur.

➤ Akıllı pencereler: Binaya giren güneş ışınımının miktarını ayarlayabilirler. Kış aylarında güneş ışınları pencereden geçip odaya girebilirken (radyatör etkisi), yazın ise mekanları güneş ışınlarından uzak tutabilmektedir. Akıllı pencereler güneşin zararlı ışınlarının etkilerine karşı önlem alabiliyor.

➤ Akıllı aydınlatma: Gün ışığını takip ederek bina içerisine ileten yeni fiber optik aydınlatma sistemi oluşturulmuştur. Akıllı LED'ler kullanılarak aydınlatmanın yenilenmesi tamamlandı

➤ Camlarda güneş ışığını emip elektrik enerjisine dönüştürebilen malzemeler kullanılıyor.

➤ Sistem mekanizmaları ve nesnelerin interneti teknolojisi sayesinde panjur ve perdeler tek tek veya grup halinde kontrol edilebilmektedir. Panjur ve perde sistemleri hava durumu, ortam sıcaklığı gibi verilere göre otomatik olarak açılıp kapanabilmektedir.

➤ Akşam hava kararmaya başladığında perdeler komutla açılmaya başlıyor, hava aydınlanmaya başladığında ise perdeler açıksa kapanmaya başlıyor.

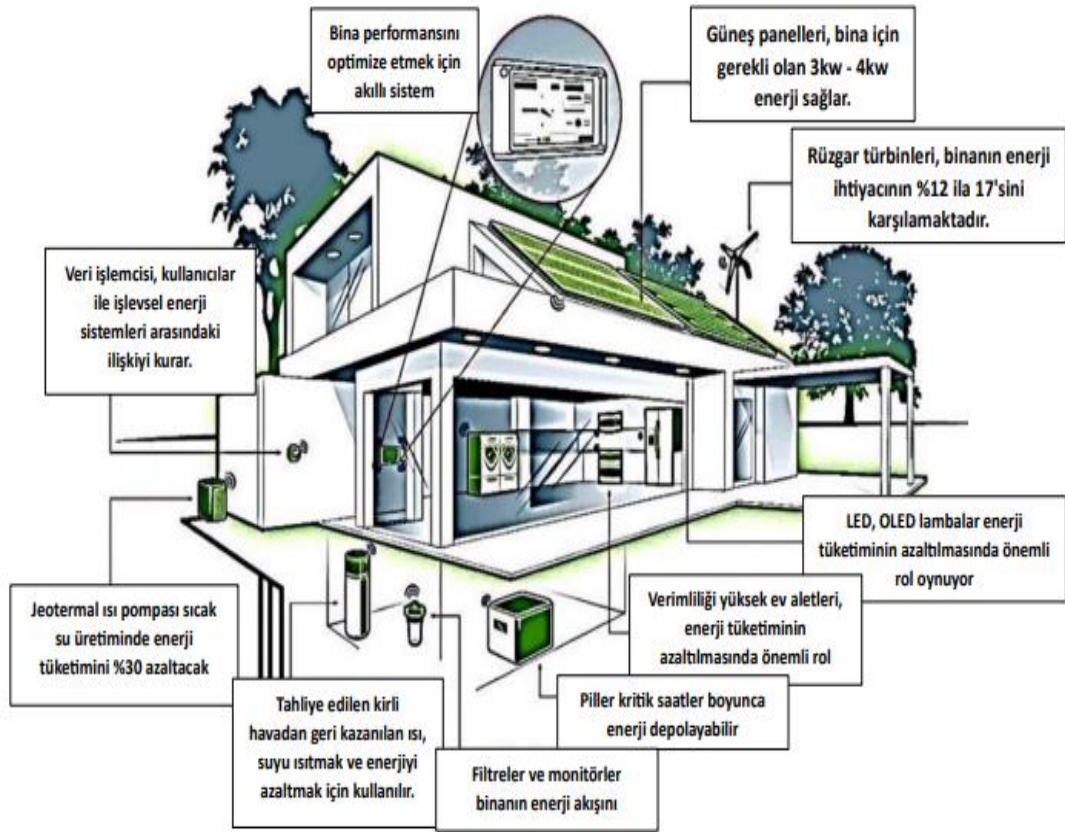
➤ Bina cephesinde kullanılan akıllı güneş panelleri binaya giren güneş ışığını mevsime ve güneşin açısına göre yönlendirerek aşırı ısınmanın önüne geçmektedir.

➤ Akıllı binalar, çevredeki hava koşullarına göre içerideki sıcaklığı ayarlayabiliyor. Oda sıcaklığı uygun seviyeye ayarlanırken aynı zamanda enerji tasarrufu da sağlanır. Akıllı binalarda sıcaklık sensörler aracılığıyla otomatik olarak kontrol edilebilmektedir. Ağ ve kişisel bilgisayarlar yardımıyla klima gibi sistemlerin ayarları yapılarak istenilen sıcaklık ve konfor yaratılır.

➤ Bina boşluklarına yerleştirilen akıllı termostatlar ve sensörler oda sıcaklığını ölçerek ilgili soğutma sistemine aktarabiliyor.

➤ Akıllı binalar evin kullanılmadığı durumları anlayarak sıcaklık dengesini ayarlayabiliyor. Senaryolara göre gereksiz enerji tüketiminin önüne geçiliyor ve evin tüm bölümlerinin sıcaklık ölçümü akıllı termostat kullanılarak yapılıyor.

- Akıllı bina ısıtma sistemleri yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak kurulabilmektedir. Güneş paneli sistemleri veya atıklardan ısı üretebilen sistemler, bina ısıtma konusunda akıllı ve sürdürülebilir çözümler getiriyor.
- Yağmur suyu depolanarak akıllı sistemlerle elektrik enerjisi üretilabiliyor.
- Temizlenen yağmur suyu evsel su olarak kullanılabilir.
- Güneş kollektörleri sıcak su temini ve enerji üretimi için, güneş panelleri ise elektrik enerjisi için kullanılabilir.
- Yalıtım ve önlem alma durumu, teknolojinin gelişmesiyle birlikte yapı malzemeleri de daha akıllı hale geldi. Cephe ve zeminde ısıyı depolayan akıllı malzemeler kullanıldı.



Şekil 4.22. General electric firmasının 2015 yılı için önerilen akıllı bina örneği

4.5. Sıfır Enerji (Karbon Nötr)

Küresel ısınmayla mücadele etmek için dünyadaki çoğu ülke karbon nötr hedefler belirledi ve karbon nötrlüğe ulaşmak için sürekli çalışıyor. İnşaat sektörü küresel olarak nihai enerji tüketiminin %36'sını ve enerjiyle ilişkili CO₂ emisyonlarının %37'sini oluşturuyor, bu nedenle inşaat sektöründeki karbon azaltımı, küresel karbon nötrlüğüne yönelik "son eylemin" tamamlanmasında en önemli adım olarak kabul ediliyor. Düşük karbonlu binalar ve topluluklar, düşük karbonlu şehirlere ulaşmanın temelini ve karbon nötrlüğü hedefine ulaşmanın temel geçişini oluşturuyor (Li ve ark., 2023). Sıfır enerjili bina (ZEB), teknolojileri ve yenilenebilir enerjileri kullanarak enerji ihtiyacını dengeleyebilecek şekilde yüksek verime ulaşarak enerji ihtiyacında önemli bir azalma sağlayan konut veya ticari bir binadır. 20. yüzyılın sonlarında mimarlar bu yöntemi kullanarak enerji şebekesine bağımlı olmadan enerji ihtiyaçlarını karşılayan, düşük tüketimli binalar tasarlayabildiler. Sıfır enerji terimi, binaların tüm enerji ihtiyaçlarını yenilenebilir, temiz, kendi bünyesinde mevcut ve düşük maliyetli kaynaklarla karşılayabileceği düşüncesidir (Torcellini ve ark., 2006). Dünyadaki farklı ülkelerin iklim koşullarına ve ekonomik gelişmişlik durumlarına göre, düşük karbonlu binalara ve topluluklara yönelik tanımlar ve değerlendirme standartları farklıdır, ancak hepsi yerli inşaat sektörünün gelişmesi için temel gereksinimleri karşılamaktadır.

IPCC'nin düşük karbonlu binalara ilişkin tanımı, inşaat ve işletme sırasında düşük enerji tüketimi ve başta CO₂ olmak üzere daha az kirletici emisyonu olan yeşil bir binanın düşük karbonlu bina olarak adlandırılabilceği şeklindedir. Küresel Yeşil Bina Konseyi (GBC World) da düşük karbonlu binalar için benzer bir tanıma sahiptir: Yeşil bina, tasarımında, inşaatında veya işletiminde iklimin ve doğal çevremizin olumsuz etkilerini azaltan veya ortadan kaldıran bir binadır ve yeşil bina, bina üzerinde olumlu etkileri vardır (Anonymous., 2018). Düşük karbonlu bir bina, binanın tüm yaşam döngüsü boyunca daha az CO₂ emisyonuna sahip bir bina olarak yorumlanabilir veya binaların tüm yaşam döngüsü boyunca fosil enerji tüketiminin azaltılması, enerji verimliliğinin artırılması ve CO₂ emisyonlarının azaltılması olarak da yorumlanabilir (Li ve ark., 2023). Şu anda, "düşük karbonlu toplum" tanımı esas olarak farklı araştırma perspektiflerinden açıklanmaktadır. Düşük karbon ekonomisi açısından bakıldığında düşük karbonlu toplum, kent toplumunun üretim biçimi, yaşam tarzı ve değer kavramlarının düşük karbonlu ekonomi modeli kapsamında dönüştürülmesidir. Karbon

emisyonu açısından bakıldığında, düşük karbonlu toplum, toplumun tüm faaliyetleri tarafından üretilen karbon emisyonunu azaltmanın yanı sıra, ekolojik yeşillendirme ve diğer önlemlerle sıfır karbon emisyonu hedefine ulaşmayı umduğu anlamına gelir. Mimari tasarım açısından bakıldığında, düşük karbonlu toplum, enerji tasarrufu ve çevreyi koruma konusunda eksiksiz bir sistemdir (Tan ve ark., 2018). Sürdürülebilir kalkınma kavramından hareketle düşük karbonlu toplum inşasının temelini sıfır enerji tüketim sistemi olduğu anlaşılabılır. Sıfır enerji tasarımı kavramı, doğal enerji kullanımını en üst düzeye çıkarmak, çevreye verilen zararı ve kirliliği azaltmak, sıfır fosil enerji kullanma hedefine ulaşmak ve enerji talebinin temel geri dönüşümünü gerçekleştirmektir. Yenilenebilir enerjiler işletme sırasında CO₂ emisyonu üretmezler, dolayısıyla yenilenebilir enerjiler sıfır karbonun önemli kaynaklarından biridir ve sıfır karbon enerjisi olarak da adlandırılır. Binalardaki ve toplumdaki sınırlı alan nedeniyle rüzgar enerjisinden yararlanmaya yönelik genel teknoloji küçüktür ve mikro rüzgar türbinleri genellikle yüksek binalarda kullanılır. Biyokütle teknolojileri genellikle kırsal alanlarda kullanılmakta olup biyogaz ve biyokütle ısı dönüşüm teknolojileri olarak ikiye ayrılmaktadır. Ancak toplama ve depolama, taşıma ve çevre sorunları nedeniyle çoğunlukla şehirlerde daha az kullanılıyorlar. Yenilenebilir enerjiler kesintili, rastgele ve değişkendir ve bu durum sistem istikrarsızlığına neden olabilir. Bu nedenle yenilenebilir enerji sisteminin sürdürülebilirliğini arttırmak için enerji depolama teknolojisine veya yardımcı bir enerji sistemine ihtiyaç duyulmaktadır (Li ve ark., 2023).

4.5.1. Ekonomik değerlendirme ve azaltım tedbirlerinin faydaları

Volt ve ark. (2022) yaptıkları çalışmada, binalardaki önlemlerin azaltılması birçok ortak fayda sağlar:

- İyileşen iç ve dış koşullar nedeniyle sağlık yararları
- Konut dışı binalarda verimliliğin artırılması
- Enerji tüketiminin ve sera gazı emisyonlarının azaltılması üzerindeki

doğrudan etkileri

- Özellikle yerel düzeyde yeni işler yaratmak
- Sosyal refahta iyileşme

Çoğu çalışma, bu çoklu faydaların değerinin, enerji tasarrufunun değerinden daha ağır bastığı konusunda hemfikirdir ve azaltma önlemlerinin ekonomik

değerlendirmesine bunların dahil edilmesi, bunların maliyet etkinliğini önemli ölçüde artırabilir. Ayrıca, bazı durumlarda inşaat sektörünün güçlü geri tepme etkileriyle karakterize edildiğini ve bu durumun ilgili mekanizmaların devreye girdiği durumlarda uygun fiyatlı enerjiye daha hızlı erişim sağlayabileceğini belirtmekte fayda var. Ancak enerji tüketimindeki artışın dışsal maliyetlerinin, enerji hizmetlerinin tüketimindeki artışın neden olduğu refah faydalarını aşması durumunda azaltım tedbirlerinin ekonomik performansı düşmektedir (Volt ve ark., 2022).

Düşük karbonlu enerji sistemleri üzerine yapılan mevcut çalışmaların çoğu, düşük karbonlu teknolojilerin ekonomik etkilerinin değerlendirilmesine odaklanan ekonomik değerlendirmeyi içermektedir. Değerlendirme göstergeleri maliyet tasarruflarını, seviyelendirilmiş enerji maliyetini ve net bugünkü değeri içerir. Atığı biyogaza entegre eden sıfıra yakın karbonlu bölgesel enerji sistemi üzerinde ekonomik bir değerlendirme yapıldı ve bu sistemin karbon emisyonu sınırlaması altında başlangıç maliyetini %77,07'ye kadar düşürebildiğini ve enerji maliyetini de aynı seviyede düşürebildiğini gösterdi (Wang ve ark., 2022). Bununla birlikte, düşük karbonlu teknolojilerin ekonomik performansı, ilk yatırım dikkate alındığında genellikle zayıf, hatta düşük karbonlu ekipmanların ölçeği belirli bir düzeye ulaştığında olumsuzdur. Düşük karbonlu temel ekipmanların maliyetinin azaltılması, düşük karbonlu enerji sistemlerinin ekonomisini iyileştirebilir (Liu ve ark., 2022). Düşük karbonlu teknolojilerin kullanılması ilk yatırımı artırsa da işletme maliyetleri azaltılabilir.

Birçok ülkede düşük karbonlu binaların ve toplulukların gelişimi uzun süredir idari güce ve mali bütçelere dayanıyordu. Bu projeler esas olarak hükümet tarafından finanse edilmektedir ve zorunlu gereklilikler ve hükümetin mali teşvikleri tarafından yukarıdan aşağıya doğru yönlendirilmektedir. Düşük karbonlu binalar ve toplulukların piyasa mekanizması henüz oluşmamıştır ve bunun da gelişimi üzerinde özel bir etkisi vardır (Mata ve ark., 2021). Farklı ülkelerde düşük karbon hedeflerinin uygulamaya konmasıyla birlikte, inşaat sektöründe enerji tasarrufu ve sera gazı emisyonlarının azaltılması önemli zorluklarla karşı karşıyadır. Düşük karbonlu binalar ve topluluklar, çeşitli teşvikler ve hükümet çabaları kapsamında hızla gelişiyor, ancak aynı zamanda zorluklarla da karşı karşıyalar. Dünya çapında düşük karbonlu binaların ve toplulukların gelişim düzeyi hâlâ eşitsizdir; bu durum, farklı ülkelerdeki insanların düşük karbonlu binalara ve topluluklara verdiği önemin yanı sıra, her bölgenin siyaseti, ekonomisi,

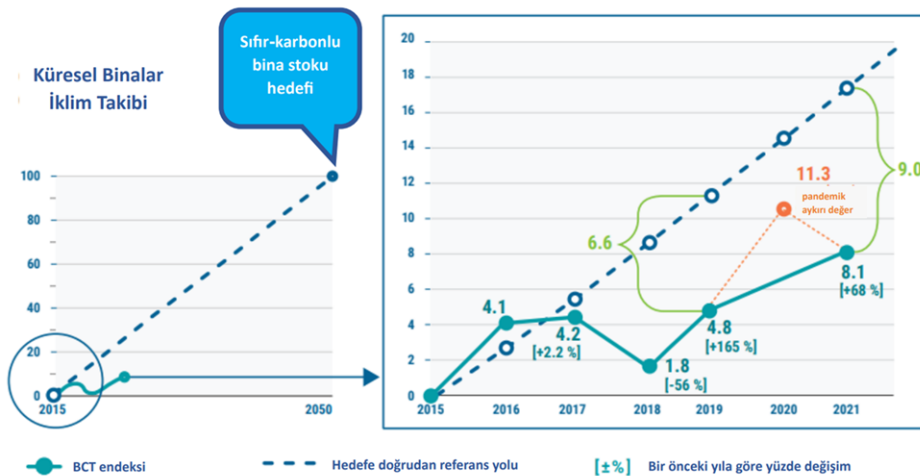
düşük karbon teknolojisi ve düşük karbon değerlendirme standartlarıyla da yakından ilgilidir. Binalarda enerji tüketimini iyileştirmenin bir diğer önemli unsuru da sakinlerin davranışlarıdır. Bölge sakinlerini seçimlerinin sonuçları konusunda bilgilendirmek, tüketimin azaltılmasına ve sıfır karbonun azaltılmasına yardımcı olacak etkili bir çözümdür (Coleman ve Robinson., 2017). Konut sakinlerinin enerji tüketimi ve karbon emisyonları konusunda eğitilmesi, bunlarla ilişkili seviyelerin azaltılmasında etkilidir. Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki araştırmalar, hane halkı veri aktarımlarının evdeki sera gazı emisyonlarını %8 ve çocuklu aileler için %19 oranında azaltmaya yardımcı olduğu sonucuna varmıştır. Bunu yapmak için hanelere, evdeki sera gazı emisyonlarının sağlık üzerindeki etkilerine ilişkin basitleştirilmiş resimler içeren bilgi formları verildi (Doukari ve ark., 2022).

İşletmelerin, hanelerin ve yerel toplulukların kendi enerjilerini üretme eğilimi, maliyet kontrolü için yeni fırsatlar yaratıyor. Şebeke paritesi altında tüketiciler, şebekeden satın almak yerine kendi enerjilerini üreterek paradan tasarruf edebilirler. Bu, yalnızca son kullanıcıların enerji tüketimini sınırlamalarına yardımcı olmakla kalmaz, aynı zamanda enerji sistemlerini daha iyi kontrol etmelerine ve ağ güvenliği düzeyini artırmalarına da olanak tanır. Öz tüketimin teşvik edilmesi, enerji tedarikçilerini daha çevik, yenilikçi ve dengeli bir merkezi ve merkezi olmayan üretim düzeyine ulaşmak için daha hızlı olmaya yönlendirir. Aynı zamanda sosyal faydalar da sağlayacaktır. Dinamik bir enerji piyasasında, bölgesel ısıtmaya bağlı son kullanıcılar, azami ısı yükünü azaltmak için fazla enerjilerini bile satabilir ve bölgesel ısıtma tedarikçisinin, genellikle geleneksel enerji kaynaklarıyla beslenen azami yük kazanlarını çalıştırmasını engellemesine olanak tanır (De Groote ve ark., 2016).

Birleşik Krallık'taki tipik bir otelin sifıra yakın enerjiye sahip bina tadilatları için enerji performansı ve maliyet analizine odaklanılarak, ilk olarak yıllık enerji tüketimi hesaplandı ve NZEB hedefinin teknik olarak mümkün olmasına rağmen bulundu, Ancak NZEB çözümü ile optimal maliyet çözümü arasında %30'luk bir boşluk var. Optimum maliyet çözümü, birincil enerji tüketiminde %52'lik bir azalma gösterir. (Salem ve diğ., 2020) Sıfır enerjiye ulaşmanın bir yolu, elektrik talebinin en üst seviyeye çıkmasına yardımcı olmak için geleneksel yakıtlı kazanlardan ısı pompalarına geçiş yapmaktır. Talep tepkisi bu piki azaltabilir ve bu amaçla daha düşük kapasiteli ısı pompaları daha uygundur. Diğer bir yol ise, son kullanıcıların enerji sistemlerini daha iyi anlamalarını

ve kontrol etmelerini sağlayarak onları güçlendiren akıllı sayaçlardır. Tüketilen enerjiye ilişkin anında veri sağlamak için enerji tüketiminin doğru ölçümü, talep yanıt hizmetlerinin değerlendirilmesi için bir gerekliliktir (De Groote ve ark., 2016).

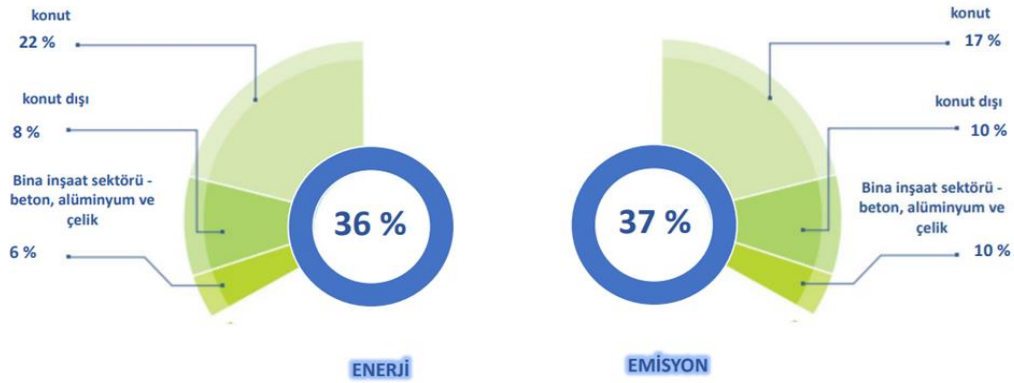
Bu ortak faydaların büyüklüğü, değişen iklim koşullarında, bina operasyonlarının ve bina sakinlerinin davranışlarının değişmesiyle birlikte azaltım önlemleri uygulandığında gelecekte daha da büyük hale gelebilecek çeşitli belirsizliklerle karakterize edilmektedir. Azaltma önlemleri, binaların gelecekteki iklim değişikliğine karşı hassasiyetini etkiler. Örneğin artan sıcaklıklar enerji tüketimini artırabilir ve bu da daha fazla sera gazı emisyonuna yol açabilir. Ayrıca deniz seviyesinin yükselmesi, gelecekteki hava koşullarında fırtına ve yağışların artması binanın yapısını, malzemelerini ve bileşenlerini etkileyebilir ve sonuç olarak, yeni parçaların üretimi, montajı ve yenileme nedeniyle enerji tüketimi ve ev masrafları artacaktır. Enerji verimliliği, yeterliliği ve yerinde yenilenebilir enerji üretimi, binaların iklim değişikliği etkilerine karşı dayanıklılığının artırılmasına ve uyum ihtiyaçlarının azaltılmasına yardımcı olabilir (Cabeza ve ark., 2022). Bunun sonucunda binaların enerji talebi 2020 yılından bu yana %4 oranında artarak son 10 yılın en yüksek artışı olan 135 EJ'ye ulaştı. Bina faaliyetlerinden kaynaklanan karbondioksit emisyonları en yüksek seviyesine, yaklaşık 102 GtCO₂'ye ulaştı; bu, 2020'ye kıyasla yaklaşık %5, 2019'daki önceki zirveye göre ise %2 daha fazla (Volt ve ark., 2022). Şekil 4.23'te küresel Bina İklimi Takipçisi, binaların ve inşaat sektörünün Paris Anlaşması'na ulaşma yolunda kaydettiği ilerlemeyi izliyor.



Şekil 4.23. 2050 yılında sıfır karbonlu bina stoğu hedefine doğrudan yolu

4.6. Düşük Karbonlu İnşaat ve Topluluk Politikaları

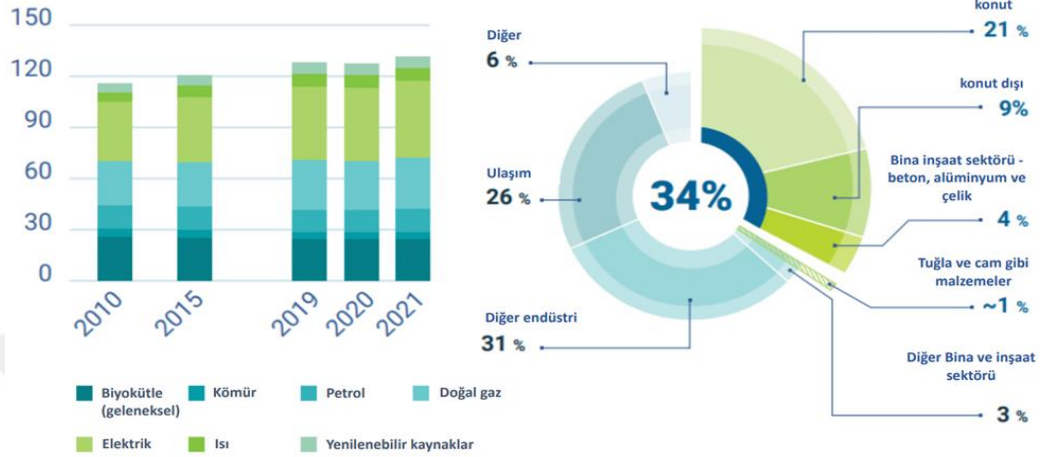
Küresel iklim ısınmasıyla birlikte ülkeler artan çevresel zorluklarla karşı karşıya kalmaya devam ediyor. Ulusal emisyon azaltma hedefi ile 1,5 °C'lık küresel sıcaklık kontrolü hedefi arasındaki emisyon farkını kısaltmak için ülkeler sürekli olarak karbon nötr eylemler uygulamaktadır. Ekim 2022 itibarıyla 139 ülke, karbon nötr hedeflerini yasalar, strateji belgeleri, beyanlar ve tekliflerle netleştirdi ve bunların yüzde 90'ından fazlası 2050 için sıfır karbon hedefi belirledi (Li ve ark., 2023). "1,5 santigrat derece küresel ısınma" raporunda, sıcaklık artışında önemli bir faktörün CO₂ artışı olduğu vurgulandı. Şekil 4.24'te diğer nihai tüketim sektörleriyle karşılaştırıldığında bina ve inşaat, enerjiyle ilişkili CO₂ emisyonlarının %37'sini oluşturmaktadır (Anonymous, 2021). Düşük karbonlu binalar ve topluluklar, binaların yaşam döngüsü boyunca CO₂ emisyonlarını etkili bir şekilde azaltabilir ve bu da onları giderek uluslararası mimarlık endüstrisinin ana akımı haline getirir. Düşük karbonlu yapı malzemelerinin seçimi ve bina enerji sistemlerinin düşük karbonlu performansı, enerji tüketiminin ve CO₂ emisyonlarının azaltılmasını sağlar.



Şekil 4.24. 2020 yılındaki CO₂ emisyonlarında inşaat sektörünün payı

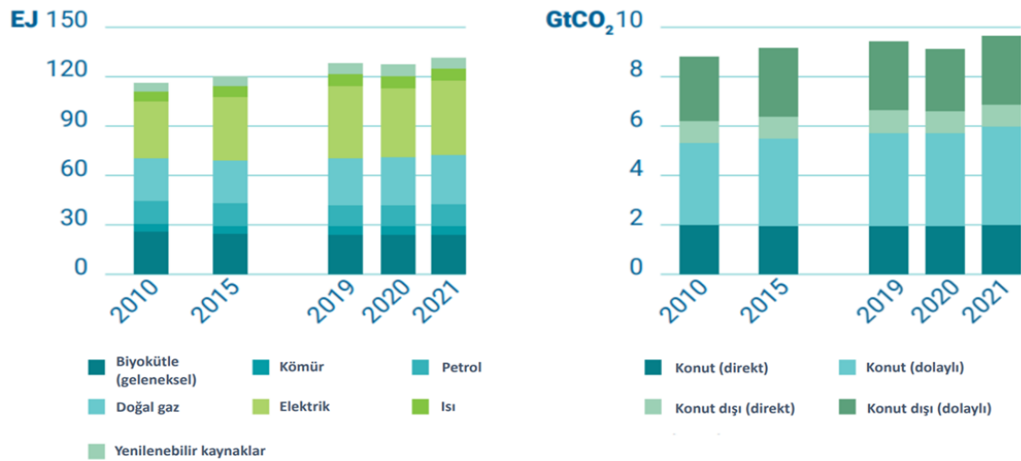
Şekil 4.25'de farklı yıllarda binada kullanılabilecek ve yararlanılabilecek enerji türlerine göre enerji tüketimi detaylı ve yaygın olarak gösterilmektedir ve bunun yanı sıra, aynı yıllarda farklı tipteki mevcut binalarda tüketilen enerji başına salınan karbondioksit oranı da tam olarak anlaşılıp sonuca varılabilmektedir. Bu verilere ve bunların analizlerine göre sıfır enerjili ve karbon nötr binalara ulaşmak ve düşük

karbonlu toplumlar oluşturmak için çok bilinçli ve akıllı bir tasarıma sahip olmak için önemli ve faydalı noktalara ulaşmak mümkün.



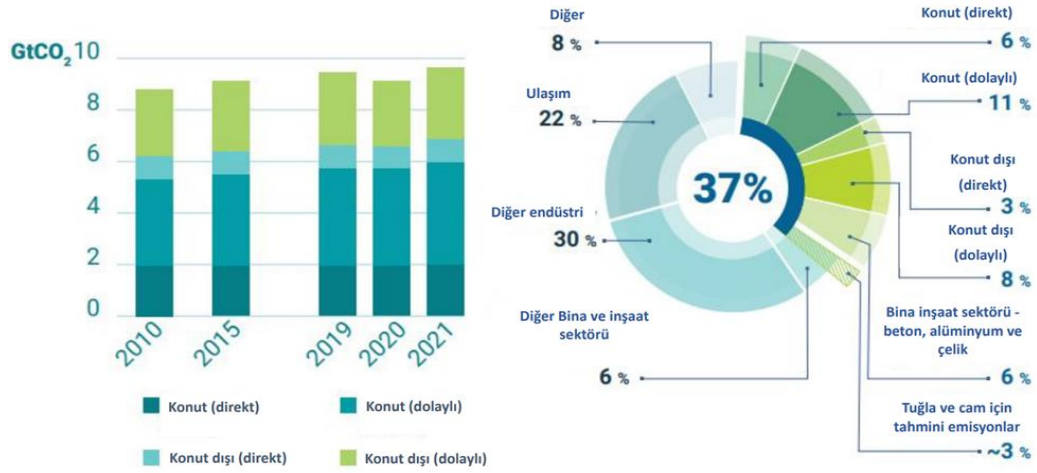
Şekil 4.25. Binalarda yakıta göre enerji tüketimi, ve binalarda CO₂ emisyonları

Şekil 4.26'da 2021 yılı nihai enerji tüketimini eksiksiz ve basitleştirilmiş bir biçimde görebiliyor, düşük karbonlu bir toplum için ulaşılabilir hedeflere sahip akıllı tasarım için etkili ve daha iyi analizler yapabiliyoruz.



Şekil 4.26. Enerji tüketimi ve 2021 yılı enerji tüketiminde binaların payı

Şekil 4.27'de 2021 yılında salınan karbondioksiti eksiksiz ve basitleştirilmiş haliyle görebilir, düşük karbonlu bir toplum için ulaşılabilir hedeflere sahip akıllı tasarım için etkili ve daha iyi analizlere sahip olabiliriz.



Şekil 4.27. CO2 emisyonları ve 2021 yılında binaların küresel emisyonlarındaki payı

Düşük karbonlu binaların ve toplulukların hızlı büyümesine rağmen, bunların küresel inşaat sektöründeki payı, inşaat sektöründeki yetersiz reklam nedeniyle hala küçüktür. Düşük karbonlu işletmelerin gelişimi, sermaye ve ekonomik faydalar açısından insanlığın uzun vadede hayatta kalmasıyla bağlantılı olsa da, düşük karbonlu sanayinin kendisi de büyük yatırım çabaları gerektiriyor ve zorunlu düzenlemelerin ve hükümetin mali desteğinin olmadığı durumlarda bu çok yavaş olacaktır. İnşaat açısından bu, enerji tüketimindeki büyük pay nedeniyle küresel inşaat sektörünün "karbon nötrlüğü" hedefine ulaşmak için karbondan arındırma sürecinde önemli çabalar sarf etmesini gerektiriyor. İnşaat sektörünün çok düşük, hatta sıfır emisyon salmasını sağlamak, karbon nötrlüğüne ulaşmak için önemli bir başlangıç noktasıdır (Yang ve ark., 2021).

Tablo 4.4'te Farklı ülkelerdeki düşük karbonlu bina politikalarının hedefi kamu binalarıyla başlayıp yüksek enerji verimliliğini teşvik ederken, enerji tasarrufu rehberliği kademeli olarak konut binalarını da kapsamaktadır. Kamu binalarında hükümet genellikle bina operasyonel enerji tüketimine ilişkin zorunlu standartları adım adım uygular. Sıfır Enerji Gelişimi (Birleşik Krallık'ta ZED Bed Beddington, Almanya'da Vauban ve İsveç'te Wikscher) gibi dünya çapında bir dizi düşük karbonlu veya karbon nötr topluluk ortaya çıktı. Tüm bu alanlar, insanların davranış kalıplarını düşük karbonlu veya sürdürülebilir konseptlerle değiştirmek için enerji tüketimini azaltmayı ve CO₂ emisyonlarını azaltmayı planladı. Birleşik Krallık'taki ZED Bed, "Sıfır Enerji" toplumunun inşasını destekleyen ilk Dünya Doğa Fonu (WWF) ve İngiliz

Çevre Kalkınma Grubu'dur. "Beddington Sıfır Enerji Geliştirme" projesi olarak da bilinen İnsanlığın Gelecekteki Evi olarak adlandırılıyor. Bu plan, düşük enerjili binaları, yeni ve yenilenebilir enerjilerin kullanımı, çevre dostu malzemelerin kullanımı, topluluk yapısının optimizasyonu ve ulaşım desteği gibi enerji, su ve araç tüketimini azaltmaya yönelik çeşitli çevresel stratejilerle bütünleştirir. Yıllar süren keşif ve geliştirme çalışmaları sonucunda ZED Bed, karbon denge değeri sıfıra yakın bir toplum haline geldi. Ortalama topluma göre yılda %81 daha az ısınma enerjisi, %45 daha az elektrik, %58 daha az su ve %64 daha az araba kilometresi tüketiyor (Anonymous, 2021).

Tablo 4.4.Ülkelerdeki karbon nötr yasaları

Ülkeler	iklim ve enerji kanunu	İçerik ve amaçlar
Avrupa Birliği	European Green Deal(2020)	AB'nin 2050 yılına kadar karbon nötr hale gelmesi için bir karbon azaltma hedefi önerdi
	European Climate Law (2020)	Avrupa Birliği'nin 2050 yılına kadar iklim açısından nötr hale gelmesi hedefini belirliyor
Birleşik Krallık	Climate Change Act (2022)	belge, Birleşik Krallık'ın resmi olarak 2050 yılına kadar karbon nötr hale gelerek sıfır karbon salan bir toplum yaratma taahhüdünü veriyor
Almanya	German Federal Climate Protection Law (2019)	Almanya, toplam sera gazı emisyonunu 2030 yılına kadar 1990 seviyelerine göre yüzde 65 azaltmalı ve 2045 yılına kadar karbon nötr hale gelmeli
	Climate Action Plan 2030 (2021)	Her sanayi sektörü için özel eylem tedbiri belirleyin
Fransa	National Low-Carbon Strategy (2020)	Fransa bir karbon bütçesi oluşturdu ve 2050 yılına kadar karbon nötr olma hedefini belirledi
İsveç	Climate Act (2017)	2045 yılına kadar sıfır sera gazı emisyonuna ve 2030 yılına kadar ulaştırma sektöründe yüzde 70 azalmaya ulaşmak
yeni Zelanda	Climate Change Response (Zero Carbon) Amendment bill (2019)	2050 yılına kadar Yeni Zelanda'da tarımdan kaynaklanan biyojen metan dışında sıfır sera gazı emisyonu olacak
Çin	Statements / Commitments (2020)	2030'dan önce zirveye ulaşmak ve 2060'a kadar karbon nötrlüğü elde etmek için çabalamak

Çok topluluklu yapılara ve düşük enerji tüketimine sahip Vauban topluluğu, binaların kendi kendine yeterliliği, Almanya'da sürdürülebilir toplumun standardı olarak biliniyor. Güneşi ekonomik bir faktör olarak ele alır, güneş enerjisini profesyonelce geliştirir ve kaynakların yeniden kullanımını sağlamak için atıkları duyarlı ve verimli bir şekilde geri dönüştürür. Vauban topluluğu, Avrupa'da en yüksek "pasif enerji binaları" yoğunluğuna sahiptir ve şu anda yaklaşık 150 "çok düşük enerjili" pasif eve sahiptir. 2010 yılına kadar konut, ticari, endüstriyel ve ulaşım enerjilerinden kaynaklanan CO₂ emisyonları %25 oranında azaldı. Yeni evler enerji verimli olacak şekilde tasarlanıyor ve inşaat maliyetleri %3 daha yüksek olsa bile enerji maliyetleri ve CO₂ emisyonları %30 oranında azaltılıyor (Li ve ark., 2023).

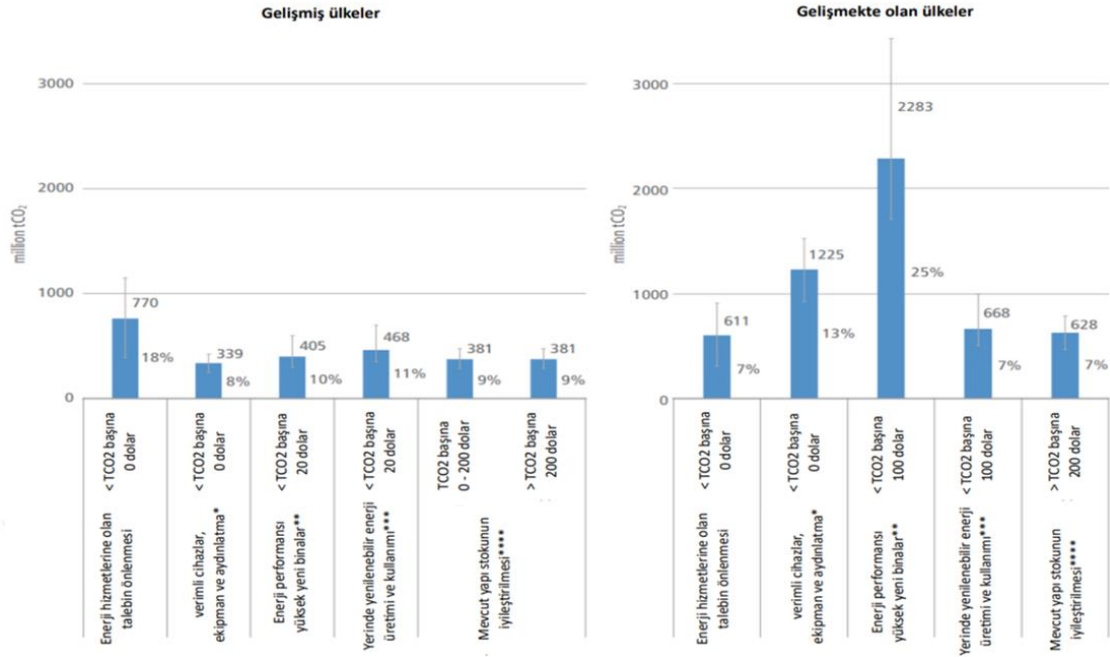
1990'ların sonlarında, SER programı ve yönergeleri, karbondan arındırılmış enerjiye geçişi destekleyen bir Fransız STK tarafından tanıtıldı. 2015 yılında Fransız enerji iletim yasasının tasarımı SER programı dikkate alınmış olup, Fransız Enerji İletim Ajansı (ADEME), SER programını temel alarak 2050 senaryosunu geliştirmektedir. SER programı, bina sakinlerinin konfor düzeyini düşürmeden binaların inşaat ve kullanım maliyetlerini azaltan, önce verimlilik ve yenilenebilir enerji verimliliği olan hiyerarşik bir katmanlama sunar. Cabeza ve ark. (2022)'nin çalışmalarında SER programının üç temel direği şunlardır:

1. Binaların ve eşyaların yaşam döngüsü boyunca enerji ve malzeme talebinden kaçınarak insan faaliyetlerinin çevresel etkilerini ele alan yeterlilik

2. Hastalığın semptomlarını ortadan kaldıran etkinlik. İnsan faaliyetlerinin çevresel etkileri, enerji ve malzeme yoğunluğunun iyileştirilmesi ile ilişkilidir

3. Enerji arzının karbon yoğunluğunu azaltarak insan faaliyetlerinin çevresel etkilerini ele alan yenilenebilir enerji sütunu

Şekil 4.28'de gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde inşaat sektöründeki sera gazı emisyonlarının azaltılmasına ilişkin potansiyel endeksin 2050 yılında ölçüm ve maliyete göre, bir dizi belirsizlik içeren mutlak rakamlarla ve baz emisyonlarının payı olarak ayrılması haliyle görebiliriz.



Şekil 4.28. Ülkelerde sera gazı emisyonlarının azaltılmasına ilişkin potansiyel

Birleşik Krallık, 2006 yılında Sürdürülebilir Evler Girişimi'ni başlattı; buna göre tüm yeni evlerin 2016'dan sonra sıfır karbon emisyon standartlarını karşılaması gerekiyor. Tüm yeni binaların 2019 yılına kadar sıfır karbondioksit emisyonuna sahip olması gerekiyor. Birleşik Krallık, açıkça ev enerji standartlarının iyileştirilmesi ve ısıtma CO₂ emisyonlarının azaltılması çağrısında bulunan Isı ve Bina Stratejisi 2021'i duyurdu. Önümüzdeki on yıl içinde, Birleşik Krallık'taki karbon azaltımının %38'i mevcut evlerin termal performansının iyileştirilmesinden kaynaklanacak ve diğer %24'ü de kamu binaları ve yeni evlerdeki bu tür iyileştirmelerden kaynaklanacak. Birleşik Krallık, 2035 yılına kadar gaz kazanı satışını tamamen durduracak ve düşük karbonlu alternatiflere geçiş yapacak. Yönerge, Birleşik Krallık'ın elektrikli ısı pompalarını (HP'ler) net sıfır stratejisinin merkezine koymasını ve düşük karbonlu veya hidrojenli ısıtma sistemleri geliştirmesini talep ediyor (Anonymous, 2021).

Avrupa Birliği 2010 yılında Binalarda Enerji Performansı Direktifini (EPBD) yayınladı. Bu, kullanımda olan tüm devlete ait kamu binalarının sıfıra yakın enerji tüketimi şartını karşılaması gerektiğini ve tüm yeni binaların 2020 yılına kadar sıfıra yakın enerji sağlaması gerektiğini şart koyuyor. Avrupa Birliği, EPBD'yi 2021'de revize etti ve yeni kamu binalarının 2027 yılına kadar net sıfır emisyonu ulaşması gerektiğini,

yeni binaların 2030 yılına kadar net sıfır emisyonu ulaşması gerektiğini ve tüm binaların 2050 yılına kadar net sıfır emisyonu ulaşması gerektiğini açıkça önerdi. Direktif, yeni binalar için sürdürülebilirlik standartlarını belirliyor ve mevcut binaların yanı sıra en kötü performansa sahip binalar için karbondan arındırma standartlarını vurguluyor. Aynı zamanda, bina yenileme ve tasarımında fotovoltaik kurulumlar ve enerji depolama uygulamalarının yaygınlaştırılması yoluyla mevcut binaların karbonsuzlaştırılması hızlandırılmalıdır. Sıfır Enerjili Bina (ZEB), AB üye ülkelerindeki ekonomik dengesizlik ve iklim bölgelerinin geniş yelpazesi nedeniyle "çok yüksek enerji verimliliğine" sahip bina olarak tanımlanıyor. Ülkeler, uygulama planlarını ve gerekliliklerini, enerji tasarrufu sağlayan teknolojileri ve maliyet etkinliğini tam olarak dikkate alarak, fiili koşullarına göre oluşturabilirler (Anonymous, 2022).

2015 yılında Amerika Birleşik Devletleri, brüt taban alanı 5.000 metrekareden fazla olan tüm yeni federal binaların 2020'den 2030'a kadar net sıfır atık ile net sıfır enerjiye ulaşacak şekilde tasarlanmasını gerektiren "Gelecek On Yılda Federal Sürdürülebilirlik Planlaması"nı yayınladı. ABD Enerji Bakanlığı'nın "Net Sıfır Ticari Bina Girişimi", tüm yeni ticari binaların 2030 yılına kadar net sıfır enerjiye sahip olmasını ve mevcut ticari binaların yüzde 50'sinin 2040 yılına kadar net sıfır enerji ihtiyacını karşılamasını talep ediyor. Tüm ticari binalar 2050 yılına kadar net sıfır enerjiye ulaşacak (Li ve ark., 2023).

Almanya, Alman Bina Enerji Yasasını (GEG, Gebäudeenergiegesetz) 2020 yılında kabul etti. Bu yasa, federal hükümetin enerji politikası hedeflerine, özellikle de mevcut binaların 2045 yılına kadar karbondan arındırılmasına yönelik net bir yol sağladı. Bina kabuğu verimliliği önlemleri ve bina teknolojisi sayesinde nihai enerji tüketimi 2020 yılına kıyasla neredeyse %40 oranında tasarruf edildi. Bu kanun binaların yapısal standartlarını ve ısıtma sistemini düzenleyerek yeni binaların enerji verimliliğini ve mevcut binaların yenilenmesini düzenliyor (Li ve ark., 2023).

Tablo 4.5'de düşük karbonlu bir topluma ve sıfır karbonlu binalara ulaşmak için belirli hedef ve tarihlerle yasa ve gereklilikleri yürürlüğe koyan ülkeleri görüyoruz.

Tablo 4.5.Ülkelerdeki düşük karbonlu bir topluma ulaşmak için belirli hedefler

Ülkeler	Politika (yıl)	Temel Hedefler
Amerika Birleşik Devletleri	Net Sıfır Enerjili Ticari Bina Girişimi (2021)	2050 yılına kadar tüm kamu binaları için net sıfır enerji
Birleşik Krallık	Isı ve Bina Stratejisi (2021)	2037 yılına kadar halka açık alanlardan kaynaklanan sera gazı emisyonlarını 2017 seviyelerine göre %75 oranında azaltmak
Avrupa Birliği	Binaların Enerji Performansı Direktifi (2021)	2050 yılına kadar tüm binalarda sıfır emisyon
Almanya	Alman Bina Enerji Kanunu (2020)	Mevcut tüm binalar 2045 yılına kadar karbon nötr olacak
Estonya	Estonya'da EPBD Uygulaması	alçak katlı konut binaları : 50 kwh/(m ² .a) yüksek katlı konut binaları ve kamu binaları: 100 kwh/(m ² .a)
Danimarka	Danimarka'da EPBD Uygulaması	konut binaları : 20 kwh/(m ² .a) kamu binaları: 25 kwh/(m ² .a)
Japonya	Küresel Isınmaya Karşı Önlemleri Planlayın (2021)	2030 yılına kadar tüm yeni binalar ortalama sıfır enerji tüketecek
Çin	Enerji Verimliliği ve Binalarda Yenilenebilir Enerji Uygulaması Genel Kuralları (2021)	yeni binaların karbon emisyon yoğunluğu ortalama 7 kg/(m ² .a)'dan fazla azaltılmalıdır

GBCT, 2015'ten bu yana bina sektöründe karbondan arınmanın ilerlemesini takip ediyor. Bu nedenle baz yıl olarak tanımlanan 2015 yılı için dekarbonizasyon durumu 0 olarak belirlendi. 2050 yılındaki hedef değer, inşaat sektöründe gereken maksimum karbonsuzlaştırmayı yansıtacak şekilde 100'dür. 2015 ile 2050 yılları arasında karbonsuzlaştırmaya yönelik doğrusal bir yol tanımlandı. Aşağıdaki evin görüntüsü 2050 hedefini, yeşil kısım ise karbondan arındırma konusunda kaydedilen ilerlemeyi temsil ediyor. Sağdaki ölçekteki çubuk, bu hedefe doğru kaydedilen ilerlemeyi gösterir. 2021 yılında ise 8,1 puana ulaştı. Yıllık endeks 2019'da 4,8'den 2021'de 8,1'e yükseldi, ancak binalardan kaynaklanan genel operasyonel emisyonlar 2020'ye göre yaklaşık %5 ve 2019'a göre %2 arttı; bu da 2050 hedefine doğru gerçek bir ilerleme olmadığını gösteriyor (Volt ve ark., 2022).

4.6.1. Teşvik politikaları

Küresel akış alanının en büyük payının hala inşa ediliyor olması, emisyon azaltımları için büyük bir potansiyel sunuyor; ancak bu, yalnızca iddialı bina enerji mevzuatının bu yeni stoğa uygulanmasıyla mümkün olabilir (Cabeza ve ark., 2022). Binaların yenilenme oranının düşük olması, gelişmiş ülkelerde binaların karbondan arındırılmasının fizibilitesinin en büyük sınırlamasıdır. Binaların uzun ömrü ve yavaş yenilenmeleri, gelişmiş ülkelerde, özellikle kentsel alanlardaki eski binalarda düşük enerji performansına yol açmıştır. Çoğunlukla orta ve yüksek gelirli gelişmekte olan ülkeler üzerine yapılan birkaç çalışma da bina iyileştirmeyi dikkate almıştır (Kamal ve ark., 2019). İnşaat sektöründeki hafifletme önlemleri aynı zamanda asitlenme ve ötrofikasyonun önlenmesi, yeşil çatılar ve duvarlar yoluyla biyolojik çeşitlilik, malzemelerin korozyonunun azaltılması yoluyla bina ortamı vb. yoluyla ekosistemler ve mahsuller için çevresel faydalarla da ilişkilidir. Bazı olumsuz etkiler ise ortadan kaldırılamaz (Mayrand ve Clergeau, 2018).

Ayrıca binalarda azaltıcı önlemlerin fosil yakıtlar, metal cevherleri, mineraller vb. doğal kaynakların tüketiminin azaltılmasına etkisi de oldukça önemlidir. Bunlar arasında yakıt, elektrik ve ısı tüketiminin azalması ile su ve elektriğe yönelik yaşam döngüleri boyunca kaynak taleplerinden elde edilen tasarrufların yanı sıra binalarda kullanılan enerji teknolojilerinin değiştirilmesinden kaynaklanan potansiyel net tasarruflar da yer almaktadır (Cabeza ve ark., 2022). Düşük karbonlu binaların ve toplulukların kalkınma sürecinde zorunlu standartların ve değerlendirme sisteminin teşvik edilmesinin yanı sıra teşvik politikaları da büyük önem taşıyor. Genel olarak ekonomik teşvikler temel olarak vergiler, mali yardım veya sübvansiyonlar, enerji vergileri, CO₂ vergileri ve diğer yollara bölünmüştür. Hükümet, düşük emisyonları ödüllendirerek ve yüksek emisyonları cezalandırarak düşük karbonlu binaların ve toplulukların karbon emisyon davranışını sınırlayabilir. Birleşik Krallık hükümeti, düşük karbonlu binaları teşvik etmek, enerji tasarrufunu teşvik etmek, CO₂ emisyonlarını sınırlamak ve mali ve vergi politikalarını normalleştirmek için kamu mali desteğini kullanıyor ve bunlar enerji vergisi, vergi muafiyetleri, enerji tasarrufu sübvansiyonları vb. olarak sıralanabilir ve bu, düşük karbonlu bina pazarını güçlendirecek. Aynı zamanda Yeşil Ev programını teşvik ediyor ve düşük karbonlu

binaları İngiliz ailelerin günlük yaşamlarına dahil etmek amacıyla enerji verimliliği güven ürünleri için düşük faizli krediler sunuyor (Marchand ve ark., 2015).

Amerika Birleşik Devletleri'nde politikalar ve teşvik araçları düşük karbonlu bina sertifikasyonu ve topluluk değerlendirme sistemlerine dayanmaktadır ve LEED sertifikalı binalar vergi matrahını azaltabilir. LEED Gold sertifikası almak isteyen yeni veya kapsamlı bir şekilde yenilenen ticari binaların yüzde 8 vergi indirimi alabileceği, LEED Platinum sertifikasına sahip olanların ise yüzde 10,5 vergi indirimi alabileceği yeşil bina vergi sistemini örnek olarak gösteriyor. Ayrıca LEED sertifikasına başvuran projeler devlet tarafından alınan ücretlerden muaf tutulabilecek. Longmont ve Colorado'da, daha yüksek şehir inşası standartlarını benimseyen veya LEED sertifikasına başvuran yeni veya genişletilmiş ticari binalar, çeşitli vergi indirimlerinin yüzde 30'una kadar talepte bulunabilir. Ek olarak diğer eyaletler, yeni binaların ve toplulukların mevduatların geri ödenmesi yoluyla düşük karbon hedeflerini karşılamasını sağlamak için LEED ile ilgili finansman yaratıyor. Washington'da belediye başkanı, düşük karbonlu bina teknolojisini, izlemeyi, eğitimi ve özel binalara yönelik teşvikleri desteklemek için bir yeşil bina fonu kurdu (Shazmin ve ark., 2016).

Li ve ark. (2023) yaptıkları çalışmada, genel olarak gelişmekte olan ülkelerin çoğu, düşük karbonlu binaların geliştirilmesi ve toplumsal teşvik politikaları konusunda gelişmiş ülkelerin politika fikirlerini takip ediyor ancak sübvansiyonların düzeyinde bir boşluk var. Politika gerekliliklerini karşılamak amacıyla, binalar ve toplum için CO₂ emisyonlarını azaltmaya yönelik düşük karbonlu teknolojiler hızla geliştirilmektedir. Binaların yaşam döngüsündeki toplam CO₂ emisyonu üç kısma ayrılır:

➤ Doğrudan emisyon: Binalardan kaynaklanan CO₂ emisyonlarını ifade eder. Fosil yakıt veya biyokütleyle dayalı tüm yanma faaliyetleri (örneğin, yemek pişirmek için biyokütle kullanımı ve ısıtma ve sıcak su için gaz kullanımı ve F-F gazlarının emisyonu), (yani ısıtma ve soğutma sistemleri, aerosoller, yangınla mücadele kapsülleri, ses yalıtımı kullanımı)

➤ Dolaylı emisyon: Binalardan kaynaklanan CO₂ emisyonlarını ifade eder. saha dışında meydana gelen ve ısı ve elektrik üretimi ile ilgili olan

➤ Örtülü emisyonlar: Örtülü emisyonlar, yapı malzemeleri ve bina CO₂ emisyonları da dahil olmak üzere, bina inşaatı ve bakımına ilişkin CO₂ emisyonları anlamına gelir

2019 yılında binalardan kaynaklanan küresel sera gazı emisyonları 12 GtCO₂-eq olarak gerçekleşti; bunun %25'i doğrudan emisyonlar, %57'si dolaylı sera gazları ve %18'i fiziksel emisyonlardı. Binalardan kaynaklanan sera gazı emisyonlarının %95'ten fazlası CO₂ emisyonlarıyla ilişkiliydi; CH₄ ve N₂O'nun her biri %0,08 katkıda bulundu ve halokarbon emisyonları binalardan kaynaklanan küresel sera gazı emisyonlarına %3 katkıda bulundu (Cabeza ve ark., 2022).

4.7. Düşük Karbonlu Yapı Malzemeleri

Chan ve ark. (2022) yaptıkları çalışmada, düşük karbonlu yapı malzemelerinin seçimi ve bina enerji sistemlerinin düşük karbonlu performansı, enerji tüketiminin ve CO₂ emisyonlarının azaltılmasını sağlar. Geleneksel yapı malzemelerinin üretimi, CO₂'nin yaygın şekilde salınmasına yol açmaktadır. Örneğin, her bir ton çimento üretiminin yaklaşık 900 kg CO₂ salımına neden olduğu tahmin edilmektedir. CO₂ emisyonlarını azaltmak için enerji tüketimi düşük, CO₂ emisyonu düşük, kirlilik oranı düşük ve geri dönüştürülebilir yapı malzemelerinin kullanılması çok önemlidir. İnşaat malzemelerinden kaynaklanan CO₂ emisyonlarını azaltmak için aşağıdaki gibi belirtilebilecek sekiz yöntem önerilmiştir:

- Alternatif malzemelerin kullanımı
- Yeniden kullanın
- Geri dönüştürülmüş malzeme ve atık kullanımı
- Doğal malzemelerin kullanımı
- Yerel malzemelerin kullanımı
- Üretim sürecinde yenilik
- Yenilenebilir enerjilerin üretimde kullanılması
- Performansı artırmak için düşük karbonlu malzemelerin doğru seçimi

Chan ve ark. (2022) yaptıkları çalışmada, yaygın düşük karbonlu yapı malzemelerinin uygulamalarını ve özelliklerini analiz etmişler ve tablo 4.6.'de özetlemişlerdir. Bölüm'de sunulan uygulama senaryoları ve alternatif malzeme ve süreçlerin kullanımına odaklanma aşağıda analiz edilmiştir.

Tablo 4.6. Düşük karbonlu yapı malzemelerinin uygulamaları ve özellikleri

Düşük karbonlu yapı malzemeleri	Giriş	Özellikler	kullanım
prekast içi boş çekirdek levhalar	Yenilikçi binalarda beton döşeme sisteminde yaygın olarak kullanılır	1. mükemmel bir alt yüzey kaplamasına sahip, kendi kendini destekleyen bir sistemden sahada hızlı bir şekilde inşa edilebilir 2. Katma değerli yapı için faydalı sunan fabrika garantili bir kaliteye sahip olun	Eğitim ve ofis binalarında, depo ve fabrikalarda, apartmanlarda, alışveriş komplekslerinde ve ayrıca duvar panellerinde yaygın olarak kullanılabilir.
prekast yarım döşemeler	Döşeme üst betonu ile uygulanan öngerilmeli döşeme sistemi	Standart betona göre çatlak ve sehim kontrolü açısından yüksek yapısal performansa sahiptir	-
Çelik kalıp sistemi	İnce çelik plakalardan yapılmış panellerden oluşur	1. Paneller herhangi bir şekil ve boyutta üretilebilir 2. Başlangıç ve taşıma maliyeti vardır	Genellikle yüksek katlı bina inşaatlarında ve ağır beton işlerinde kullanılır.
Prefabrik ahşap çerçeve sistemi	-	Malzeme, yükleri geniş açıklıklardan aktarabilen bir iskelet yapısı oluşturabilir	Bina, depo, köprü ve endüstriyel binalarda kullanılabilir.
Yapıştırılmış lamine ahşap	Bireysel masif lamine ahşapların bir kompozitidir	1. Çevre için destek 2. Boyut ve şekil bakımından esnek 3. İhtiyaca göre özel yapılmış 4. Benzersiz görünümler, rahat ve sıcak bir his 5. Çeliğin bir buçuk ila iki katna kadar mükemmel mukavemet	-
Öğütülmüş granül yüksek fırın cürufu	-	1. Beton karışımında kullanılan malzeme yerine ikame edilerek israf önenebilir 2. İşlenebilirliği daha yüksektir ve hazır betonda kullanılabilir 3. Klorür girişine karşı yüksek direnç gösterir ve sürdürülebilirlik sağlar 4. %50 GGBS ve %50 OPC bileşimi betona daha fazla dayanıklılık kazandırabilir	-
Toz haline getirilmiş yakıt külü	Kömürle çalışan enerji santralinin bir yan ürünüdür	1. Son derece ekonomik 2. Çevre dostu 3. Betonun çok yoğun hale getirebilir ve geçirgenliğini azaltabilir 4. Binalara daha fazla güç katabilir	-
Pişmemiş tuğla	-	1. Pişmemiş tuğla sayesinde duvar kalınlığı azaltılarak yapısal yük en aza indirilecek ve binanın kullanılabilir alanı artırılabılır. 2. Higroskopik çevre düzenleme yeteneğine sahiptir 3. Düşük karbonlu malzeme	Duvarların geliştirilmesinde kullanılabilir
Etilen tetrafloroetilen	Flor bazlı plastiktir ve politetrafloroetilenlerden daha sağlamdır	%95 ışık geçirgenliğine ve esnekliğe sahiptir	Binalarda giydirme olarak kullanılabilir
Jeopolimer beton	GGBS ve uçucu külden yapılmıştır	Karbon emisyonunu ve stok israfını azaltabilir	-

- Alternatif malzemeler ve süreçler

Geleneksel yapı malzemelerinden kaynaklanan CO₂ emisyonlarını azaltmak için birçok düşük karbonlu teknoloji ve alternatif düşük karbonlu malzemeler kullanılmıştır. Harmanlanmış çimentolar, üretim sürecinde kullanılan klinker miktarını granüle cüruf, uçucu kül, aktif pirinç kabuğu külü ve silis dumanı gibi bir veya daha fazla tamamlayıcı çimentolu malzemeyle değiştirerek CO₂ emisyonlarını azaltabilir. Bunlar arasında, sıradan Portland çimento betonuna (OPC) alternatif olarak uçucu kül, cüruf ve bazalt gibi endüstriyel atıklardan jeopolimer beton (GPC) üretilmektedir. Bir ton GPC üretimi

yalnızca 0,184 ton CO₂ açığa çıkarır. Kil tuğlalar, yüksek sıcaklıkta pişirme işleminin ortadan kaldırılması nedeniyle daha az karbon ve enerji tutan stabilize kerpiç tuğlalar ve yoğun uçucu kül bloklarıyla değiştirilebilir (Li ve ark., 2023).

- Doğal malzemeler

Doğada bulunan doğal malzemeler yaygın ve yeniden kullanılabilir olduğundan, düşük karbonlu malzemeler olma potansiyeline sahiptirler. Doğal malzemeler esas olarak taş, toprak ve biyokütleyi ifade eder; biyokütle ise ahşap, bambu ve kenevir vb. olabilir. Crishna ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada, boyutlu taş üretimi için yaşam döngüsü değerlendirme yöntemini kullanmışlar ve kumtaşı, granit ve arduvazın düşük karbon değerini sırasıyla 77 kg ton/CO₂, 107 kg.ton/CO₂ ve 251 kg ton/CO₂e olarak hesaplamışlardır.

Reddy (2009), sıkıştırılmış toprak (Rammed earth), sağlam duvarlar oluşturmak üzere toprağı sıkıştırmak için kullanılan düşük karbonlu bir tekniktir ve iki kategoriye ayrılır:

- stabilize edilmiş : Esas olarak toprak ve kumdan oluşan dengesiz sıkıştırılmış toprak neredeyse sıfır karbona sahiptir, ancak erozyona eğilimlidir.
- stabilize edilmemiş sıkıştırılmış toprak: Stabilize sıkıştırılmış toprak ayrıca stabil olan ve dünyanın birçok yerinde başarıyla kullanılan çimento veya kireç gibi katkı maddeleri de içerir.

Karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik bir diğer faydalı malzeme ise ahşaptır. Beton, çelik, tuğla ve alüminyumdan yapılmış binalarla karşılaştırıldığında ahşap binalar daha az CO₂ yayar. Ortalama binaları geleneksel beton ve çelikte karşılaştırdığımızda, binalardaki ahşap, inşaat sera gazı emisyonunu %69 oranında azaltabilir ve zemin alanında ortalama 216 kg.m²/CO₂ azalma sağlayabilir. Ancak büyüme döngüsünün uzun olması nedeniyle inşaatlarda ahşabın kullanılması çevreye zarar vermektedir. Yenilenebilir bir biyokütle olarak 4-5 yıl gibi kısa bir yaşam döngüsüne ve yüksek mekanik özelliklere sahip olan bambu, gelecekte çelik ve beton gibi mevcut yapı malzemelerinin yerini alabilir. Ancak bambu, malzeme özelliklerini etkileyen çeşitli faktörlere sahip anizotropik bir malzeme olduğundan ve güvenilir tasarım kriterlerine sahip olmadığından inşaat projelerinde birincil kaynak olarak kullanılmaz. Saman ve keten gibi hızla büyüyen kütleler başta olmak üzere diğer bazı mevcut biyolojik kaynaklar, inşaat ve güçlendirmede yalıtım alternatifi olarak

kullanılabilir. Doğal malzemelerin kalite ve dayanıklılık açısından bariyerleri vardır ve bunların hazırlanma ve taşınma süreçleri çok fazla enerji tüketerek karbon emisyonlarına neden olur (Himes ve Busby, 2020).

4.8. Zarf Tasarımı - Çeşitli Düşük Karbonlu Zarf Tasarımları

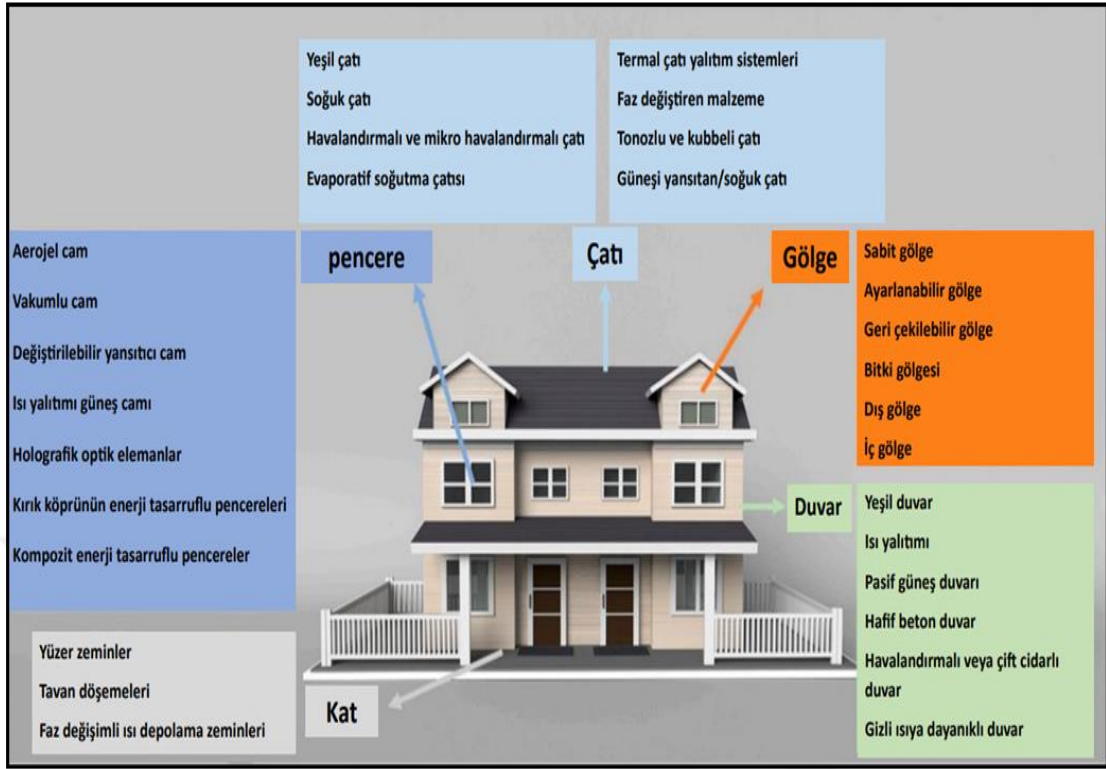
Şekil 4.29.'da bina kabuğu tasarımı, bina yükü talebini azaltarak bina operasyonları sırasında enerji tüketiminin ve CO₂ emisyonlarının azaltılmasına yardımcı olabilir. Suresh ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada, duvarlar, zeminler ve çatılar da dahil olmak üzere enerji verimli bina kaplamalarının kapsamlı bir teknik incelemesini gerçekleştirdi. Bunlara dayanarak, Şekil 31'de düşük karbonlu kaplamanın ortak tasarımı özetlenmektedir. Bina kabuğu, duvarlar, tavanlar ve zeminler gibi opak zarfları ve düşük karbonlu tasarımda farklı olan diğer şeffaf zarfları içerir. Opak zarflar için yalıtım malzemeleri, faz değiştiren malzemeler, yüksek derecede yansıtıcı boyalar ve bina kabuğuna sahip entegre yeşil bitkiler (BIGP) son yıllarda araştırılmıştır. Yalıtım malzemeleri, enerji tasarrufu sağlamak için bina kabuğunun ısı direncini artırarak ısı kaybını azaltabilir. Faz değiştiren malzemeler, ortam sıcaklığına göre termal enerjiyi depolamak veya serbest bırakmak için durumlarını değiştirir, bu da bina üzerindeki yükü azaltabilir.

Sadineni ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada, BIGP dış duvarları ve tavanları için en umut verici bina kaplama tasarımlarından biri:

- Yüksek yansıma ve emisyon ile enerji verimliliğini arttırabilir
- Dışarıdan ısı girişini de azaltır
- Termokromik ve fotokromik akıllı pencereler, nadiren görülen kontrol

sistemleri olmadan şeffaflığı otomatik olarak ayarladığı için karbon potansiyelini otomatik olarak ayarlayabilmektedir. Ancak kontrol sistemi olmayan, daha düşük karbon potansiyeline sahip elektro şeffaflıklarla karşılaştırıldığında sürdürülebilirlik açısından daha kötüdürler. Ancak fotokromik akıllı pencerelerin elektrokromik ve mekanik pencerelere göre stabilite açısından sınırlamaları vardır.

- Bitkilerin gölgelenmesi ve terlemesi için enerji verimliliğini artırabilir



Şekil 4.29. Çeşitli düşük karbonlu zarf tasarımları

Düşük karbonlu zarf tasarımlarının verimliliği, enerji tasarrufu potansiyeli ve zarf tasarımında karbon azaltımı birçok faktörden etkilenir. Xia ve Li (2019) yaptıkları çalışmada, Şangay'daki bir ofis binası için fotovoltaik, rüzgar enerjisi, pasif ısıtma, doğal havalandırma, aydınlatma, gölgeleme ve yeşil bitkilendirme dahil olmak üzere yedi düşük karbonlu bina tasarım stratejisinin potansiyelini karşılaştırmış ve fotovoltaik ve doğal havalandırmanın en yüksek potansiyele sahip olduğu sonucuna varmıştır ve en iyi seçenek pasif tasarımdı; pasif ısıtma ve rüzgar enerjisi ise en az etkiye sahipti.

Li ve ark. (2021) yaptıkları çalışmada, düşük karbon hedefi kapsamında prefabrik konut binaları için en uygun pencere-duvar oranını elde etmiş ve pencere yüksekliği ile en boy oranının CO₂ emisyonları üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Tablo 4.7.'de sonuçlar, yuvarlak pencerelerin enerji tasarrufu ve emisyonları azaltma açısından en kötü yöntem olduğunu, 4:3 oranına sahip dikdörtgen pencerelerin ise binanın CO₂ emisyonunu azaltmada en faydalı yol olduğunu gösterdi. Doğal havalandırma faktörleri %30'dan %79'a kadar enerji tasarrufu sağlayabilir ve bina yönlendirmesi %55'e kadar enerji tasarrufu sağlayabilir ve ısı yalıtımı %20'den fazla enerji tasarrufu sağlayabilir.

Tablo 4.7. Düşük karbonlu pencere kategorileri

Kategoriler	İlke	İllüstrasyon	Avantaj	Dezavantaj
Elektrokromik	Potansiyelin uygulanması üzerine optik özellikleri tersine çevrilebilir şekilde modüle edebilir		Enerji tüketimini azaltabilir, bina sakinlerine mahremiyet ve konfor sunabilir	Çok katmanlı yapı, elektrik kontrol sistemi, tek seferlik düşük enerji girişi gerektirir.
Termokromik	Şeffaflığı sıcaklığa göre değiştirilebilir, bu da dinamik ortam sıcaklığına yanıt olarak ışığı uyarlanabilir şekilde pasif olarak modüle etmesine olanak tanır		1) Ekstra enerji girişi olmadan, soğuk günlerde sıcak günlere göre daha fazla iç mekan güneş ışınımını otomatik olarak ileterek enerji tüketimini azaltabilir. 2) Tamamen malzemelerle tahrik edilir ve ek kontrol sistemi gerektirmez	Özellikleri iklim koşullarına bağlıdır
Mekanokromik	Mekanik duyarlı ptc malzemelerin iç yapıları veya yüzey morfolojileri, görünür ışığın saçılması veya kırınımı yoluyla ptc geçirgenliği değiştiren mekanik gerilim tarafından deforme edilebilir ve yapılandırılabilir.		Basit yapısı, düşük maliyeti ve hızlı tepki süresi vardır.	Mekanik kontrol sistemleri ve ek kontrol gerektirir
Fotokromik	Belirli dalga boylarındaki ışığa maruz kaldığında rengini tersine çevirebilir.		Termokromik pencerelere benzer şekilde ekstra enerji girişi gerektirmeden basit imalata olanak sağlar.	Sadece tropik ülkeler için uygundur

4.9. İncelenen Örnekler

Şu anda dünya çapında akıllı binalar, sıfır enerjili binalar ve düşük karbonlu inşaatlar alanında, bu alandaki uzmanlar ve kuruluşlar tarafından takdir edilen birçok başarılı proje bulunuyor.

- Kristal ofis binası

Siemens tarafından yaptırılan ve İngiltere Londra'da Eyre Wilkinson tarafından tasarlanan bu bina, 6300 metrekareden fazla alanı kapsıyor ve enerji verimliliği yüksek bir model. Benzer bir ofis binasına kıyasla ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarını karşılamak için yenilenebilir kaynaklar kullanarak, elektrikte %50, CO₂ emisyonunda ise %65 tasarruf sağlıyor. Ayrıca fotovoltaik güneş panelleri tarafından desteklenen akıllı aydınlatma teknolojisini de kullanıyor. Çatıya gelen yağmur suyu, kanalizasyon sistemiyle arıtılarak içme suyuna dönüştürülüyor (Anonymous, 2022).

- Piksel ofis binası

Avustralya'nın Melbourne kentindeki bu bina 105 çevre gerekliliğini karşılıyor ve Avustralya'nın ilk karbonsuz ofis binası. Ayrıca ABD LEED standartları kapsamında 105 çevresel gerekliliği karşılayarak dünyadaki en yüksek LEED derecelendirmesine sahiptir. Bu bina güneş panelleri ve yağmur suyu toplama sistemi ile donatılmış olup, su ve enerji açısından kendi kendine yetebilmektedir. Bina, 50 yıllık yaşam döngüsü boyunca, inşaatından kaynaklanan tüm CO₂ emisyonlarını, ürettiği ve şebekeye beslediği yenilenebilir enerji yoluyla dengeliyor (Anonymous, 2022).

- Bullitt Center binası

Bu bina Seattle, ABD'de bulunmaktadır ve evsel atık suların bir yer altı tankında toplanması ve filtrelenmesi için bir sistem ve yağmur suyunun filtrelenmesi için yeşil bir çatı gibi gelişmiş sürdürülebilirlik teknolojilerini kullanmaktadır. Ayrıca atıkları aerobik cihazlarla ayrıştırabilen tuvaletler de bulunuyor. Çatıda tüm binaya bir yıl boyunca enerji sağlayabilecek güneş enerjisi ekipmanları, doğal ışık ve havalandırma sağlayan büyük pencereler bulunmaktadır. Buna ek olarak beton zeminler, sıcaklıkların düzenlenmesine yardımcı olmak için güneş enerjisiyle çalışan sıcak su sirkülasyonlu radyant ısıtma sistemlerinin yanı sıra 120 metrelik yer altı ısı değişim kuyularıyla donatılmıştır. İlk işletme yılına göre binanın gerçek enerji değeri 3,31 kWh olup, Seattle Enerji Binasının ihtiyaç duyduğu enerjiden %79 daha azdır (Li ve ark., 2023).

- Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi

Bahreyn'in Manama şehrinde yer alan bu bina, dünyada rüzgar enerjisini elektrik kaynağı olarak kullanan ilk gökdelen olma özelliğini taşıyor. İki kulesi arasında yatay olarak desteklenen 29 metre çapında üç rüzgar türbini bulunmaktadır. Rüzgar türbinlerinin bina için gereken elektriğin yüzde 11 ila 15'ini sağlaması bekleniyor. Üç rüzgar türbini, yılda yaklaşık 1300 megawatt saat elektrik üretiyor; bu, ortalama 300 ev için iki milyon ton kömüre veya altı milyon varil petrole eşdeğer; bu da binalardan kaynaklanan CO₂ emisyonlarını önemli ölçüde azaltıyor. (Anonymous, 2008)

- Colorado konut kompleksi

Güney Kaliforniya'da bulunan bu bina, 5 katlı, 44 üniteli bir apartman kompleksidir ve Amerika'nın düşük gelirli insanlara gelişmiş sürdürülebilirlik getiren ilk büyük konut kompleksidir. Bu bina tek başına enerji tüketiminin %92'sini cephesine yerleştirilen fotovoltaiik paneller aracılığıyla sağlıyor. Bu binanın cephesinde Güney Kaliforniya'nın parlak güneş ışığını yansıtan 199 adet mavi güneş paneli bulunmaktadır. Geri dönüştürülmüş malzemeler kullanılan bu binada yeşil çatı ve kirli su arıtma sistemi bulunuyor (Stang ve Hawthorne, 2005).

- Solar konut kompleksi

27 katlı bu kule, enerji ihtiyacının %5'ini cephenin batı tarafına yerleştirilen 330 metre karelik fotovoltaiik hücrelerden sağlıyor. Fotovoltaiik hücreler binanın batı tarafında yer aldığından (yani uzun öğleden sonra güneşi aldığından) güneş enerjisinin büyük bir kısmı yaz aylarında elde edilebilmektedir ve bu da iklimlerin daha yoğun çalıştığı bir dönemde oluyor. Pencereleer güneş ışığının iyi geçmesini sağlayacak şekilde düşük emisyonlu camlarla donatılmıştır. Ancak termal enerjinin girişini engeller, aynı şekilde daha az gaz çıkaran renkler kullanılır ve kullanılan malzemeler geri dönüşümlü zemin kaplamalarıdır. Binanın arıtma sistemi, bodrum katındaki kirli suyu, sıhhi ünitelerde, tuvalet sifonlarında ve soğutma kulesi gibi yardımcı ünitelerde kullanılabilecek suya dönüştürüyor. Bu su yazın çatıdaki yeşil alanın sulanması için soğutma görevi görürken, kışın da yalıtım görevi görüyor. Çatıdaki yeşil alanın daha sonra sulanması için yağmur suyunu toplayacak bir su kaynağı kuruldu (Stang ve Hawthorne, 2005).

- Akıllı ev 8

Daireler Bu koleksiyon, daha yüksek rakımda tasarlanıp inşa edilen villaları, daireleri ve çatı katlarını içermektedir. Binanın kuzeydoğu köşesi on katlı olup, aşağı doğru eğimle karşı köşeye (güneybatı) gelindiğinde yavaş yavaş bir kata inmektedir.

Bunun nedeni ise bu kısmın bir baraj gibi olması ve yüksekliğinin azaltılmasıyla daha fazla yerleşim biriminin güneş ışığından ve ilerideki güzel manzaradan faydalanabilmesidir. Binanın güzel tasarlanmış 2 iç avlusu vardır ve sakinler için çok güzel bir park gibidir. Şekil 4.30.'da bu tür tasarım daha fazla özel açık alana sahip olmamızı sağlar. 1700 metrekareden büyük iki eğimli yeşil çatı, kentsel ısıyı azaltmak için çatısına stratejik olarak yerleştirildi (Volt ve ark., 2017).



Şekil 4.30. Akıllı ev 8

- Imperium binası

Bu bina ABD'nin San Francisco şehrinde yer almakta olup, sıfır enerji konsepti güneş enerjili binalarla birleştirilmiş, ekonomi odaklı bir tasarım ve yapım anlayışına sahiptir. Bu binada insanların barınması ve konforu için çevre olanakları kullanılmıştır. Aslında mimar, makine mühendislerinin yardımıyla ve rehberliğiyle alanı ve suyu ısıtmak için bir sıcak su depolama tankı tasarlamayı başardı. Ayrıca elektrik mühendislerinin yardımıyla ısıyı absorbe etmek ve alanı soğutmak için bir soğuk su

deposu ve buzdolabını soğutmak için bir kaynak kullanıldı. Su devreleri sürekli konveksiyon akışında fazla enerjiye ihtiyaç duymaz. Bu binanın ekonomik verimliliği aynı zamanda CO₂ gazı üretiminin azaltılması ve sıfır enerji koşullarının sağlanması, biyolojik çeşitliliğe, sakinlerin güvenliğine, sağlığına, konforuna ve dayanıklılığına önem verilmesi şeklindedir.

Şekil 4.31.'de bu bina, geri dönüştürülmüş ahşap kullanarak ve CO₂ üretmeyerek sera gazlarını azalttı ve bu sorun, tasarımında yapı mühendislerinin belirleyici rol oynadığı, hafif ahşap yapılara sahip sıfır enerjili binalarla kolaylıkla çözülebilir ve gelecekteki ihtiyaçları karşılamak için su depolayabiliyor. Sürdürülebilir evler inşa eden kuruluşlar, Imperium'u enerji tasarrufu konusunda olağanüstü bir plan olarak görüyor (Anonymous, 2010).



Şekil 4.31. Imperium binası

- Near North apartmanları

Bu daireler Near North mahallesinde Murphy John Group tarafından tasarlandı. Bina, paslanmaz oluklu saclarla basit bir görünümle kaplanmış betonarme bir yapıya sahiptir ve üzerine tek seferde içi boş pencereler yerleştirilmiştir. Duvar ve çatının paslanmaz metal kaplaması kentsel ısı adası etkisini azaltan bir kaplamaya sahiptir. Kuzeydoğu-güneybatı yönelimli çatının alçak formu, yağmur suyunun yeşil alanları

sulamak için kullanılan 1500 galonluk su toplama tankına boşaltılmasına çok uygundur ve çatısında ise binanın ısıtılması ve evsel kullanımı için %30 sıcak su sağlayan güneş enerjili su ısıtıcısı bulunmaktadır.

Binanın genel özelliği aynı zamanda yeşil mimarinin faydalarını da taşımaktadır. Akışkanlar dinamiği çalışmalarına göre hava akışının binanın merkezinden hareketinin oldukça yumuşak ve düzgün olduğu anlaşılabilmektedir. Bu kapasiteden yararlanmak için çatının üst kısmı, binanın elektrik ihtiyacının yüzde sekizini karşılayan yenilikçi bir yatay rüzgar türbini sistemine tahsis edildi. Near North kompleksinde ilk kez yapılan bir diğer şey de geri dönüştürülmüş su sistemiydi. Duş ve lavabolardan gelen sular toplanıp arıtılıyor, dezenfekte ediliyor ve yıkama tanklarında kullanılıyor (Stang ve Hawthorne, 2005).

- CESI akıllı bina

"Geleceğin Binası" olarak anılan CESI N3 binası 2017 yılında inşa edildi. Bu 220 metre karelik modüler yapı, iki seviyede istiflenmiş 16 nakliye konteynerinden oluşuyor. Optimum enerji performansı elde etmek için akıllı bir enerji aydınlatma sistemi kuruldu.

Bu ışıklar, hareket dedektörleri ve fotometrik hücreler de dahil olmak üzere 90 farklı sensöre bağlanır ve sensör bilgileri bir veritabanında saklanır. N3 modeli, enerji tüketimini tahmin etmek ve binanın akıllı kontrolünü ve izlenmesini sağlamak için gereken tüm bilgileri depolamak üzere tasarlanmıştır. Bu model, farklı alan ve mekanları, yalıtım kalitesini, HVAC sistemlerini ve sensörlerini vb. temsil eden geometrik ve anlamsal bilgileri içerir (Doukari ve ark., 2022).

- Interlis binası

Interlis, Singapur'un düşük gelirli grupları için yemyeşil bir tropik ortamda 6 katlı 31 blokta çağdaş yaşama yeni bir yaklaşımla yaratılan Singapur'un en büyük ve en ünlü konut projelerinden biridir. Bu binada farklı büyüklüklerde 1040 daire bulunmakta olup, 167.000 m² arsa üzerinde, inanılmaz açık alana ve güzel manzaraya sahiptir. Şekil 4.32.'de Geniş yeşil bahçeler, yeşil çatılar, çeşmeli balkonlar ve geniş ortak avlular bu tasarımın seçilmiş özelliklerinden bazılarıdır. Interlis kompleksinde tasarımcıların bu özellikleri bir araya getirip kompleksin dev çok katlı yapısıyla akıllıca birleştirerek dikkat çekici bir yanıt verdikleri iklime özellikle dikkat edildi (Stang ve Hawthorne, 2005).



Şekil 4.32. Interlis binası

- Kondominyum merkez bishan

Singapur'un en iyi yerleşim bölgelerinden birinde yer alan projede büyüklükleri 1+1'den 4+1'e kadar değişen 574 konut bulunuyor. Bu kompleksin blok tasarımındaki amaç yüksek yoğunlukta balkon şeklinde özel alan sağlamaktır.

Bu konut kompleksinin dokusu dağ yamacının yapısını andırıyor ve birçok uygun yönelime sahip olması nedeniyle iyi havalandırma ve aydınlatma sağlıyor. Bu şekilde konut kompleksi orta ve altta iki adet bahçe köprüsü ve onun üstünde köprü havuzu vasıtasıyla birbirine bağlanmaktadır (Stang ve Hawthorne, 2005).

- PTM sıfır enerji ofis binası

Bu bina 2006-2007 yılları arasında Malezya'da inşa edilmiş olup, uygulama maliyeti normal binalara göre %20 ila %30 daha yüksek olmasına rağmen, dünyada karbondioksit üretme ihtimali olmayan ilk ticari ofis binasıdır.

Bu bina, ofis binasında enerji verimliliğini artırmaya yönelik iki yıllık plana göre dünyada türünün üçüncü ürünüdür. Bu ofis binası, akıllı sistemler, uygun malzemeler ve ilkel tasarım yöntemleri kullanarak enerji tüketimini ağıdan bağımsız olarak başarılı bir şekilde optimize edip yönetebilmiş, ancak yalnızca kendi iç ve emdiği enerjiye güvenmektedir (Doukari ve ark., 2022).

- Edge ofis binası

Bu bina Hollanda'nın Amsterdam şehrinde bulunmaktadır ve akıllı bir sistemin tüm özelliklerine sahip, Avrupa'daki akıllı ofis binasının olağanüstü bir örneğidir. Bu bina benzer ofis binalarına göre %70 daha az elektrik tüketmektedir. Çatı ve güney cephesi, diğer Avrupa ofis binalarıyla karşılaştırıldığında en büyük fotovoltaiik panellere sahiptir ve termal enerji depolama sistemi, ısıtma ve soğutma için gereken tüm enerjiyi sağlamaktadır. Bu depolama sistemine bir ısı pompası bağlanır ve verimlilik önemli ölçüde artar. Şekil 4.33.'te Bu bina ve kullanıcıları bir akıllı telefon uygulamasıyla birbirine bağlanıyor ve bu uygulama, kullanıcıları bir park yerine yönlendirebilir, onlara bir masa bulabilir ve bireysel ışık ve sıcaklık tercihlerine göre (kullanıcı nereye giderse gitsin) ortamı değiştirebilir. Akıllı tasarımı, aydınlatma çözümleri ve bağlantı seviyesi ile bu ofis binası dünyada başarılı bir örnektir (VOLT ve ark., 2017).



Şekil 4.33. Edge ofis binası

- Aspern akıllı bölge

Şekil 4.34.'te avusturya'nın Viyana kentindeki eski bir havaalanı, Avrupa'nın en modern ve çok işlevli kentsel alanlarından birine dönüştürülüyor. Aspern akıllı şehir araştırmaları, akıllı binaların mikro enerji direkleri olarak hareket etmesine ve bina duvarlarının içinde ve dışında enerji tüketimini optimize etmesine yönelik gelişmiş çözümler geliştiriyor ve test ediyor. Akıllı bina test yatakları, konut ve konut dışı binalardan oluşur ve akıllı yapıları bir ortamın birçok bileşenini gruplandırır: fotovoltaiik

paneller, pil ve termal depolama, akıllı sayaçlar, güneş enerjisi, ısı pompaları ve sistemleri, dinamik ve kendi kendine öğrenen kontroller. Dinamik ve kendi kendine öğrenen kontrol sistemleri, tahmini enerji gereksinimlerini (örneğin hava koşullarına bağlı olarak) hesaplar ve bunu yaparak enerji tasarrufu sağlar (Volt ve ark., 2017).



Şekil 4.34. Aspern akıllı bölge

- Abu Dabi Masdar akıllı şehir

Enerji verimliliği ve estetik, güneş panellerinin mimariye dahil edilmesinin sayısız örneğiyle ortaya çıkıyor. Bu örneklerden en öne çıkanlardan biri Masdar şehridir. Ziyaretçilerin her zamankinden daha fazla ilgisini çeken şey, güneş enerjisinin her türlü teknolojiyle birlikte kullanılmasıdır.

Abu Dabi'deki Masdar Shahr Meydanı'nın tasarımında ayçiçeklerinden ilham alındı. 80.000'den fazla güneş paneliyle yıllık 17.500 megavatsaat enerji üreten bu yeni şehirde 10 megavatlık bir güneş enerjisi çiftliği tasarlandı. Mevcut plana göre Masdar kentindeki elektrik enerjisinin büyük bir kısmı fotovoltaik çiftliklerden, bir kısmı da binaların çatılarına ve cephelerine yerleştirilen fotovoltaik panellerden sağlanıyor. Çatılarda güneş panellerinin kullanılması, doğrudan güneş ışığının çatı yüzeyine ulaşmasını engellediği gibi, binalarda ve genel alanlarda çift gölge oluşturulmasına da yardımcı olmaktadır.

Güneş enerjisiyle termal soğutma, Masdar şehrinin soğutulması için önemli bir kaynak olarak kabul ediliyor. Araştırmalara göre güneş enerjisi termal kollektörlerinin ürettiği enerji aynı zamanda soğuk su üretmek veya havanın nemini almak için de kullanılıyor. Bu teknoloji, klima sisteminin elektrik enerjisi tüketimini azaltır. Araştırmalara göre bu üniversite kompleksi için ihtiyaç duyulan enerjinin yaklaşık yüzde 30'u çatılara kurulan güneş panelleri aracılığıyla üretiliyor ve bu paneller toplam tüketilen sıcak suyun yüzde 75'ini karşılayacak (Madakam ve Ramaswamy, 2016).

- Danimarka'da sıfır projesi

Şekil 4.35'te danimarka'nın küçük kasabası Sønderborg, bölgeyi 2029 yılına kadar sıfır karbon haline getirmek amacıyla kapsamlı ve ileriye dönük bir strateji uyguladı. Binalar, enerji ve ulaşım sistemlerine ilişkin kapsamlı program; insanları, politikacıları ve işletmeleri kapsamaktadır. Sønderborg, akıllı çözümlerle enerji verimliliğini artırıyor ve şehri sıfır karbona getirecek daha fazla yenilenebilir enerji için alan yaratıyor. Binalar bu planda önemli bir rol oynamaktadır (De Groote ve ark., 2017).



Şekil 4.35. Sønderborg sıfır projesi

- Bedington sıfır enerjili konut kompleksi

Londra'nın güneydoğusunda kırk dakika uzaklıkta bir konut kompleksi bulunmaktadır. Bu komplekste 82 konut, 1600 m² iş yeri, spor salonu, mağaza, kafeterya, sağlık merkezi ve çocuk bakım tesisleri bulunmaktadır.

Evlerin çatıları, havalandırma sistemi görevi gören ve evlerin içindeki sıcaklığı düzenleyen renkli bacalarla doludur. Evlerin çatılarına yerleştirilen bacalar aynı zamanda ısının binanın içine iletilmesini sağlar ve en önemlisi her yapının duvarları özenle yalıtılarak enerji kaybının önüne geçilir. Şekil 4.36.'da her evin kendine özgü güneş panelleri var ve önünde güzel çiçeklerle dolu küçük bir bahçe kuruluyor. Cam duvarlar evlerin balkonlarını çevreliyor ve içeriye büyük miktarda doğal ışık yönlendiriyor.

Evlerin hiçbirinde merkezi ısıtma sistemi bulunmamaktadır. Güney evleri ısıyı güneş ışığını emen ve ısı enerjisine dönüştüren ısıtıcılardan alıyor. Kuzeydeki evlerin alt katlarında binanın ihtiyaç duyduğu enerji ve ısıyı biyokütlenin yakılması yoluyla üreten devasa yapılar inşa edildi (De Groote ve ark., 2017).



Şekil 4.36. Bedington sıfır enerjili konut kompleksi

- Elite concept konut projesi

Bu bina İstanbul, Türkiye'de bulunan mimar Adnan Kazmaoğlu tarafından tasarlanmıştır ve muhteşem adalar, deniz ve İstanbul çevresi manzarasına sahip olması, %75 sosyal donatı alanı ve peyzaj alanı oranıyla bu projede doğadan yararlanma isteğini göstermektedir. Şekil 4.37.'de kadıköy'ün en güzel lokasyonunda 24.000 m² arsa üzerinde 3 blokta 1+1, 2+1, 3+1, 4+1 daire seçeneklerinden oluşan 785 konut ile farklı zevk ve beklentilere hitap eden yepyeni ve benzersiz bir konsept Ticari bölge ile uygulanmaktadır (Kazmaoğlu, 2013).



Şekil 4.37. Elite concept konut projesi 1

Şekil 4.38.'de Bir yanda sıralanmış adalar, bir yanda göz alıcı tarihi yarımada, diğer yanda Çamlıca. İstanbul'un bu muhteşem manzaralarından yararlanmak için bu proje %90 cam panoramik manzara ile tasarlanmıştır. İstanbul'un muhteşem manzarasını kesintisiz izleme imkanı sağlayan %90 panoramik camlı bu konut kompleksinde, merkezi klima sisteminden mutfığa kadar akıllı ev teknolojisi kullanılıyor. Binayı tasarlarlarken projenin ana çıkış noktası, çevresel parametreleri dikkate alan, görsel işlevleri göz ardı etmeyen bir yöntem kullanan bir yapı oluşturmaktı ve binanın pratik ve akıllı tasarımı için iklimsel özellikler kullanılmıştır (Kazmaoğlu, 2013).

Elite Consept'te tüm peyzaj alanlarının ve tuvalet depolarının sulanması için su ihtiyacı akıllı bir sistemle yapılmaktadır. Banyo, mutfak ve lavabolarda kullanılan suyun yanı sıra yağmur suyunun da arıtılmasıyla elde edilen gri su arıtma sistemi ile yapılacak. Ayrıca güneş panelleri sayesinde ortak alanların aydınlatma ve sıcak su ihtiyaçları için güneş enerjisinden faydalanılmaktadır. Bu önlemlerin sonucunda bu yöntemlerle maliyet tasarrufu sağlanmakta ve doğal olarak ekonomik ve çevresel etkiler azaltılmaktadır (Anonymous, 2013).



Şekil 4.38. Elite concept konut projesi 2

Evde olmadığınızda, ister evinize dönmek isteyin, ister şehrin herhangi bir yerinde, ister şehir dışında, ister dünyanın öbür ucunda, tek dokunuşla evinizi istediğiniz gibi kontrol edebilirsiniz. İhtiyacınız olan tek şey internet bağlantısı olan bir akıllı telefon veya tablettir. Bu akıllı projede, iOS ve Android platformlarındaki telefon ve tabletler aracılığıyla ev içerisinden veya uzaktan kontrol edilebilen, akıllı evin çeşitli fonksiyonlarının kontrol ve takip edilebildiği, "Elite Concept" adı verilen bir uygulama bulunmaktadır. Bu uygulamayla evin içindeki aydınlatma, perde, ev aletleri, ısıtma ve soğutma gibi sistemleri kontrol edebiliyor (Kazmaoğlu, 2013). Yukarıdaki bilgilere göre bu binanın akıllı özellikleri olarak şunları sayabiliriz: (Anonymous, 2013)

- Akıllı yangın alarm ve aydınlatma sistemi
- Akıllı klima ve perde ve pencere sistemi
- Akıllı giriş kapısı ve kilit sistemi
- Akıllı medya sistemi ve interkom
- Güvenlik kameralarından oluşan akıllı sistem ve akıllı uzak kontrol sistemi

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde enerji ve iklim değişikliği gibi iki konu, çevresel ve ekonomik boyutları nedeniyle dünya çapında önem kazanmıştır ve bu çok önemli konuların içinde insan hayatı da yer alıyor, dolayısıyla birçok ülkede enerji tüketiminin yüksek olması nedeniyle binalar hükümet politikalarında önceliklendiriliyor. Mimarlık ve inşaat sektörünün çevre kirliliğine ve enerji tüketimine önemli katkısı olduğu ve inşaat ve mimarlık yöntemlerinde bu reformların yapılması gerektiği göz önüne alındığında, inşaatın tamamlanması ve projenin tamamlanmasından sonra bile, kirlilik olmadan kontrol etmek ve sürdürmek için daha az enerjiye sahip oluruz.

Önerilen sistem mimarisi daha önce dikkate alınmamış bilgileri bütünleştiren bir bilgi tabanına dayanmaktadır. Malzemeler, termal özellikler, bina düzeni ve yönelimi gibi mimarlık, mühendislik ve inşaat alanlarından gelen çeşitli harici verilerin yanı sıra çok sayıda yeni parametreden başlayarak geleneksel verileri entegre bir şekilde entegre eder. Dolayısıyla akıllı bina sistemi, insan, bina ve doğa arasındaki ilişkiyi sürdüren ana halka olup, amaca yönelik ve ilkeli tasarım ve uygulama ile söz konusu sorunlara uygun bir cevap olabilir ve insan yaşamının nicelik ve kalitesini iyileştirebilir.

Akıllı binalar, mimari tasarım sürecinin aşamalarında, çevre dostu yapı malzemeleri, kullanılan sistem ve teknolojilerin sağladığı enerji tasarrufu ile çevre ilkeleriyle bir bütünlük oluşturmaktadır. Geçmişte akıllı bina kavramı sadece teknolojik ekipman ve maliyetten ibaretti ancak bu tezde de sunulduğu gibi akıllı binaların teknoloji ve akıllı ekipman kullanımının yanı sıra amaca yönelik ve akıllıca tasarlanıp uygulanması gerektiğini gördük. İnceleme analizi, kişisel kriterlerin (yani psikolojik, fizyolojik), iklimsel (yani çevresel, fiziksel), sakinlerin hareketinin, bina tasarımının, sosyal ve ekonomik kriterlerin dünya çapında birçok araştırmacının ilgisini çeken ana özellikler olduğunu gösterdi ve her projenin püf noktaları ve özellikleri dikkate alınmalı ve o koşullara özel bir tasarım oluşturulmalıdır.

Yeşil binalar, sıfır enerjili binalar, düşük karbonlu binalar ve akıllı binalar sürdürülebilir mimarinin bir parçasıdır ve günümüz dünyasının sorunlarıyla başa çıkmak için önerilmiştir. Bu nedenle, binaların ve onlara bağlı sistemlerin verimli ve uygun maliyetli enerji verimliliğini artıracak enerji ve yapı çevre teknolojilerinin doğru tasarlanması ve uygulanması, küresel enerji ve çevre sorunlarının çözümü açısından önemlidir. Bu nedenle mevcut teknolojileri paralel olarak kolaylaştırarak ve

aynı zamanda bina içindeki insanların ihtiyaçlarını ve konforunu karşılayarak hedeflere ulaşmak için uygun teknik ve planların seçilmesi gerekmektedir.

Akıllı binalar enerji, ekonomi ve çevre alanlarında önemli hedefler peşinde koşmakta ve bu üç alandaki tüm sorunları çözmeye ve iyileştirmeye çalışmaktadır, ekonomi, enerji ve çevre olmak üzere üç alanı iyileştirmek insan yaşam kalitesini arttırmaktadır. Aşağıdaki durumlarda akıllı mimari ile ulaşılabilecek tüm hedeflere değinilmektedir:

1. Akıllı bir binanın sonucu, sakinleri için daha verimli, sürdürülebilir ve konforlu bir ortamdır.
2. Akıllı binalar toplumsal kalkınma ihtiyaçlarını karşılayan etkili bir yoldur.
3. Akıllı binalar enerji tüketimini optimize edebilir, işletme maliyetlerini azaltabilir ve genel performansı iyileştirebilir.
4. Akıllı evlerde teknoloji ve veri analizinin entegrasyonu, enerji tüketiminin azaltılmasına ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının optimize edilmesine yardımcı olabilir ve enerjisiz binaların mimarisinde önemli bir rol oynayabilir.
5. Sıfır enerjili binalar, genellikle enerji verimli tasarım, yerinde yenilenebilir enerji üretimi ve gelişmiş bina otomasyon sistemlerinin bir kombinasyonu yoluyla tükettikleri kadar enerji üretecek şekilde tasarlanmıştır; bu da daha düşük elektrik faturalarına ve çevresel etkilerin azalmasına yol açabilir.
6. Akıllı ev teknolojisi, güneş paneli veya rüzgar türbini gibi yenilenebilir enerji kaynaklarıyla da entegre edilebiliyor. Bu, enerji üretimi ve tüketimi arasında daha iyi bir koordinasyon sağlar ve temiz ve sürdürülebilir enerji kullanımını en üst düzeye çıkarır.
7. Akıllı binalar aynı zamanda gelişmiş izleme sistemleri ve otomatik acil durum müdahale protokolleri gibi gelişmiş emniyet ve güvenlik özellikleri de sunar.
8. IoT cihazlarının ve sensörlerinin entegrasyonu, bina sistemlerinin gerçek zamanlı izlenmesine ve öngörücü bakıma olanak tanıyarak daha az kesinti ve arıza oluşmasını sağlar. Genel olarak akıllı bir binanın sonucu, çevredeki ayak izini en aza indirirken bina sakinlerinin ihtiyaçlarını karşılayan daha akıllı ve daha duyarlı bir alandır.

9. Akıllı ev teknolojisi, ısıtma, soğutma, aydınlatma ve cihazlar gibi çeşitli bina sistemlerinin gerçek zamanlı izlenmesini ve kontrolünü sağlayarak bu hedeflere ulaşılmasına yardımcı olabilir. Bu, doluluk modellerine, hava koşullarına ve diğer faktörlere dayalı olarak enerji tüketiminin daha hassas bir şekilde yönetilmesine olanak tanır. Örneğin, akıllı termostatlar doluluk ve tercihlere göre sıcaklıkları otomatik olarak ayarlayabilirken, akıllı aydınlatma sistemleri boş odalardaki ışıkları kısabilir veya kapatabilir.

10. Akıllı ev teknolojisi, uzaktan izleme ve mobil uygulamalar aracılığıyla kontrol gibi özellikler aracılığıyla sakinlerin enerji tüketiminin azaltılmasına aktif olarak katılmasını sağlayabilir. Bu, kullanıcıların enerji tüketimleri hakkında bilinçli kararlar almalarına ve çevresel etkilerini daha da en aza indirecek adımlar atmalarına olanak tanır.

11. Doğal ekolojik çevre ile ekonomik fayda yaratılması arasında bir denge kurmak. Teknik uygulamalarda teknolojilerin ve akıllı tasarımın birleşimi inşaat projelerinin inşasında ekolojik bir avantaj olabilir.

12. Özellikle akıllı binaların güneş, rüzgar, gelgit ve jeotermal enerji kaynaklarına bağlı olması nedeniyle doğal enerji kaynakları depolanacak ve gelecek nesiller için kullanılabilir olacaktır.

13. Teknoloji açısından, CO₂ emisyonları esas olarak binaların ve toplulukların inşası ve işletilmesinden kaynaklanmaktadır. İnşaat için günümüzde çoğu araştırmada geleneksel betonarme yerine ahşap, geleneksel inşaat yöntemleri yerine prefabrik yapılar ve binanın yükünü azaltmak için uygun kaplama yapıları kullanılmaktadır. Ayrıca teknolojinin ve nano teknolojinin ilerlemesi sayesinde enerji tasarrufu sağlayan, daha az, hatta sıfır karbondioksit salan yeni malzemeler üretildi.

6. KAYNAKLAR

- Abbasi, F. and Asmari, M., 2011. Forecasting and assessment of climate change over Iran during future decades by using MAGICC-SCENGEN model, *Water and Soil*, 25(1), 10-17.
- Al-Yasiri, Q., and Szabó, M., 2021. Incorporation of phase change materials into building envelope for thermal comfort and energy saving: A comprehensive analysis, *Journal of Building Engineering*, 36, 102-122.
- Antón, P. S., Silberglitt, R. S., Schneider, J., 2001. The global technology revolution: bio/nano/materials trends and their synergies with information technology by 2015, Rand Corporation, Washington D.C, 2-64.
- Balta-Ozkan, N., Boteler, B., Amerighi, O., 2014. European smart home market development: public views on technical and economic aspects across the United Kingdom, germany and italy, *Energy Research and Social Science*, 3, 65-77.
- Bayraktar, M. and Yılmaz, Z., 2006. Bina energy tasarrufunda pasif akkının önemi, *Tesisat Muhendisligi Dergisi*, 14(1), 13-23.
- Bean, F., De Groote, M., Volt, J., Rapf, O., Marian, C., d'Angiolella, R., 2017. Opening the door to smart buildings: driving the transition with EU directives, *Buildings Performance Institute Europe(BPIE)*, 12-87.
- Bhati, A., Hansén, M., Chan, C. T., 2017. Energy conservation through smart homes in a smart city: A lesson for Singapore households, *Energy Policy*, 104, 230-239.
- Booker, R. D., and Boysen, E., 2005. Nanotechnology for dummies, *Wiley Publishing*, Indiana, 78-125.
- Borden, I. and Dunster. D., 1995. architecture and the sites of history: interpretation of building and cites, *Butterworth Architecture*, 12-42.
- Boyle, G., 2007. Non-nuclear sustainable energy futures for Germany and the UK, *In Palgrave Macmillan UK eBooks*, 183-196.
- Cabeza, L.F., Bai, Q., Bertoldi, P., Kihila, Lucena, J.M., Mata, A.F.P., É., Mirasgedis, S., Novikova, A., Saheb, Y., 2022. Mitigation of climate change: contribution of working group, *Cambridge University Press*, 47-69.
- Cao, X., Dai, X., Liu, J., 2016. Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade, *Energy and Buildings*, 128, 198-213.
- Casini, M., 2016. Smart buildings: advanced materials and nanotechnology to improve energy-efficiency and environmental performance, *Woodhead Publishing*, Sawtson Cambridge, 12-39.
- Chan, M., Masrom, M. A. N., Yasin, S. S., 2022. Selection of low-carbon building materials in construction projects: construction professional's perspectives, *Buildings*, 12(4), 86-142.
- Chung, S., Kwon, S., Moon, D., Ko, T., 2018. Smart facility management systems utilizing open BIM and augmented/virtual reality, *35th International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, Berlin, Germany, 1-7.

- Clements, C. D., 2004. Intelligent buildings: design management and operation, *Thomas Telford Ltd*, London, 114-254.
- Clements, C. D., 2011. Sustainable intelligent buildings for people, *Intelligent Buildings International*, 3(2), 67-86.
- Council, U. G. B., 2003. Green building rating system for new construction and major renovations, *LEED-NC*, 10-24.
- Crishna, N., Banfill, P. F. G., Goodsir, S., 2011. Embodied energy and CO2 in UK dimension stone, *Resources, Conservation and Recycling*, 55(12), 1265-1273.
- De Groote, M., Volt, J., Bean, F., 2017. Smart buildings decoded: the concept beyond the buzzword, *Buildings Performance Institute Europe (BPiE)*, 2-78.
- De Groote, M., Volt, J., Fabbri, M., Rapf, O., 2016. Smart buildings in a decarbonised energy system: 10 principles to deliver real benefits for europe's citizens, *Buildings Performance Institute Europe (BPiE)*, 9-84.
- De Silva, L. C., Morikawa, C., Petra, I., 2012. State of the art of smart homes, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 25(7), 1313-1321.
- Donovan, E., 2019. Traversing sustainable architecture: between discourse and practice, *RIBA Publishing*, Amsterdam, 74-85.
- Doukari, O., Seck, B., Greenwood, D., Feng, H., Kassem, M., 2022. Towards an interoperable approach for modelling and managing smart building data: the case of the CESI smart building demonstrator, *Buildings*, 12(3), 347-362.
- Eichholtz, P., Kok, N., Quigley, J. M., 2010. Doing well by doing good? green office buildings, *The American Economic Review*, 100(5), 2492-2509.
- El-Azab, R., 2021. Smart homes: potentials and challenges, *Clean Energy*, 5(2), 302-315.
- El-Sheikh, M. and Gerber, D., 2011. Building skin intelligence: parametric and algorithmic tool for daylighting performance design integration, *Proceedings of ACADIA*, 170-177.
- Erten, D., 2010. Uluslararası sürdürülebilir yapılar sempozyumu (ISBS), *LEED ve BREEAM Sertifikalarının Karşılaştırılmalı İncelenmesi*, 26-28.
- Fachrizal, R., Qian, K., Lindberg, O., Shepero, M., Adam, R., Widén, J., Munkhammar, J., 2024. Urban-scale energy matching optimization with smart EV charging and V2G in a net-zero energy city powered by wind and solar energy, *eTransportation*, 20, 100-114.
- Femenías, P., Högskola, C. T., Development, C. T. B. E. S., Arkitektur, C. T. H. S. F., 2004. Demonstration projects for sustainable building: towards a strategy for sustainable development in the building sector based on swedish and dutch experience, *ProQuest LLC*, 2-20.
- Franssen, M., Lokhorst, G.J., Van de Poel, I., 2009. Philosophy of technology, *Science and Engineering Ethics*, 12-25.

- Ghaffarianhoseini, A., Dahlan, N. D., Berardi, U., Makaremi, N., 2013. The essence of future smart houses: from embedding ICT to adapting to sustainability principles, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 24, 593-607.
- Giouri, E. D., Tenpierik, M., Turrin, M., 2020. Zero energy potential of a high-rise office building in a mediterranean climate: using multi-objective optimization to understand the impact of design decisions towards zero-energy high-rise buildings, *Energy and Buildings*, 209, 109-136.
- Guerrero, J. M., Monsef, H., Rahimi-Kian, A., 2015. Optimal smart home energy management considering energy saving and a comfortable lifestyle, *IEEE Transactions on Smart Grid*, 6(1), 324-332.
- Gut, P., and Ackerknecht, D., 1993. Climate responsive building: appropriate building construction in tropical and subtropical regions, *Skat*, 12-16.
- Hagan, S., 2007. Taking shape: A new contract between architecture and nature, *In Routledge eBooks*, London, 5-103.
- Hansen, H. T. R., and Knudstrup, M-A., 2005. The integrated design process (IDP): a more holistic approach to sustainable architecture, *In S. Murakami, and T. Yashiro (Eds.), Action for sustainability: The 2005 World Sustainable Building Conference, Tokyo National Conference Board*, Tokyo, Japan, 894-901.
- Heidegger, M., 2011. Poetry, language, thought, *ProQuest Ebook Central*, New York, 9-44.
- Himes, A., and Busby, G., 2020. Wood buildings as a climate solution, *Developments in the Built Environment*, 4, 100-130.
- Hu, H., 2018. World green building trends 2018 smart market report - world green building council, *Routledge*, London, 14-43.
- Hu, Z., He, W., Ji, J., Zhang, S., 2017. A review on the application of trombe wall system in buildings, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 976-987.
- Ibrahim, H. S., Khan, A. Z., Serag, Y., Attia, S., 2021. Towards nearly-zero energy in heritage residential buildings retrofitting in hot, dry climates, *Sustainability*, 13(24), 13-34.
- Inc, S. W. A., 1998. The passive solar design and construction handbook, *John Wiley and Sons publication*, New Jersey, 23-97.
- Jam, A. S., Reihan, M. K., Saravi, M. M., Bazrafshan, J. Sigaroudi, S. K., 2017. Investigation of climate change effect on drought characteristics in the future period using the HadCM3 model (Case Study: Khoy Station, Northwest of Iran), *Desert*, 22(1), 43-50.
- Jianchao, Z., Seet, B., Lie, T. T., 2015. building information modelling for smart built environments, *Buildings*, 5(1), 100-115.
- Ji, W., and Chan, E. H., 2019. Critical factors influencing the adoption of smart home energy technology in China: a guangdong province case study, *Energies*, 12(21), 41-80.

- Kamal, A., Al-Ghamdi, S. G., Koç, M., 2019. Role of energy efficiency policies on energy consumption and CO₂ emissions for building stock in Qatar, *Journal of Cleaner Production*, 235, 1409-1424.
- Kamel, E., and Memari, A. M., 2018. Automated building energy modeling and assessment tool, *Energy*, 147, 15-24.
- Kamel, E., and Memari, A. M., 2019. Review of BIM's application in energy simulation: tools, issues, and solutions, *Automation in Construction*, 97, 164-180.
- Karlin, B., Ford, R., Sanguinetti, A., Squiers, C., Gannon, J. P., Rajukumar, M., Donnelly, K. A. 2015. Characterization and potential of home energy management (HEM) technology, *Research Papers in Economics*, 25-47.
- Kasmaei, H., Baratifard, A., Ghaffari, P., 2011. Attitudes and principles in sustainable architecture, *National Conference on Civil Engineering, Architecture, Urban Planning and Energy Management*, Tehran, Iran, 12-19.
- Kelly, K., 1994. Out of control: The rise of neo-biological civilization, *Addison-Wesley Longman Publishing Co.*, United States, 53-211.
- Kim, D., Yoon, Y., Lee, J., Mago, P. J., Lee, K. Cho, H. 2022. Design and implementation of smart buildings: review of current research trend, *Energies*, 15(12), 42-78.
- Kim, J., 2016. HEMS (home energy management system) base on the IoT smart home, *Contemporary Engineering Sciences*, 9, 21-28.
- Khoja, A., and Waheeb, S. A., 2020. Vernomimicry: Bridging the gap between nature and sustainable architecture. *Journal of Sustainable Development*, 13(1), 33-35.
- Leman, A. M., Sharif, H. Z., Krizou, A. N., Al-Tarawne, M. T. A., Subbiah, M., Farsi, M., Irfan, A. R., 2020. Single objective optimization of net zero energy residential building in tropical climate, *IOP Conference Series*, 864(1), 12-31.
- Lechner, N., 2014. Heating, cooling, lighting: sustainable design methods for architects, *John Wiley & Sons publication*, New Jersey, 51-114.
- Li, S., Cui, Y., Banaitiené, N., Liu, C., Luther, M., 2021. Sensitivity analysis for carbon emissions of prefabricated residential buildings with window design elements, *Energies*, 14(19), 36-64.
- Li, Y., Li, S., Xia, S., Li, B., Zhang, X., Wang, B., Ye, T. Zheng, W., 2023. A review on the policy, technology and evaluation method of low-carbon buildings and communities, *Energies*, 16(4), 2-42.
- Louis, J., Calò, A., Leiviskä, K., Pongrácz, É., 2015. Environmental impacts and benefits of smart home automation: life cycle assessment of home energy management system, *IFAC-PapersOnLine*, 48(1), 880-885.
- Madakam, S., and Ramaswamy, R., 2016. Sustainable smart city: masdar (UAE) (A city: ecologically balanced), *Indian Journal of Science and Technology*, 9(6), 42-83.
- Marchand, R., Koh, S. L., Morris, J., 2015. Delivering energy efficiency and carbon reduction schemes in England: lessons from green deal pioneer places, *Energy Policy*, 84, 96-106.

- Mayrand, F., and Clergeau, P., 2018. Green roofs and green walls for biodiversity conservation: a contribution to urban connectivity, *Sustainability*, 10(4), 71-85.
- Morre, S. A., 2007. Technology, places and non-modern regionalism, *Regionalism for the Third Millennium*, 7-91.
- Peng, Y., Roders, A. R., Schröder, T. W. A., Colenbrander, B. J. F., 2018. Sustainable architecture in urban historic contexts: systematic literature review, *2nd International Conference on Heritage of China: Continuity and Celebration of Living Heritage of China*, Suzhou, China, 11-24.
- Rashid, K. M., Louis, J., Fiawoyife, K. K., 2019. Wireless electric appliance control for smart buildings using indoor location tracking and BIM-based virtual environments, *Automation in Construction*, 101, 48-58.
- Reddy, B. V. V., 2009. Sustainable materials for low carbon buildings, *International Journal of Low-carbon Technologies*, 4(3), 175-181.
- Sadineni, S. B., Madala, S., Boehm, R. F., 2011. Passive building energy savings: A review of building envelope components, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 3617-3631.
- Salem, R., Bahadori-Jahromi, A., Mylona, A., Godfrey, P., Cook, D., 2020. Energy performance and cost analysis for the nZEB retrofit of a typical UK hotel, *Journal of Building Engineering*, 31, 101-103.
- Seçer, F., 2006. Teknolojik gelişmelerin konut iç mekan tasarımına etkisi ve akıllı evler, Doktora Tezi, *Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü İç Mimarlık Anabilim-Anasanat Dalı*, İstanbul, 52-86.
- Shad, R., Khorrami, M., Ghaemi, M., 2017. Developing an Iranian green building assessment tool using decision making methods and geographical information system: case study in Mashhad city, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 324-340.
- Smeaton, A. F., and McHugh, M., 2005. Towards event detection in an audio-based sensor network, *Association for computing Machinery*, 87-94.
- Stang, A., and Hawthorne, C., 2005. The green house: new directions in sustainable architecture, *Princeton Architectural Press*, 32-45.
- Stewart, M. E., 2001. Validation of a simplified building cooling load model using a complex computer simulation model, Doktora Tezi, *Vitginia Polytechnic Institute and state University, Vitginia*, 18-59.
- Sur, Y., 2020. BIM ve akıllı konut teknolojilerinin konut yenileme projelerinde kullanımına sürdürülebilirlik bağlamında yaklaşım, *Yapı Bilgi Modelleme*, 2(2), 66-78.
- Tan, X., Lai, H., Gu, B., Zeng, Y., Li, H., 2018. Carbon emission and abatement potential outlook in China's building sector through 2050, *Energy Policy*, 118, 429-439.
- Torcellini, P., Pless, S., Deru, M., Crawley, D., 2006. Zero energy buildings: a critical look at the definition, *National Renewable Energy Lab (NREL) Golden CO, California, United States*, 25-39.

- Uddin, M. N., Wei, H. H., Chi, H., Ni, M., 2021. Influence of occupant behavior for building energy conservation: A systematic review study of diverse modeling and simulation approach, *Buildings*, 11(2), 23-41.
- Velazquez, L. S., 2005. Organic greenroof architecture: sustainable design for the new millennium, *Environmental Quality Management*, 14(4), 73-85.
- Volt, J., De Groote, M., Bean, F., 2017. Smart buildings decoded: Is europe ready for the smart buildings revolution? mapping smart-readiness and innovative case studies, *Buildings Performance Institute Europe(BPIE)*, 6-73.
- Volt, J., De Groote, M., Bean, F., 2022. Global status report for building and construction: towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector, *Buildings Performance Institute Europe*, 7-56.
- Wang, P., Wang, J., Jin, R., Li, G., Zhou, M., Xia, Q., 2022. Integrating biogas in regional energy systems to achieve near-zero carbon emissions, *Energy*, 322, 119-130.
- Wigginton, M., and Harris, J., 2013. Intelligent skins, *Routledge eBooks*, London, 29-141.
- Wood, H. W., 1985. The United Nations world charter for nature: the developing nations' initiative to establish protections for the environment, *Ecology Law Quarterly*, 12(4), 977-996.
- Wong, J., and Li, H., 2008. Application of the analytic hierarchy process (AHP) in multi-criteria analysis of the selection of intelligent building systems, *Building and Environment*, 43(1), 108-125.
- Wong, J., Li, H., and Wang, S., 2005. Intelligent building research: a review, *Automation in Construction*, 14(1), 143-159.
- Wu, B., Lang, Y., Zargari, N. R., Kouro, S., 2011. Power conversion and control of wind energy systems, wind energy conversion system, *New Jersey*, 105-193.
- Xia, B., and Li, X., 2019. Analysis and comparison on the potential of low-carbon architectural design strategies, *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 21, 204-211.
- Xie, X., Ramakrishna, S., and Manganelli, M., 2022. Smart building technologies in response to COVID-19, *Energies*, 15(15), 54-88.
- Yang, J., Hao, Y., Feng, C., 2021. A race between economic growth and carbon emissions: what play important roles towards global low-carbon development, *Energy Economics*, 100, 105-127.
- Url-1 < <https://www.adnankazmaoglu.com/portfolio-256.html/> >, [Ziyaret Tarihi: 13 Ocak 2024].
- Url-2 < <https://asiancdc.org/reslab> >, [Ziyaret Tarihi: 24 Ekim 2023].
- Url-3 < <https://eliteconcept.com.tr/en/> >, [Ziyaret Tarihi: 17 Aralık 2023].
- Url-4 < <https://genk.vn/kham-pha-aerogel-loai-vat-lieu-ran-nhe-nhat-tren-the-gioi-20130809142148299.chn> >, [Ziyaret Tarihi: 26 Ekim 2023].

- Url-5 < <https://www.integralgroup.com/projects/pixel-building/> >, [Ziyaret Tarihi: 20 Haziran 2023].
- Url-6 < <https://www.otis.com/en/us/our-company/global-projects/project-showcase/bahrain-world-trade-center> >, [Ziyaret Tarihi: 20 Haziran 2023].
- Url-7 < <https://www.wilkinsoneyre.com/projects/the-crystal> >, [Ziyaret Tarihi: 10 Haziran 2023].
- Url-8 < <https://www.yelp.com/biz/energy-emporium-enfield-2> >, [Ziyaret Tarihi: 27 Ocak 2024].



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Muhammad JABREALZADEH

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Imam Hosein, Tebriz, Doğu Azerbaycan	20.06.2014
Üniversite	: Tebriz Üniversitesi, Tebriz, Doğu Azerbaycan	21.08.2018
Yüksek Lisans	: Siirt Üniversitesi, Siirt	

YABANCI DİLLER : İngilizce , Farsça