



**ENERJİ VERİMLİLİĞİ AÇISINDAN MEVCUT BİNALARIN YENİDEN
DEĞERLENDİRİLMESİ: ANKARA'DA BİR OFİS BİNASI İÇİN BIM-BEM
DESTEKLİ YAPI KABUĞU İYİLEŞTİRME ÖNERİSİ**

Gözde NALÇACI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

NİSAN 2025

ETİK BEYAN

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

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

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

Gözde NALÇACI

17/04/2025

ENERJİ VERİMLİLİĞİ AÇISINDAN MEVCUT BİNALARIN YENİDEN
DEĞERLENDİRİLMESİ: ANKARA'DA BİR OFİS BİNASI İÇİN BIM-BEM
DESTEKLİ YAPI KABUĞU İYİLEŞTİRME ÖNERİSİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Gözde NALÇACI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Nisan 2025

ÖZET

Günümüzde teknolojik gelişmelerin hız kazanmasıyla birlikte enerjiye olan talep artmakta, bu durum fosil yakıtların hızla tükenmesine ve çevresel etkilerin derinleşmesine neden olmaktadır. Enerji tüketiminin yaklaşık %40'ının inşaat sektöründen kaynaklandığı dikkate alındığında, mevcut yapı stoğunun enerji performansının iyileştirilmesi sürdürülebilirlik açısından stratejik bir gerekliliktir. Bu doğrultuda hazırlanan tez çalışması, mevcut durumda kullanımda olan, enerji etkin olmayan çok katlı ofis binalarında yapı kabuğu odaklı enerji verimliliği iyileştirmelerini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Çalışmada, yapı bilgi modellemesi (BIM) ve bina enerji modellemesi (BEM) yöntemleri birlikte kullanılmış, Ankara'daki tipik çok katlı ofis yapıları referans alınarak prototip bir yapı modellenmiştir. DesignBuilder yazılımı aracılığıyla yapılan modellemede, binanın geometrisi, yönelimi, kat yükseklikleri, kullanım senaryoları, iklim verileri ile mekanik ve elektrik sistem bileşenleri dikkate alınarak mevcut durum analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analiz doğrultusunda geliştirilen iyileştirme senaryolarında, çatıya fotovoltaik paneller entegre edilerek yenilenebilir enerji katkısı sağlanmış; cephe sisteminde ise farklı malzeme kombinasyonlarıyla çift kabuklu yapı kurgulanmıştır. Oluşturulan senaryolar, yıllık ısıtma-soğutma yükleri, aydınlatma enerjisi gereksinimi ve toplam enerji tüketimi parametreleri açısından değerlendirilmiş, elde edilen veriler mevcut durumla karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgular, çift cephe sisteminin özellikle soğutma yükü üzerinde belirgin bir azalma sağladığını, fotovoltaik panellerin ise binanın aydınlatma ihtiyacının karşılanmasına katkı sunduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, bu çalışma enerji verimliliği odaklı yapı kabuğu iyileştirmelerinin mevcut ofis binalarında uygulanabilirliğini ortaya koymakta ve BIM tabanlı enerji modellemesinin tasarım kararlarında etkin bir araç olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Bilim Kodu : 80123
Anahtar Kelimeler : Bina enerji modellemesi, enerji verimliliği, enerji simülasyonu, yapı kabuğu, yapı bilgi modellemesi, BIM, BEM, retrofit, çift cephe
Sayfa Adedi : 110
Danışman : Prof. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK

RETROFITTING OF EXISTING BUILDINGS IN TERMS OF ENERGY EFFICIENCY:
BIM-BEM SUPPORTED BUILDING ENVELOPE IMPROVEMENT PROPOSAL FOR
AN OFFICE BUILDING IN ANKARA

(M. Sc. Thesis)

Gözde NALÇACI

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

April 2025

ABSTRACT

Today, with the acceleration of technological developments, the energy demand is increasing, which causes the rapid depletion of fossil fuels and deepening environmental impacts. Considering that approximately 40% of energy consumption originates from the construction sector, improving the energy performance of the existing building stock is a strategic necessity in terms of sustainability. In this context, the thesis study aims to evaluate energy efficiency improvements focused on the building envelope in multi-storey office buildings that are currently in use and are not energy efficient. In the study, building information modelling (BIM) and building energy modelling (BEM) methods were used together, and a prototype structure was modelled by taking typical multi-storey office buildings in Ankara as a reference. In the modelling performed through DesignBuilder software, the current situation analysis was performed by considering the building's geometry, orientation, floor heights, usage scenarios, climate data and mechanical and electrical system components. In the improvement scenarios developed in line with this analysis, renewable energy contribution was provided by integrating photovoltaic panels to the roof, and a double-shell structure was designed with different material combinations in the façade system. The scenarios created were evaluated regarding annual heating-cooling loads, lighting energy requirements and total energy consumption parameters, and the obtained data were compared with the current situation. The findings show that the double façade system significantly reduces the cooling load, while photovoltaic panels contribute to meeting the lighting needs of the building. In conclusion, this study demonstrates the applicability of energy efficiency-oriented building envelope improvements in existing office buildings. It shows that BIM-based energy modelling can be used effectively in design decisions.

Science Code : 80123

Key Words : Building energy modelling, energy efficiency, energy simulation,
building envelope, building information modelling, BIM, BEM, retrofit,
double skin facade

Page Number : 110

Supervisor : Prof. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK

TEŞEKKÜR

Öncelikle, tez danışmanım, Prof. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK'a çalışmam boyunca verdiği rehberlik, destek, motivasyon ve sağladığı disiplin için içten teşekkürlerimi sunmak istiyorum. Bu süreçte, benim için her zaman ilham kaynağı oldu. Danışmanıma ek olarak, tez komitemin diğer üyelerine, tezi başarıyla tamamlamam için bana destek, güven ve bilgi ve donanımları ile ışık oldukları için teşekkür etmek istiyorum. Ayrıca bu süreçte çalışmalarımındaki katkısı yadsınamaz Ayşenur ÇOŞKUN'a sonsuz teşekkür ediyorum. Son olarak çok şey borçlu olduğum aileme, özellikle akademik alanda her zaman desteğini hissettiğim kardeşim Gamze NALÇACI'ya en içten teşekkürlerimi sunuyorum.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
HARİTALARIN LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI VE KURAMSAL ÇERÇEVE	7
2.1. Dünyada ve Türkiye’de Enerji Verimliliği	8
2.1.1. Türkiye’de bina enerji verimliliği mevzuat ve sertifika sistemleri.....	16
2.1.2. Binalarda enerji performansı yönetmeliği (BEP-TR).....	19
2.2. Mevcut Yapılarda Enerji Etkin İyileştirme.....	21
2.2.1. Aydınlatma iyileştirmesi.....	22
2.2.2. Servis sistemlerinin iyileştirmesi	23
2.2.3. Atık stratejisi.....	23
2.2.4. Retrofit kavramı ve türleri	27
2.2.5. Günümüz enerji verimli retrofit uygulamaları.....	31
2.3. Enerji Verimli Ofis Binaları için Tasarım Kriterleri	40
2.3.1. Enerji etkin sistemler	41
2.3.2. Enerji verimliliğinde çift cephe kullanımı	48
2.4. Enerji Etkin Yapı Tasarımında Kullanılan Sayısal Teknolojiler	50

	Sayfa
2.4.1. Mevcut yapılarda BIM kullanımı ve retrofit bilgi teknolojileri.....	56
2.4.2. Bina veri toplama teknikleri	57
2.4.3. BIM ve avantajları	57
2.5. BIM Ortamında Enerji Verimlilik Analizleri	61
3. YÖNTEM.....	63
3.1. Parametrelerin Tanımlanması	63
3.2. Enerji Verimliliği Yaklaşımının Geliştirilmesi.....	68
3.3. Enerji Verimliliğinde Retrofit.....	75
3.3.1. Sanal tasarım ve örnek yapı modeli	77
3.3.2. Passivehouse ve EnerPHit standartlarının binaya entegre edilmesi	85
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	89
4.1. Ankara Çok Katlı Ofis Yapısı Prototipin BEM Ortamında Mevcut Enerji Değerlerinin Hesaplanması.....	89
4.2. Bina Çatısına Yerleştirilen Fotovoltaik Panel ile Binanın Enerji İhtiyacının Analizi.....	91
5. TARTIŞMA	93
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	97
KAYNAKLAR	99
ÖZGEÇMİŞ	109

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Ofis binaları için retrofit sonucu enerji verimliliği değerleri	36
Çizelge 2.2. Bina modelleme yazılımları	52
Çizelge 2.3. BIM denetleyici ve BIM proje yazılımları	54
Çizelge 3.1. Ankara ili 2024 yılı sıcaklık ve yağış grafiği	64
Çizelge 3.2. Bölgelere göre yıllık sıcaklık değerleri grafiği	66
Çizelge 3.3. İklim bölgeleri için tanımlanan U değerleri	66
Çizelge 3.4. Yapı bileşeni U değerleri ve enerji talebi yönetimi	74
Çizelge 3.5. Isıtma ve soğutma sınır değerleri	74
Çizelge 3.6. Passivhaus veya EnerPHit sertifikası alan ofis binaları	76
Çizelge 3.7. Binada seçilen mazlemelerin ısıl geçirgenlik değerleri	81
Çizelge 3.8. Senaryolarda değerlendirilen yapı malzeme U değerleri tablosu	86
Çizelge 4.1. Değişen yapı malzeme U değerlerine göre yıllık enerji tüketimi	90

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Araştırma akış şeması.....	5
Şekil 2.1. Dünyada enerji tüketimi grafiği.....	9
Şekil 2.2. ABD ekonomisinin enerji yoğunluğundaki düşüş.....	15
Şekil 2.3. Türkiye sektörleri göre toplam enerji tüketimi	19
Şekil 2.4. Bina enerji kimlik belgesi örneği	21
Şekil 2.5. (A) konutlarda enerji tüketiminin farklı etkenlerindeki eğilimler ve (B) dünyadaki ticari binalar, 1980–2050	25
Şekil 2.6. Enerji iyileştirmesinin sınıflandırılması	28
Şekil 2.7. Mevcut binaları güçlendirmenin faydaları	32
Şekil 2.8. Mevcut binaları güçlendirmenin faydaları oransal dağılımı	33
Şekil 2.9. Postane binası yenilenme süreci şematik anlatımı	38
Şekil 2.10. Jeotermal enerji üretim ve dağıtım şeması.....	47
Şekil 2.11. Enerji verimliliği için aktif tasarım şeması	48
Şekil 2.12. Güçlendirme yoluyla ofis binası için optimum enerji çözümlerinde kullanılan programlar	55
Şekil 2.13. AECO değer zinciri boyunca BIM uygulaması	58
Şekil 3.1. Ankara ili yapılarda yükseklik - zaman grafiği	67
Şekil 3.2. Ofis binası plan şeması ve 3D görseli	79
Şekil 3.3. Ofis binası ve çevre binaların modellenmesi.....	80
Şekil 3.4. Bina dış duvar malzeme katman bilgisi ve malzeme yoğunlaşma grafiği	82
Şekil 3.5. Bina teras çatı kaplama malzeme katman bilgisi ve malzeme yoğunlaşma grafiği	82
Şekil 3.6. Bina döşeme değerlerinin seçilmesi ve malzeme yoğunlaşma grafiği.....	83
Şekil 3.7. Bina temel döşeme değerlerinin seçilmesi	83
Şekil 4.1. Mevcut binanın enerji analizi	89
Şekil 4.2. Binaya eklenen fotovoltaik panellerin görseli	91

Şekil	Sayfa
Şekil 4.3. Binaya eklenen fotovoltaik paneller ile enerji analizi	92
Şekil 5.1. Bina yıllık aydınlatma enerjisi ihtiyacı.....	93
Şekil 5.2. Bina yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı.....	94
Şekil 5.3. Bina yıllık soğutma enerjisi ihtiyacı.....	95
Şekil 5.4. Bina tüm yıllık toplam enerji tüketim grafiği.....	95



RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. (a) Mahindra Towers, (b) Paharpur Business Center, (c) One Post Office Square, (d) Newyork Empire State Building, (e) One Prudential Plaza	35
Resim 2.2. Postane binası cephe yenileme görseli.....	38
Resim 2.3. Paharpur Business Center iç mekan bitki görseli.....	39
Resim 2.4. Mikroklima için yapı çevresinde zengin doğal faktörlerin kullanımına örnek.....	43
Resim 2.5. Greenway Self Park mimari örneği.....	46
Resim 3.1. Ofis binası bina aktivite bilgileri.....	78
Resim 3.2. Ofis binası konum ve iklim değerlerinin belirlenmesi.....	79
Resim 3.3. Bina yapı malzemeleri program bilgileri	80
Resim 3.4. Bina pencere değerlerinin seçilmesi	84
Resim 3.5. Bina havalandırma, ısıtma ve soğutma sistemi bilgileri	85

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 3.1. Türkiye iklim bölgeleri haritası	65
Harita 3.2. Ofis binası konum bilgileri	78



SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
%	Yüzde işareti
°	Derece işareti
°C	Santigrat
A	Alan (mm ²)
cm	Santimetre
CO ₂	Karbondiyoksit
kWh	Kilowatt saat
kWh/m ²	Alan başına düşen enerji
L	Litre
m	Metre
m ²	Metrekare
mm	Milimetre
TWh	Terawatt saat
W/m ² K	Isıl Geçirgenlik Katsayısı (U-değeri)
yy.	Yüzyıl

Kısaltmalar	Açıklamalar
2D	İki boyutlu
3D	Üç boyutlu
AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AECO	Mimarlık, Mühendislik, İnşaat, İşletme
ASHRAE	Amerikan Isıtma, Soğutma ve Havalandırma Mühendisleri Derneği
BIM	Yapı Bilgisi Modelleme
CDF	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
CFL	Kompakt Floresan Lamba

Kısaltmalar**Açıklamalar**

BRE	Bina Araştırma Kurumu
DSF	Çift Çephe
EJ	Exajoule
EKB	Enerji Kimlik Belgesi
EPC	Enerji Performans Sertifikası
EVK	Enerji Verimliliği Kanunu
EVKK	Enerji Verimliliği Koordinasyon Kurulu
ETKB	Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı
gbXML	Yeşil Bina Genişletilebilir İşaretleme Dili
GSYİH	Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
HVAC	Isıtma, Soğutma, Havalandırma Sistemleri
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
IFC	Uluslararası Finans Kuruluşu
IWBI	Uluslararası WELL Bina Enstitüsü
LEED	Enerji ve Çevresel Tasarımda Liderlik
OECD	Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü
PV	Fotovoltaik
USGBC	Amerika Yeşil Binalar Konseyi
XPS	Ekstrude Polistren

1. GİRİŞ

Günümüzde inşaat sektörünün yüksek enerji tüketimi ve enerji kaynaklarının tükenmekte olma durumu, iklim değişikliğinin en önemli sebepleri içinde yer almaktadır. Bu nedenle, bina sahipleri, binalarını yenileme ve binanın gereksinim duyduğu enerjiyi azaltma yükümlülüğüne sahiptir. Avrupa Birliği'nin (AB) 2002/91/EC direktifine uygun olarak, binanın enerji sertifikasyonu ve enerji tüketiminin azaltılması, AB'de inşaat sektörünün karbondioksit emisyonlarını ve tüketimini artırmaktadır. Enerji tüketimi ve AB'nin karbondioksit emisyonlarının yaklaşık %40'ı binaların aydınlatılması, ısıtılması, soğutulması ve havalandırılmasından kaynaklanmaktadır. Mevcut bina sayısı, bir yılda inşa edilecek yeni binalarla karşılaştırıldığında sayıca yüksektir. AB'deki konut ve ofis binaları, tüm binaların taban alanlarının yaklaşık %75'ini oluşturur ve toplam nihai enerji tüketiminin %27'sini, yani toplam enerji tüketiminin yaklaşık %68'ini oluşturmaktadır. 2050 yılına kadar Avrupa şehirlerinde yaşayan nüfusun dörtte üçü mevcut yapı stoklarından faylanacağı öngörülmektedir (The Buildings Performance Institute Europe-BPIE, 2010). AB'deki binaların yaklaşık %35'i 50 yaşın üzerindedir. Sonuç olarak, mevcut bina stoğunun enerji verimli olması artan enerji talebine olan ihtiyacı azaltacağı düşünülmektedir (Desogus ve diğerleri 2013). Yine de var olan binalarda kapsamlı yenileme yoluyla enerji verimliliğini artırmak için enerji tüketimi uygun maliyetli önlemlerle azaltılmaktadır. İşletilen binalar, enerji performansında ve yönteminde nispeten küçük değişiklikler yapılarak toplam enerji tüketimini ve maliyetleri azaltabilmektedir.

Mevcut ofis binaları inşaatı minimum enerji verimli sistemlerden oluşmaktadır. Son teknolojiyle daha az entegre olduğundan enerji performansı açısından teknolojiler pazarda büyük bir potansiyele yol açmaktadır. Sürdürülebilir Kalkınma İş Konseyi tarafınca meydana getirilen araştırmaya göre, yüksek kattan oluşan binalar, 1975'ten öncesinde bile inşa edilmiş AB bina stoğunun ortalama yarısını oluşturmaktadır. Ülkemizde, 2000 yılındaki bina sayımına bakılırsa, binaların birçoğunun 1970'ten sonrasında inşa edilmiş sadece kontrol eksikliği ve Bina Mevzuatı şeklinde zorunluluklar sebebiyle konum değişik bir boyuta gelmiştir.

Enerji verimliliği için Türk standartları 1985'ten beri vardır ancak günümüzde AB'de yürürlükte olan çok sayıdaki EN ve ISO standartları TS tarafından kabul edilmiştir. Sonuç olarak, Türkiye'nin inşaat sektöründe de önemli bir enerji tasarrufu potansiyeli vardır, ayrıca

mesken ve ofis yapılarında kullanım yoğunluğu sebebiyle bu gereksinim daha açıktır. İnşaat sektörü, Türkiye'deki toplam tüketimin ortalama %40 'ını oluşturmaktadır. Benzer halde, enerji tüketimi ve inşaat sektörü toplam karbondioksit emisyonlarının %32'sinden sorumludur. 2023 istatistiklerine göre ülkemizde 38,4 milyon bina vardır ve bu yapıların 10 milyonu büyük şehirlerde yer edinen ofis yapılarıdır. Bu nedenle, Türkiye'deki bina stoğunun verimli iyileştirilmesinin gerekli olduğu düşünülmektedir.

Bu tezde, öncelikle Türkiye'deki ofis binalarının iyileştirilmesinde referans olarak kullanılabilecek, dünyanın farklı yerlerindeki binaların karşılaştırılması yoluyla elde edilen bilgiler değerlendirilmiştir. Bu tez, bina kaplamalarının enerji verimliliğini artırmanın yollarını inceleyerek başlamaktadır. Amaç, saha araştırmaları yoluyla binaların enerji performansının belirlenmesinde hangi yöntem ve uygulamaların tercih edildiğini belirlemek ve bağlamsal olarak benzer alanlardaki binaların kabuk tasarımı için referans olarak kullanılabilecek bilgiler elde etmektir. Belirlenen alan içerisinde çok katlı bir yapının Design Builder programında modellenerek yapı kabuğu etkin enerji denemeleri yapılmıştır. Bu denemeler sonucunun mevcut yapılarda enerji verimliliği için yapılabilecek iyileştirmelere referans olması amaçlanmıştır. Sonuçlar, inşaat sektörü aktörlerinin, özellikle de mimarların, tasarım ve uygulama kararları yoluyla çevre üzerinde önemli bir etkiye sahip olabileceğini göstermektedir.

Problemin tanımı

Günümüzde geleceğimizi endişelendiren en temel sorunlardan biri de yaşadığımız çağın enerjiye ve dolayısıyla tükenmekte olan enerji kaynaklarına olan ihtiyacdır. Küresel ısınma ve iklim değişikliğine karşı alınabilecek en temel önlemlerden birisi enerji tüketimini minimize etmek ya da bu ihtiyacı yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlama yoluna başvurmaktır. Özellikle 1990' lı yıllarda yapılarda enerji ve çevre bilinci oluşmaya başlamış ancak yapım tekniklerinde günümüz teknolojileri kadar gelişmiş düzeyde bir inşaa süreci olmamıştır. Günümüzde hala kullanım halinde olan bu yapılar kayda değer boyutlarda enerji tüketimine sebep olmaktadır. Mevcut yapıların enerji verimli hale getirilmesinde yalıtımların iyileştirilmesi, servis sistemin iyileştirilmesi gibi birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden en etkin olanlarından biri de binanın dış ortam ile bağına sağlayan, iç mekan konforunu devamlı kılan yapı kabuğunun yenilenmesidir.

Çalışma alanı olarak belirlenen Ankara ilinde, çok katlı ofis binalarının oldukça yoğun olduğu belirlenmiş ve enerji ihtiyacı açısından en çok paydayı bu ofis binalarının oluşturduğu gözlemlenmiştir.

Araştırmanın amacı

Araştırmanın amacı mevcut durumda kullanımda olan ancak enerji verimli olmayan ofis yapılarının enerji verimliliği sağlanması için yapı kabuğunda yapılabilecek iyileştirmelerin enerji simülasyon yazılımları üzerinde denenmesi, enerji performansının çözümlenmesi, enerji etkin iyileştirme şekillerinin önerilmesidir. Çalışmanın amacı aynı zamanda mevcut teknolojiye enerji simülasyon yazılımlarının yapılarda enerji kaybının azaltılarak gerek yapının doğal çevreye zararı dokunan tesirinin, gerekse kullanım maliyetlerinin düşürülmesinde ne kadar önemi olduğunu ortaya koymaktır.

Çalışma kapsamında enerji etkin yapı tasarımı kavramı, yapı kabuğu – enerji ilişkisi ve enerji performansı değerlendirme sistemleri incelenmiştir. Çalışma alanı olarak belirlenen Ankara ilinde bulunan mevcut bir yapı varsayımından yola çıkılmış ve bu yapı kabuğuna enerji verimli olduğu öngörülen eklenti varyasyonlar üretilmiştir.

Mevcutta yoğun enerji tüketimi olan çok katlı ofis binaları için yapı kabuğu iyileştirmede pratik oluşturulması hedefiyle, çok katlı, giydirmeye cam cepheden oluşan bir bina modeli yapılar, yapı kabuğuna eklenen yapı elemanı ve cephe iyileştirmeleriyle enerji simülasyonları elde edilmiştir. Bu çıkarımlar sonucu mevcut yapılarda yapılabilecek yapı kabuğu iyileştirmelerine referans olması amaçlanmıştır.

Enerji etkin yapı parametreleri göz önünde bulundurularak muhtemel enerji kayıplarının sebepleri araştırılarak modellenen örnek yapının enerji analizi için bina enerji modellemesi üstünden bu kayıpları en aza indirgeyecek iyileştirme modelleri önerilmiştir.

Araştırmanın önemi

Araştırmanın önemi, yaşadığımız dönemde var olan ve gelecekte artması öngörülen enerji ve çözüm arayışından yola çıkarak, bu sorunun en önemli kaynaklarından biri olan mevcut ofis binalarının, enerji tüketiminin azaltılmasında özellikle yapı kabuğunda yapılabilecek iyileştirmelere yoğunlaşmasıdır. Amaç mevcutta var olan enerji sorununa yapı ölçeğinde

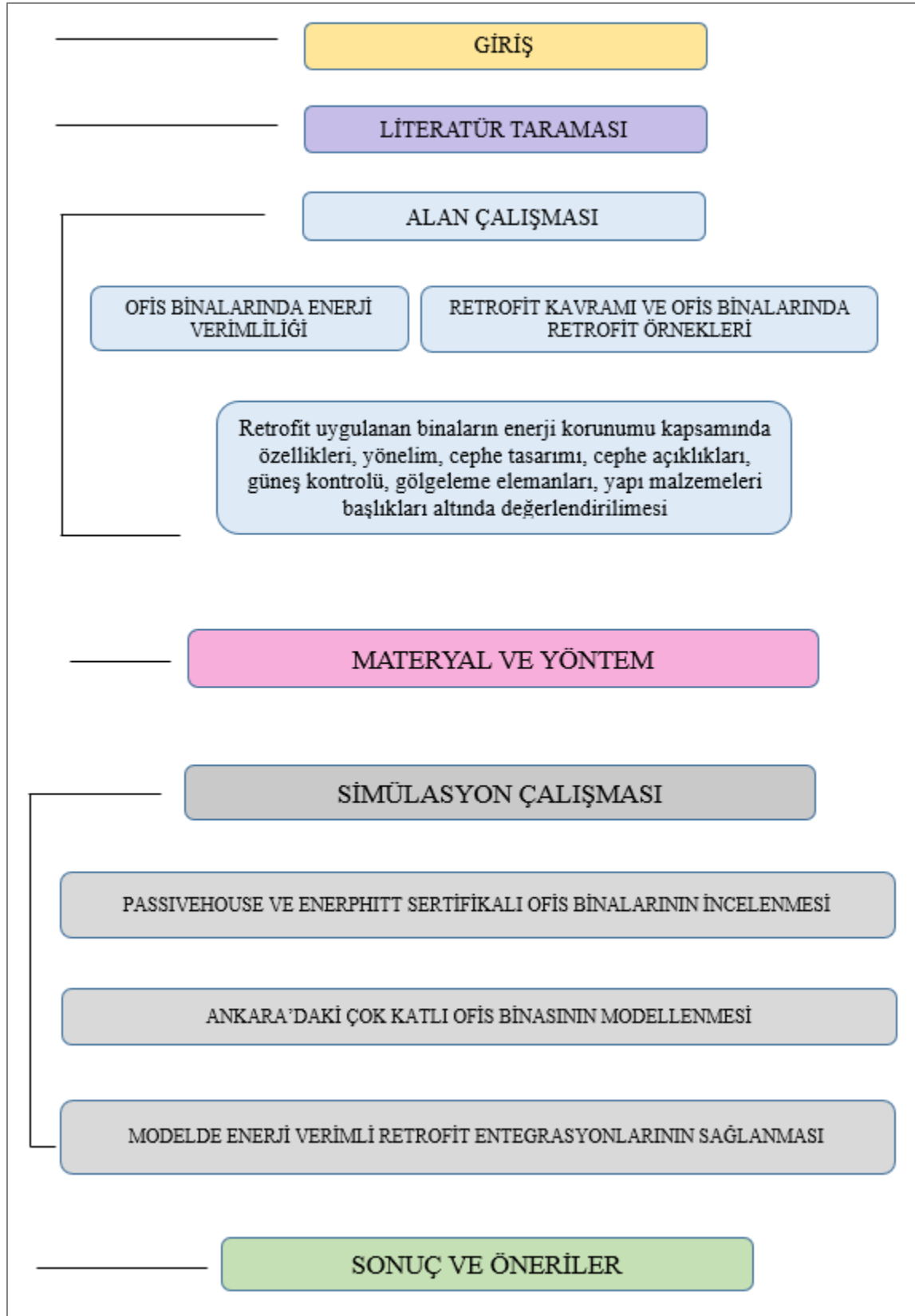
cevap arayışı ve bu cevabı bina modelleme programı ile deneyerek karşılaştırmalı bir yöntem ile sunulmasıdır. Bununla birlikte çalışmanın amacı günümüz enerji simülasyon programları ile enerji verimli sistemlerin pratikte kullanımına kaynak oluşturmaktır.

Tezin yöntemi

Yapılan çalışma üç temel aşamadan oluşmaktadır. Yapılan gözlemler ve araştırmalar sonucu problem belirlenmiş, problem doğrultusunda literatür araştırması yapılmıştır. İkinci aşama olan literatür taraması kısmında konu ile ilgili enerji verimliliği, retrofit kavramları ve binalarda enerji verimliliğinin sağlanmasında kullanılan yazılımlar hakkında bilgi verilmiştir. Enerji tüketim simülasyonu denemesi yapılacak bina modeli ve deneme yapılacak yöntem hakkında bilgi sahibi olunmuş ve tezin üçüncü kısmı için yöntem oluşturulmuştur. Üçüncü kısımda ise bina enerji etkin iyileştirme, retrofit kavramı üzerinden mevcut binalar ile örnekler üzerinden kavram pekiştirilmiş ve enerji simülasyonu yapılacak binada denenecek senaryolar için referans oluşturulmuştur. Tezin bir diğer bölümü dördüncü kısımda yapı kabuğu iyileştirme sonucu enerji simülasyonları dökümü karşılaştırılmalı olarak kıyaslanmıştır. Alınan veriler ışığında bina enerji performansı iyileştirmesi için yapılan denemelerin mevcut binalar için referans oluşturması hedeflenmiş, kullanılan yöntemler ve enerji verimi üzerinden tartışma sağlanmıştır (Şekil 1.1).

Sınırlılıklar / varsayımlar

Bu çalışma, Ankara ilinde bulunan mevcut ofis binalarının büyük kısmının enerji verimliliği açısından yetersiz olduğu gözlemi üzerine yürütülmüş ve çok katlı ofis binaları için yapı kabuğunun enerji verimliliği açısından etkilerinin önemine odaklanmıştır. Ankara ilinde herhangi bir bölgede mevcutta varlığı varsayılan ofis binalarını temsilen, çok katlı bir ofis binası modeli hazırlanmıştır. Model kavramsal ve nicel değerlendirmeler ile sınırlanmıştır. Ayrıca tez çalışmasında kullanılan Revit programı ve EnergyPlus 9.4 tabanlı DesignBuilder V7 simülasyon programından alınan verilerin doğru ve güvenilir olduğu varsamıyla çalışma sağlanmıştır.



Şekil 1.1. Araştırma akış şeması

2. LİTERATÜR TARAMASI VE KURAMSAL ÇERÇEVE

İnşaat sektörü, “akıllı, sürdürülebilir ve kapsayıcı” büyüme ve kaynak verimli düşük karbonlu ekonomi için küresel öncelikli alanlardan biridir. 2012 yılında tüketiminin %53’ü, doğrudan ve dolaylı tüketimin üçte biri CO₂ ve partikül madde emisyonları küresel olarak binalar nihai enerjinin %32’sini (118,6 EJ) oluşturmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa'daki binalarda toplam nihai enerji kullanımının %40'ından fazlasını oluşturur ve geleneksel biyokütleyle bağımlı olarak bu oran yüksek bölgelerde %80'e ulaşmaktadır (IEA, 2015a; IEA, 2013a; IEA, 2015b; IEA, 2015c). 2000 ile 2012 yılları arasında binaların nihai enerji tüketimi yılda %1,5 artmıştır (US DOE, 2014).

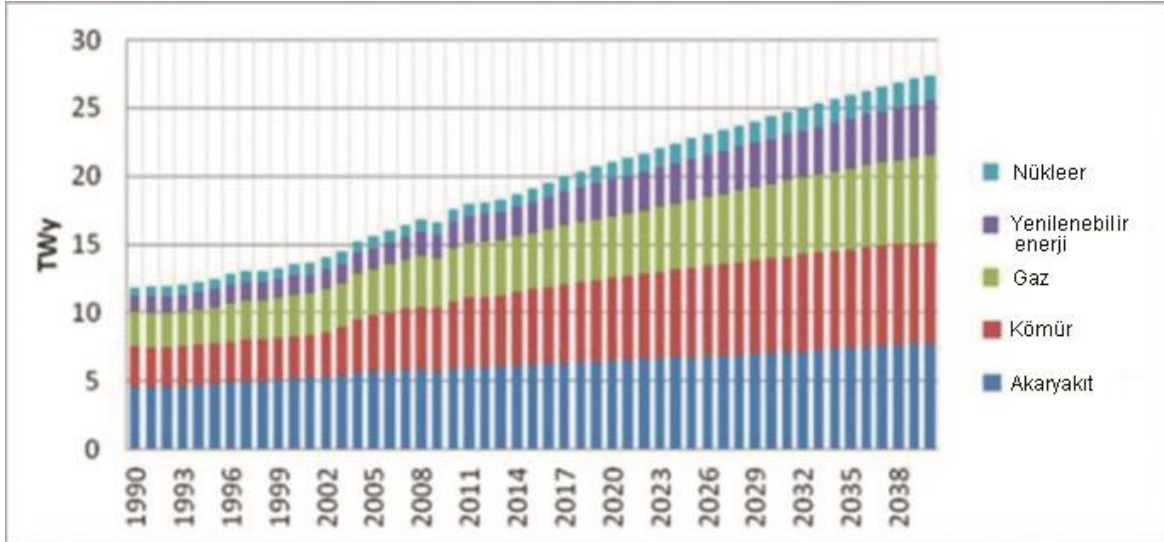
Dünya nüfusunun 2050 yılına kadar 2,5 milyar kişi artması beklendiğinden, ekonomik kalkınma ve yaşam standartları dünya çapında iyileşmekte, enerji kullanımı enerji verimliliğinde herhangi bir iyileşme olmamasına rağmen inşaat sektörünün hala büyük oranda artması beklenmektedir. İnşaat sektörünün enerji talebinin 2050 yılına kadar %50 artması tahmin edilmektedir (IEA, 2013a). Bununla birlikte, çok sayıda çalışma inşaat sektörünün potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda müdahalelerle, kullanılabilir enerji verimliliğinin iyileştirilmesi maliyet açısından etkilidir (IEA, 2015a). Enerji sektörünün ardından bina sektörü hem konut hem de konut dışı alanlar da dahil olmak üzere, ikinci en büyük henüz kullanılmamış ve uygun maliyetli enerji tasarrufu potansiyeline sahip alandır. Bina sera gaz emisyon azaltım potansiyeli önemlidir ve standart yeni binalar işletme maliyetlerinde bütünleşik tasarım yöntemleri aracılığıyla, genellikle binaya çok az ekstra maliyetle ömür boyu %80'e kadar tasarruf sağlayabilir (JRC, 2015). Ayrıca mevcut binalarda kullanılmayan yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu ile büyük bir enerji potansiyeli bulunmaktadır. Aslında toplam Avrupa Birliği'nin %40'ının tüm çatı ve cephelerin uygun olması durumunda (AB) 2020 yılındaki elektrik talebi karşılanacaktır. Avrupa'daki binalar fotovoltaik (PV) panellerle kaplanmıştır (EPIA, 2011). Mevcut iyi teknolojilerin ve verimlilik politikalarının geniş bir küresel dağıtımı binalarda nihai enerji kullanımında 53 EJ aralığında yıllık tasarruf sağlanabildiği gözlemlenmiştir. 2050, Çin, Fransa, Almanya, Rusya, Birleşik Krallık ve Amerika Birleşik Devletleri'nde 2012'de öngörülen bina enerji tüketiminde %29 azalma olacağı binaların yeşil enerji kullanımına geçmesiyle önemli bir değer katacaktır (IEA, 2015b; IEA, 2015c).

Binaların malzeme ve içme suyu tüketimi ile inşaat ve yıkım atıklarından kaynaklanan atıklar (inşaat sektörü atıkların üçte birinden fazlasından sorumludur) sebebiyle yüksek enerji tüketimi çevresel etkileri artırmaktadır. Dünya çapında kaynak tüketiminin yaklaşık 3 milyar tona denk gelmekte, yıllık olarak hammadde ve dünyadaki içme suyunun %12'sinden fazlasını tüketmektedir ki bu durum gelişmiş ülkelerdeki katı atık akışlarının yaklaşık %40'ını oluşturmaktadır (UNEP, 2012; ECORYS 2014). 2012'de Çimento sektörü tek başına toplam endüstriyel enerji kullanımının %8,5'ini ve %34'ünü oluşturmuştur. Doğrudan endüstriyel CO₂ emisyonlarının azaltılmasında en yaygın kullanılan malzeme betondur (yaklaşık 10 km³/yıl) (Pacheco-Torgal ve diğerleri, 2013). Bu nedenle, herhangi bir stratejinin Dünyada doğal kaynakların tüketimini, fosil yakıt ve karbon emisyonlarını azaltmak için enerji ve çevre verimliliğinin artırılması hem yeni hem de mevcut binaların küresel sınırlama hedefine ulaşmak için öncelikli hedef olmalıdır. Sıcaklığın 2°C'ye yükselmesiyle toplam CO₂ emisyonlarında tahmini %77'lik bir azalma olduğu bilinmektedir. Bina sektöründe 2050 yılına kadar bazı enerji tasarruf uygulamalarının zorunlu olması beklenmektedir.

2.1. Dünyada ve Türkiye’de Enerji Verimliliği

Günümüzde dünyada nüfus artışı ve ekonomik genişlemeye bağlı olarak küresel enerji talebi artmaya devam etmektedir (Dardouri ve diğerleri, 2023). 21. yüzyıl, iklim değişikliği, artan sera gazı emisyonları ve artan küresel enerji talebi gibi büyük zorluklarla karşı karşıyadır. Tahminler hem enerji tüketiminin hem de karbondioksit emisyonlarının 2050 yılına kadar yıllık %1,8 oranında artmasının beklendiğini göstermektedir (Holecheck ve diğerleri, 2022). Binaların küresel enerji tüketimi ve sera gazı emisyonlarından daha fazlasına katkıda bulunması özellikle endişe vericidir. Bu nedenle temel amaç küresel ölçekte enerji tüketimini azaltmak ve binaların enerji verimliliğini artırmaktır. Sonuç olarak, birincil hedefler enerji tüketimini azaltmak ve küresel ölçekte bina enerji verimliliğini artırmak etrafında dönmektedir. Ülkelerin ekonomik büyüme ve gelişme sürecinde çok önemli bir etkiye sahip olan enerji, ülkelerin uluslararası politikalarının belirlenmesinde de kritik bir faktördür (İsmiç, 2015). Dolayısıyla nüfus arttıkça enerji tüketimi de artmaktadır. Doğal kaynakların hızla tükenmesi, artan çevre kirliliği ve yüksek enerji maliyetleri gibi kısıtlamaları göz önünde bulundurulduğunda artık enerjiyi her alanda daha verimli ve etkin kullanmamız gerektiği sonucuna ulaşılmaktadır. Şekil 2.1’de grafikteki veriler baz alındığında, 2050 yılında dünya ekonomisinin bugüne göre yaklaşık 3 kat daha büyük olacağı, bugüne göre daha fazla enerji ve doğal kaynak gerektireceği (OECD, 2012) dikkate

alındığında, enerji verimliliği araştırmalarının gerekli olduğu açıktır. Şekil 2'deki grafik incelenirse, 1990 ve 2038 yılları arasında yaklaşık her yıl %3,5 artış olmuş olup yıllara göre kömür, yenilenebilir enerji ve nükleer kaynakların kullanımı artmıştır.



Şekil 2.1. Dünyada enerji tüketimi grafiği (Putinceva ve diğerleri, 2020)

2 Mayıs 2007 tarihli Resmi Gazete'de yayınlanan 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu (EVK) (AAA, *Resmî Gazete Tarihi: 02.05.2007 Resmî Gazete Sayısı: 26510*), enerji verimliliği ile ilgili politika ve önlemlerin temelini oluşturmaktadır. Kanunda yer alan çok sayıda konunun ayrıntıları ikincil mevzuata bırakılmıştır. Kanun yürürlüğe girdikten sonra, çeşitli yönetmelik, tebliğ ve genelgeler, uygulamayı düzenlemek ve ilgili konulara açıklık getirmek için yayınlanmıştır.

Kanun, “Enerji kaynaklarının ve enerji kullanımında verimliliğin artırılması, israfın önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerji kullanımında verimliliğin artırılması” olarak tanımlanmıştır. Elektrik enerjisi üretim tesisleri, iletim ve dağıtım şebekeleri, binalar ve endüstriyel işletmeler bu yasa kapsamındadır.

Enerji verimliliğini artırmak için kanun üç ana konuda düzenleme içerir. Kanunun 4'üncü maddesine uygun olarak bir Enerji Verimliliği Koordinasyon Kurulu (EVKK) kurulacaktır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) ile diğer ilgili kurum ve kuruluş temsilcilerinden oluşan Enerji Verimliliği EVKK, ülke çapında enerji verimliliği politikalarının oluşturulması ve uygulanmasını sağlayacaktır. Kanunun 5'inci maddesi

uyarınca, Kurul ve Yenilenebilir Enerji Genel Kurulu (YEGM) tarafından yetki verilmesi halinde, üniversiteler ve meslek odaları da uygulamalı eğitim verebilecek ve bu konularda şirketleri yetkilendirebileceklerdir.

Kanunun 7'nci maddesi, endüstriyel işletmeler, binalar ve organize sanayi bölgeleri için enerji yöneticileri ve enerji yönetim birimlerini atamayı veya kurmayı zorunlu kılmaktadır. Yerel Eylem Gruplarına izleme, analiz ve projeksiyon görevleri verilmiştir. Enerji verimliliği projeleri, kanunun 8 ve 9'uncu maddelerinde teşvik edilse de konutlar ve kamu binaları bu teşviklerin kapsamına dahil edilmemiştir. Kanun 10'uncu maddesi, idari yaptırım uygulanması gereken durumları listeliyor ve maddelerine aykırı hareket edenler, Kanun kapsamında idari para cezası vermeye yetkili olanlar tarafından uygulanacaktır.

2008 yılı, 2008/2 sayılı Başbakanlık Genelgesi'nin amacına uygun olarak “toplumun enerji kültürünü ve verimlilik bilincini geliştirerek enerji arz güvenliğinin en üst düzeyde sağlanmasına katkıda bulunmak” için "Enerji Verimliliği Yılı" olarak ilan edilmiştir. Bu yıl, kamu, özel ve sivil toplum kuruluşlarının iş birliği ile ülke çapında enerji verimliliği konusunda farkındalığı artırmak için çeşitli faaliyetlerde bulunulmuştur.

Binalar ısıtma, soğutma, iç havalandırma, ısı kullanımı, su üretimi, aydınlatma cihazları, elektrikli ekipmanlar, asansörler, yemek pişirme, ana enerji olarak gaz (%21), elektrik (%30) ve biyokütle (%29) kullanımı için enerji tüketmektedir (IEA, 2015c). Yukarıdaki öğelerin her birinin toplam tüketimi binanın tipine, yapım yılına ve iklim bölgesine ve bulunduğu yere bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

2012 yılında, ısıtma ve soğutma ile sıcak su üretiminin yaklaşık %60'ı binalarda küresel enerji tüketimi oluşturmuştur. Bina enerji tüketimini azaltmak, enerji güvenliğini artırmak ve CO₂ emisyonlarını azaltmak, özellikle bazı ülkelerde alan ve su ısıtmanın sağlanması hâlâ fosil yakıtların hakimiyetindedir (IEA, 2013a). AB'de bina ısıtma en büyük nihai kullanımdır. Konut enerji kullanımının üçte ikisini oluşturan nihai enerji tüketimi açısından ve hizmetlerin enerji tüketiminin yaklaşık %40'ını oluştururken, Amerika Birleşik Devletleri'nde bu değerler sırasıyla %37 ve %27 şeklindedir. Mekan soğutma hala nihai enerji talebinin %5'inden azını oluşturmakta ancak bu değer ile karşılaştırıldığında son 10 yılda %43 oranında artış göstererek dünya çapında dramatik bir şekilde artmaktadır. Bina taban alanında %34'lük bir artışa ve dünya nüfusunda %13'lük bir artışa yol açacaktır (IEA,

2015d). Enerji açısından soğutma amaçlı tüketimin 2050 yılına kadar, küresel olarak neredeyse %150 oranında artması beklenmektedir.

Avrupa Komisyonu gelişmekte olan ülkelerde 2050'ye kadar enerji tüketiminin %300-600 artması öngörmektedir (IEA, 2013b). AB'deki binalarda soğutma talebinin 2030 yılına kadar %72 artacağı tahmin edilmektedir (European Commission, 2015). Ev aletleri ve diğer elektrikli ekipmanların enerji tüketimi de artmakta, evlerde ve ofislerde artan cihaz sayısının da artması nedeniyle günlük yaşamda kullanım alanı bulmaktadır ve binalarda en hızlı büyüyen nihai enerji kullanımını temsil etmektedir (IEA, 2015a). Binalardaki bu kadar yüksek enerji tüketimi, optimal olmayan seçenekler (şekil, yön, pencere-duvar oranı vb.) ve düşük termohigrometrik mimariye atfedilebilmektedir. Bina kabuğunun performansı (zayıf ısı yalıtımı, düşük ısıl atalet, termal köprülerin varlığı, etkisiz perdeleme sistemleri vb.) ve düşük verimlilik HVAC (ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme) ve aydınlatma sistemlerinin yanı sıra yeşil enerji kaynaklarının kullanımı hala düşük kalmaktadır.

Binalara yönelik ilk ve çok katı olmayan enerji mevzuatı aslında petrol krizine yanıt olarak 1970'lerde uygulamaya konulmuştur (IEA, 2013c). Tarih boyunca, nihai enerjinin temel itici güçlerini binalarda kullanımı; nüfus büyüklüğü, bina sektörünün büyüklüğü (örneğin taban alanı veya konut alt sektöründeki hane sayısı), ekonomik faaliyet (örneğin, ölçüldüğü gibi gayri safi yurtiçi hasılaya göre) ve bina enerji politikalarının yanı sıra çeşitli faktörler oluşturmuştur (Altınsoy, 2024).

Enerji fiyatları ve iklim gibi faktörler binaların enerjiye sağladığı katkı miktarı, kullanımı ülkeden ülkeye, ülkelerin kendi içinde ve zaman içinde sosyal, ekonomik, coğrafi ve demografik bağlamlardaki değişikliklere göre farklılık göstermektedir (IEA, 2013c).

Binaların enerji performansının iyileştirilmesi ve sera gazı emisyonu salınımının azaltılması aynı zamanda bina sahipleri ve sakinlerine de geliştirilmiş dayanıklılık, daha az bakım, daha fazla konfor, daha düşük maliyetler, daha yüksek mülkiyet değerleri, artan yaşanabilir alan, artan üretkenlik ve gelişmiş sağlık ve güvenlik gibi önemli faydalar sağlayacaktır. Enerji verimliliğinin hükümetlere sağladığı çok sayıda fayda genellikle şunları içerir: toplumsal sağlık maliyetlerinin azalması, hava kalitesinin iyileştirilmesi, vergi tabanının iyileştirilmesi ve daha düşük bütçe değişimi, daha yüksek gayri safi milli hasıla (GSMH) ve gelişmiş enerji güvenliği (IEA, 2014) olarak sıralanabilmektedir.

Enerji verimliliği arayışı aynı zamanda performansına önem verilen inşaat sektörüne büyük faydalar sağlamaktadır. Sektörün GSMH, çalışan sayısı, işletme ve şirket büyüklüğü açısından dağılımı, gibi tüm ekonominin büyümesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilmektedir (binalar, sanayi sektörü, finansal olmayan işletme ekonomisinin yaklaşık %7'sini oluşturmaktadır). Bu nedenle, üçlü hedef doğrultusunda ofis binaları son on yılda büyük ölçüde artmıştır.

Mevcut binaların enerji tüketimini önemli ölçüde azaltmak ve tüm yeni binaların yüksek enerji verimliliğiyle karakterize edilmesi (çok düşük enerjili binalar), fosil yakıtlar yerine mümkün olduğu kadar yenilenebilir enerji kullanılması hem yeni hem de mevcut binaların enerji ihtiyacını karşılamaktadır. Toplam bina enerji kullanımını tarihsel etkenlerinden ayırmak için çeşitli enerji politikalarla birlikte hareket etmelidir. Bunlar arasında hem yeni inşaatlar hem de güçlendirme ve iyileştirilmiş standartlardan geçen mevcut binalar için etiketler, tüm bina derecelendirmesi, etiketleme ve açıklama programları, eğitim programları ve kapasite geliştirmenin yanı sıra gelişmiş veri kullanılabilirliği gibi iyileştirilmiş bina enerji mevzuatı da yer almaktadır (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2024).

Enerji kaynaklarından bahsedildiğinde akla ilk gelenler kömür, petrol, doğal gaz, nükleer santrallere güç sağlayan uranyum madenleri, güneş, rüzgar, jeotermal, biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Ancak rahatlıkla kullanabileceğimiz en büyük enerji kaynağı, 1973 yılında petrol ambargosunun ardından keşfedilen sanal enerji kaynağıdır. Bu kaynak evler dahil her yerde ve ABD gibi birçok ekonomi devinin önemseydiği, ekonomik büyümeyi desteklemek için yeni enerji ihtiyacının yarısını bu kaynaktan karşılamaktadır. Bu kaynaktan elde edilen enerji miktarı kömür, petrol, doğalgaz, nükleer ve yenilenebilir enerjiden elde edilen enerjiyle kıyaslanabilir düzeydedir. Üstelik bu kaynak yer kaplamaz, tükenmez ve çevreye zarar vermek yerine fayda sağlar. Bu kaynak enerji verimliliği olarak tanımlanmaktadır.

Gelişmekte olan ülkelerin, birincil öncelikleri olarak enerji verimliliğine yatırım yapmak yerine, sınırlı mali kaynaklarını yeni enerji santralleri inşa etmeye ve artan enerji taleplerini karşılamak için daha fazla petrol ve doğal gaz çıkarmaya veya ithal etmeye yatırımları verimsiz bir durumdur. Enerji verimliliğine yatırım yapmanın önemi, yatırımın karşılığını en yüksek ve en hızlı şekilde aldığı ve enerji verimliliğinin sadece finansman sağlanarak yapılabilecek bir şey olmadığı konusunda farkındalık yaratmaktır. Modern dünyadaki

deneyimlerin gösterdiği gibi, kamu bilincinin artırılması ve enerji açısından verimli teknolojiler ve uygulamalara yönelik değişimin başlatılması için hükümetlerin güçlü kararlılığı ve liderlik sağlanması esastır.

1973 petrol ambargosu batı dünyasında enerjinin başka kaynaklarla sağlanması konusunda uyandırma çağrısı, enerjinin algılanışında bir dönüm noktası olmuş ve ciddi, topyekün enerji tasarrufu çabalarının başlangıcı sayılmaktadır. Sonuçta batı dünyası, en düşük enerji harcamasıyla en yüksek ısı konforu elde etmek için gerekli mekanizmaları geliştirmiştir. Bu, enerji verimliliği önlemlerinin yaşamın her alanına dahil edilmesiyle gerçekleştirilmiştir.

Gelişmekte olan Türkiye, bol miktarda enerji kaynağına sahip olmasına rağmen tükettiği enerjinin %70'inden fazlasını ithal etmektedir. İthal enerjiye büyük ölçüde bağımlıdır ve hızlı ekonomik büyümesi ve enerji talebindeki orantılı büyüme nedeniyle bu bağımlılık derinleşmektedir. Geniş yenilenebilir enerji kaynaklarına rağmen 2007 yılında tükettiği enerjinin yalnızca %9'u hidroelektrik de dahil olmak üzere yenilenebilir kaynaklardan gelmiştir. 2007 yılında tükettiği doğalgazın yüzde 97'sini, petrolün yüzde 93'ünü, kömürün ise yüzde 20'sini ithal etmiştir. 2008 yılında Türkiye'nin 198 milyar kWh'lik toplam elektrik üretiminin %48'i doğalgaz santrallerinden sağlanmıştır. Hidroelektrik enerji üretiminin payı 1990'da %40'tan 2008'de %17'ye düşerken, rüzgar enerjisinin payı 2008'de yalnızca %0,4'tür. Türkiye'nin elektrik talebinin önümüzdeki on yılda yıllık ortalama %6 oranında artacağı tahmin edilmektedir. 2020 yılında 460 milyar kWh'a ulaşmıştır. Kurulu güç kapasitesinin de 2008 yılındaki 41 700 MW değerinden 2024 yılında yaklaşık 88 000 MW'a çıkması öngörülmüştür (Pamir, 2024). İthal enerjiye olan yüksek düzeyde bağımlılık, enerji güvenliği açısından bir risk faktörü olup, enerji güvenliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Türkiye son yıllarda dikkatini yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği konularına yöneltmiştir.

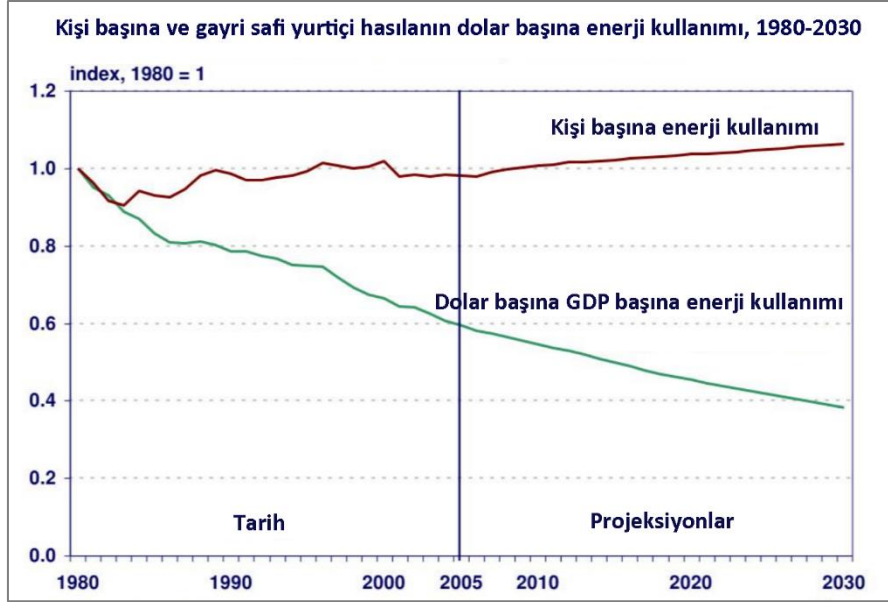
Enerji verimliliği, enerji kullanımını minimum seviyeye indirmek, ancak bunu yaşam standardını, üretim kalitesini ve karlılığı düşürmeden yapmaktır. Enerji verimliliği, enerji kaynaklarının en verimli şekilde kullanılmasının bir ifadesidir ve enerji tasarrufu ile sonuçlanır. Verimlilik ve tasarruf arasında yakın bir bağlantı vardır ve bu iki terim sıklıkla birbirinin yerine kullanılmaktadır. Enerji tasarrufu genellikle elektriğin bir evde aydınlatma amacıyla kullanılması gibi, tüketimin son noktasında enerji kullanımını azaltmak için alınan

önlemlerle ilişkilendirilir. Enerji verimliliği ise üretimden son kullanıma kadar tüm aşamalarda enerjinin en verimli ve dolayısıyla en az israfla kullanılmasıyla ilişkilidir. Bu nedenle enerji verimliliği, enerji tasarrufunu da kapsayan daha geniş bir terimdir. Termodinamiğin ikinci yasası enerji verimliliğiyle yakından ilişkilidir: %100'lük ikinci yasa verimliliği sıfır atık anlamına gelir ve dolayısıyla enerji verimliliği için üst sınıra karşılık gelmektedir.

Enerji tasarrufu ve yenilenebilir enerji kavramları birbirinden bağımsız gibi görünse de birbiriyle yakından ilişkilidir. Rüzgâr enerjisi bir rüzgâr türbini tarafından yakalandığında veya bir yere gelen güneş enerjisi, güneş kolektörleri veya PV hücreleri tarafından toplanıp hemen kullanılabilir hale getirilmezse boşa gidecek ve küresel ekonomiye katkıda bulunmayacaktır. Rüzgardan ya da güneşten elde edilebilecek enerji için doğal gazın yakılması, doğal gazın gereksiz kullanımı ya da israfından başka bir şey değildir. Bu nedenle yenilenebilir enerji kullanımının artırılması, enerji tasarrufunun en etkili önlemlerinden biridir.

Bir ekonomi için enerji verimliliğinin ortak bir ölçüsü, bir dolar değerinde gayri safi yurtiçi hasıla (GSYİH) üretmek için kullanılan enerji miktarı olan enerji yoğunluğudur. Örneğin Türkiye'nin enerji yoğunluğu OECD ortalamasının iki katıdır. Yani Türkiye, bir dolar değerinde mal ve hizmet üretmek için OECD ülkelerinin iki katı kadar enerji kullanılmaktadır. Ayrıca Türkiye, benzer iklim koşullarında birim taban alanı başına Avrupa Birliği ülkelerinin mekan ısıtması için kullandıkları enerjinin iki katından fazlasını tüketmektedir. Bu yüksek seviyedeki enerji israfı endişelere yol açmakta ama aynı zamanda enerji verimliliğinde var olan önemli fırsatlara da işaret etmektedir: Türkiye, enerji verimliliği tedbirlerini hayatın her alanına dahil ederek, yaşam standardını düşürmeden enerji tüketimini yarı yarıya azaltabilmektedir. Başka bir deyişle, Türkiye, büyüyen ekonomisinin talep ettiği artan enerji ihtiyacını, GSYİH'si iki katına çıkana kadar, herhangi bir ek enerji kaynağına başvurmada, tek başına enerji verimliliği tedbirlerini uygulayarak karşılayabilmektedir. Yani Türkiye'nin (ve benzer durumdaki ülkelerin) ekonomik büyümesine güç sağlamak için ihtiyaç duyduğu tek enerji santrali, alışlagelmiş kömür, petrol veya doğalgaz santralleri yerine, bacası olmayan ve kirletici madde yaymayan 'koruma tesisi'dir. Artan enerji maliyetleri, sera gazı emisyonları ve enerjide dışa bağımlılıkla mücadele etmenin en etkili yolu enerji verimliliğini artırmak ve dolayısıyla enerji yoğunluğunu azaltmaktır. ABD gibi enerji bilincinin yüksek olduğu ülkelerde enerji

yoğunluğu düşmeye ve dolayısıyla enerji verimliliği artmaya devam etmektedir. Enerji verimliliğindeki bu artışta, 1970'li yılların başından itibaren geliştirilen enerji verimli teknolojiler ve uygulamaya konulan tasarruf tedbirleri büyük rol oynamıştır. ABD'de GSYİH'nın dolar başına enerji kullanımı, Şekil 2.2'de gösterildiği gibi 1980'den 2005'e kadar %40 düşmüş ve bu düşüşün 2030'da %60'a ulaşması beklenmektedir.



Şekil 2.2. ABD ekonomisinin enerji yoğunluğundaki düşüş (Çengel, 2011)

Enerji verimliliği, izolasyondan enerji tasarruflu aydınlatmaya, enerji tasarruflu cihazlardan yüksek verimli elektrik motorlarına kadar geniş bir alanı kapsamaktadır. Örneğin enerji tasarruflu kompakt floresan lambalar (CFL), aynı ışık çıkışı için akkor lambaların tükettiği elektriğin üçte biri ile beşte birini tüketmektedir. Dolayısıyla Avustralya, Avrupa Birliği ve ABD'de akkor lambaların kullanımının yasaklanması veya kısıtlanması ve enerji tasarruflu lambalara uygulanan tarifelerin kaldırılması öne sürülmüştür. Ayrıca, kamuya ait, ticari ve endüstriyel binalarda yaygın olarak kullanılan floresan tüplü armatürlerin enerji tüketimi, manyetik balastların elektronik muadilleriyle değiştirilmesiyle %30'a kadar azaltılabilmektedir. Bu değiştirme, güç faktörünü 0,60'tan 0,99'a yükselterek rahatsız edici gürültü sesini, ışık titremesini ve reaktif güç kaybını ortadan kaldırma gibi ek bir fayda sağlamaktadır. Elektronik balastlar, daha yüksek verimlilikleri ve dolayısıyla daha düşük ısı üretim hızları nedeniyle daha düşük ve dolayısıyla daha güvenli sıcaklıklarda daha uzun ömürlü çalışmaktadır. Mevcut armatürlere uygun, ekonomiktirler ve kurulumu kolaydır. Eski tip floresan tüplerin aynı miktarda aydınlatma sağlayan daha enerji verimli yeni tüplerle

değiştirilmesiyle ek tasarruf sağlanabilmektedir. (Örneğin 40 W yerine 34 W) (Çengel, (2011)).

Enerji verimliliği kaygısı her zaman bir biçimde var olmuştur ancak bu konuya dair farkındalık, temel bilimlerin hassas bir farklılaşmaya uğrayarak bugünkü şeklini almasıyla 19. yüzyılda ortaya çıkmıştır. 20. yüzyıl, medya, standardizasyon ve düzenleme yoluyla enerji verimliliğinin öneminin kolektif zihniyete yerleştirilmesine yardımcı olmuştur. 21. yüzyıl, bilim ve teknolojinin çoğu alanında yaygın enerji kaygılarının yaşandığı bir konjonktürde bulunmaktadır.

Binaların enerji verimliliğine yönelik ilginin zaman içindeki evriminin birçok boyutu ve sonuçları vardır, ancak bu çalışmanın amacı mevcut binaların enerji verimliliği üzerine araştırmalar yapmaktır. Önemli bir etkiye sahip olan konuları, kullanım dayanıklılığını ve kitlesel benimsenmeyi kapsamaktadır. Bu çalışma, enerji tüketiminin azaltılmasıyla ilgili olarak o dönemdeki etki ve inovasyonun derecesini belirlemeye çalışmaktadır. Ayrıca, yeni bir tasarımın bazı değişmezlerini bulmayı amaçlayan, koruma ve klasikleştirme derecelerini ve günümüzün gerekliliklerinde ne kadar bulunduğunu da sunmaktadır.

2.1.1. Türkiye’de bina enerji verimliliği mevzuat ve sertifika sistemleri

Türkiye’de bina enerji verimliliği, sürdürülebilir kalkınmayı teşvik etmeyi ve çevresel etkileri azaltmayı amaçlayan çeşitli yasal düzenlemeler ve sertifikasyon sistemleri ile desteklenmektedir. Bu alandaki başlıca mevzuat ve sertifikalar aşağıda özetlenmiştir. Enerji kaynaklarının verimli kullanılmasını sağlamak, israfı önlemek ve enerji maliyetlerini düşürmek amacıyla 2007 yılında Enerji Verimliliği Kanunu çıkarılmıştır. Bu kanun, sanayi, ulaşım ve binalar da dahil olmak üzere tüm sektörlerde enerji verimliliğini artırmayı amaçlamaktadır (T.C. Resmi Gazete, 2007).

Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, binaların enerji gereksinimlerini ve sınıflandırmasını tanımlamaktadır. Avrupa Birliği’nde binalara yönelik enerji verimliliği mevzuatının temelini 2002/91/EC sayılı “Energy Performance of Buildings Directive” (EPBD) oluşturmaktadır. Bu direktif, üye ülkelerdeki binaların enerji performansının iyileştirilmesini, sera gazı emisyonlarının azaltılmasını ve enerji israfının önlenmesini amaçlamaktadır (Avrupa Parlamentosu ve Konseyi, 2003).

EPBD, aşağıdaki dört ana başlıkta düzenlemeler getirmiştir:

- Minimum enerji performansı gereklilikleri
- Yeni ve mevcut binalar için enerji sertifikası zorunluluğu (Energy Performance Certificate – EPC)
- Isıtma ve soğutma sistemlerinin düzenli denetimi
- Binaların toplam enerji tüketimini ve CO₂ emisyonlarını gösteren şeffaf bir yapı sınıflandırması

EPBD'nin uygulanabilirliğini sağlamak amacıyla, Avrupa Standartlar Komitesi (CEN) ve ISO tarafından bir dizi standart geliştirilmiştir. Bu standartlar, enerji performansının hesaplanmasında ve belgelendirilmesinde ortak bir teknik zemin sağlar (CEN, 2017):

- EN 15217: Bina enerji performans sınıflandırması ve gösterimi
- EN ISO 52000-1: Enerji performansı hesaplamalarında genel çerçeve
- EN 15603 / EN ISO 52003: Enerji kullanımı ve emisyon göstergelerinin raporlanması
- EN 15193: Bina içi aydınlatma sistemleri için enerji kullanımı
- EN 15316 serisi: Isıtma sistemlerinin enerji performans değerlendirme

Bu standartlar, EPBD'ye uyumlu olarak geliştirilen ulusal bina enerji yönetmeliklerinin de temelini oluşturur.

Türkiye, AB müktesebatına uyum çerçevesinde 2008 yılında “Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği”ni (BEPY) yürürlüğe almıştır. Bu yönetmelik, EPBD direktifi doğrultusunda hazırlanmış ve zaman içinde EPBD'nin 2010/31/EU ve 2018/844/EU ile güncellenmiş versiyonları dikkate alınarak yenilenmiştir (Yılmaz ve Dündar, 2011). BEPY kapsamında:

- Yeni binalar için enerji kimlik belgesi zorunluluğu getirilmiştir,
- Mevcut binalarda güçlendirme ve iyileştirme teşvik edilmiştir,
- EPC derecelendirmesi (A-G) uygulanmaya başlanmıştır.

Enerji israfını önlemek ve çevreyi korumak için bina tasarımlarına rehberlik etmektedir. Bu yönetmelik, yeni ve mevcut binalar için Enerji Kimlik Belgesi (EKB) düzenlenmesini zorunlu kılmaktadır (Resmi Gazete, 2008). 2022 yılında uygulamaya konulan bu

yönetmelik, sürdürülebilir, çevre dostu ve enerji verimli binaların sertifikalandırılmasını sağlamaktadır. Türkiye için özel olarak geliştirilen Yeşil Sertifika (YeS-TR) sistemi, binaların ekolojik etkilerini değerlendirmektedir (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2022).

Enerji Kimlik Belgesi (EKB) binaların enerji performansını sınıflandırmaktadır. Binanın enerji ihtiyacı, ısıtma ve soğutma sistemleri ve yalıtım özelliklerine ilişkin verileri içermektedir. 2011 yılından bu yana, EKB'ler yeni binalar için zorunlu hale getirilmiştir (Resmi Gazete, 2008).

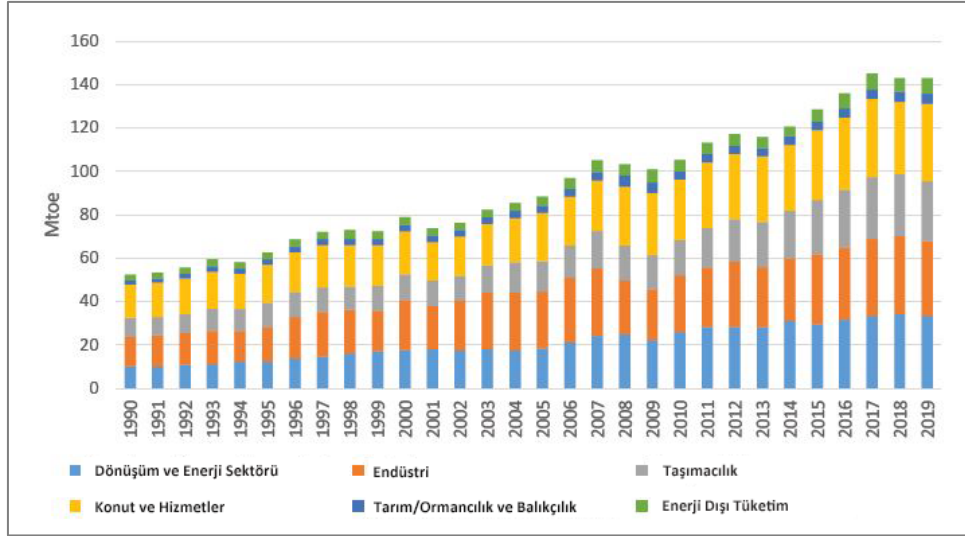
YeS-TR (Yeşil Sertifika Türkiye): Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından uygulanan Türkiye'nin ulusal yeşil bina sertifika sistemi (ÇŞB, 2022).

LEED (Enerji ve Çevre Tasarımında Liderlik): LEED, Türkiye'deki birçok projede yaygın olarak uygulanan ABD merkezli bir yeşil bina sertifikasıdır (USGBC, 2023).

BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method): İngiltere kökenli olan BREEAM, binaların sürdürülebilirliğini değerlendirmekte ve Türkiye'de çeşitli projelerde kullanılmaktadır (BRE, 2023).

Bu yönetmelikler ve sertifika sistemleri, Türkiye'de enerji verimli, çevre dostu ve sürdürülebilir binaların yaygın olarak benimsenmesini teşvik etmektedir.

Bu grafik, 1990'dan 2019'a kadar çeşitli sektörlerdeki enerji tüketimini milyon ton eşdeğer petrol cinsinden göstermektedir (Şekil 2.3). Grafik, enerji tüketimini aşağıdakiler de dahil olmak üzere çeşitli sektörlerle ayırmaktadır; dönüşüm ve enerji sektörü (mavi), endüstri (turuncu), ulaşım (gri), konut ve hizmetler (sarı), tarım / ormancılık ve balıkçılık (koyu mavi) ve enerji dışı tüketim (yeşil) ile sembolize edilmektedir.



Şekil 2.3. Türkiye sektörler göre toplam enerji tüketimi (URL1)

Toplam enerji tüketiminde yıllar içinde istikrarlı bir artış görülmektedir ve 2000 yılından sonra önemli bir büyüme kaydedilmiştir. 2019 yılına gelindiğinde, enerji tüketimi 1990 yılının iki katından fazladır. Sanayi ve Konut/Hizmetler, üretim ve kentsel yaşamın enerji taleplerini yansıtarak enerji tüketiminde sürekli olarak en büyük payı oluşturmaktadır. Ulaşım da büyüme göstererek hareketliliğin ve ekonomik faaliyetlerin arttığına işaret etmektedir. Tarım, ormancılık ve balıkçılığın yanı sıra enerji dışı tüketimin katkıları nispeten küçük olmakla birlikte, yıllar içinde kademeli bir büyüme göstermiştir. Bu sektör, muhtemelen genişleyen enerji üretimi ve rafine etme süreçleri nedeniyle payını istikrarlı bir şekilde artırmıştır. 2005'ten sonra enerji tüketiminde ekonomik büyüme veya endüstriyel genişlemeye işaret eden gözle görülür bir hızlanma vardır. Dalgalanmalar asgari düzeydedir, bu da büyük kesintiler olmaksızın yıldan yıla istikrarlı bir büyümeye işaret etmektedir. Bu grafik; nüfus artışı, sanayileşme ve artan ulaşım ihtiyaçlarını yansıtabilecek olan tüm sektörlerdeki artan enerji taleplerini vurgulamaktadır.

2.1.2. Binalarda enerji performansı yönetmeliği (BEP-TR)

Binalarda Enerji Performansı (BEP) Yönetmeliği, AB'nin 2002/91/EC sayılı "Binaların Enerji Performansı Direktifi"ne uygun olarak, 2009 yılında yürürlüğe girmiştir. Binalarda enerji kaynaklarının ve enerjinin verimli bir şekilde kullanılması, enerji israfını önlemek ve çevreyi korumak amacıyla, 05.12.2008 tarihli ve 27075 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanmıştır. 2010 ve 2011 yıllarında, 09.10.2008 tarihli ve 27019 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği büyük ölçüde değiştirilmiştir. Yönetmelik,

yürürlüğe giriş tarihi itibarıyla hem yeni yapılacak hem de mevcut binaları kapsamaktadır. BEP Yönetmeliği, binalarda ısıtmanın yanı sıra havalandırma, aydınlatma, soğutma ve sıcak su temini gibi enerji kullanım alanları ve sistemlerinin verimliliğini de ele almaktadır. Yönetmeliğe göre, binaların enerji tüketimi ve sera gazı emisyonları açısından belgelendirilmesi için "A" ile "G" sınıfları arasında etiketlenmesi gerekmektedir. Ek olarak, 2017 yılı sonuna kadar tüm binaların sera gazı emisyonları açısından etiketlenmesi ve mevcut binaların enerji performanslarını artırmak için enerji kimlik belgeleri oluşturulması planlanmaktadır. Şekil 5'te, Türkiye'de binaların enerji verimliliğini değerlendirmek ve sınıflandırmak için kullanılan bir "Enerji Kimlik Belgesi (EKB)" veya "Enerji Kimlik Belgesi" görülmektedir.

Bu bölümde binanın yapım yılı, toplam kullanım alanı, adresi, bina sahibinin ve ilgili yetkililerin isimleri gibi detaylar listelenmektedir. Sertifika ile ilişkili mülkü görsel olarak tanımlamak amacıyla binanın bir görüntüsü için bir alan sağlanmıştır. Enerji performansı, cihazlar için kullanılan enerji etiketlerine benzer şekilde "A (en yüksek verimlilik)" ile "G (en düşük verimlilik)" arasında bir ölçekte derecelendirilmektedir. Bu grafik, binanın bu ölçekte nereye düştüğünü göstermektedir. Bu bölüm, binanın "A (düşük emisyon)" ile "G (yüksek emisyon)" arasında kategorize edilen CO₂ emisyonlarını göstermektedir. Grafik, binanın emisyonlar açısından ne kadar çevre dostu olduğunu görsel olarak göstermektedir. Yenilenebilir kaynaklardan elde edilen enerji yüzdesini görüntülemek için bir kadran eklenmiştir. (A sınıfı bina enerji aralığı: 0-39 kWh/m², B sınıfı bina enerji aralığı: 40-79 kWh/m², C sınıfı bina enerji aralığı: 80-99 kWh/m², D sınıfı bina enerji aralığı: 100-119 kWh/m², E sınıfı bina enerji aralığı: 120-139 kWh/m², F sınıfı bina enerji aralığı: 140-174 kWh/m² ve G sınıfı bina enerji aralığı: 175 kWh/m²'in üzerindedir. A sınıfı sera gazı emisyonu: 0-39 CO₂/m².yıl, B sınıfı sera gazı emisyonu: 40-79 CO₂/m².yıl, C sınıfı sera gazı emisyonu: 80-99 CO₂/m².yıl, D sınıfı sera gazı emisyonu: 100-119 kWh/m CO₂/m².yıl, E sınıfı sera gazı emisyonu: 120-139 CO₂/m².yıl, F sınıfı sera gazı emisyonu: 140-174 CO₂/m².yıl ve G sınıfı sera gazı emisyonu: 175 CO₂/m².yıl'ın üzerindedir.)

Tablo, enerji tüketimini ısıtma, sıcak su, soğutma, havalandırma ve aydınlatma gibi kategorilere ayırmaktadır (Şekil 2.4). Yıllık enerji tüketimi kWh/m² cinsinden ölçülür ve enerji verimliliğine göre sınıflandırılmaktadır (A'dan G'ye). Belge yetkili bir kişi tarafından isim, unvan ve oda sicil numarası belirtilerek imzalanmaktadır. Enerji Kimlik Belgelerinin tipik olarak bir son kullanma tarihi olduğundan, belgenin geçerlilik süresi de

kaydedilmektedir. Bu sertifika Türkiye'deki hem yeni hem de mevcut binalar için gereklidir. Yeni binalar için genellikle minimum C sınıfına sahip olması gereklidir. Sertifika alınması farkındalığı artırmakla birlikte, enerji verimli bina tasarımını teşvik ederek sürdürülebilirlik hedefleri desteklemektedir.

ENERJİ KİMLİK BELGESİ

Binanın Bilgileri:
 Tipi: _____
 İnşaat Yılı: _____
 Kapalı Kullanım Alanı: _____
 Ada, Parseli: _____
 Adresi: _____
 Bina Sahibinin Adı Soyadı: _____
 Adresi: _____
 Müşterek Tesisatların Sahibi (gerekliyse) Adı Soyadı: _____
 Adresi: _____

Binanın Resmi:

Enerji Performansı: Yüksek
 Düşük

SEG Emisyonu: Düşük
 Yüksek

Yenilenebilir Enerji Kullanım Oranı: % _____

Enerji Kullanım Alanı	Kullanılan Sistem	Yıllık Enerji Tüketimleri			Sınıfı
		Toplam kWh / Yıl	Isıtma kWh / Yıl	Kullanım Alanı Başına kWh / m² / Yıl	
TOPLAM					AB CDEFG
ISITMA					AB CDEFG
SİHHİ SICAK SU					AB CDEFG
SOĞUTMA					AB CDEFG
HAVALANDIRMA					AB CDEFG
AYDINLATMA					AB CDEFG

Açıklamalar: _____

Belgenin Numarası: _____ **Belgeyi Düzenleyen Adı Soyadı:** _____ **İmza:** _____
Veriliş Tarihi: _____ **Firması:** _____
Son Geçerlilik Tarihi: _____ **Oda Sicil Nosu:** _____

Şekil 2.4. Bina enerji kimlik belgesi örneği (URL-1)

2.2. Mevcut Yapılarda Enerji Etkin İyileştirme

Geliştirilmiş enerji fırsatları performansı hemen hemen her ofis binasında mevcuttur. Bunlardan bazıları operasyonel ve bakım uygulamaları, ekipman yenilemeleri, bina sakinlerinin davranış değişiklikleri ve bina kabuğu değişiklikleridir. Bir binanın ömrü boyunca farklı zamanlarda farklı ihtiyaçlar mevcut olacaktır. Binanın değişen kullanımına uygun ekipman ve aksamaların kalan ömrüne bağlı olarak ve gelişmiş teknolojilerin mevcut

uygulamalarda kullanılmasıyla bu devinim devam edecektir. Mevcut ofis binalarında enerji verimliliği iyileştirme fırsatları önemli olmakla birlikte, bu iyileştirmeleri tanımlama, analiz etme ve uygulama süreci her zaman basit süreçler değildir. Bu bölümde enerji verimliliği iyileştirmelerini belirlemek için gerekli adımlara genel bir bakış sunulmaktadır. Mevcut bir enerji verimliliği finansman mekanizmaları, kıyaslama yoluyla performans değerlendirmesi ve uygun maliyetli önlemlerin belirlenmesi enerji denetimi yoluyla yol haritasının çizilmesine değinmektedir. Her bölüm, bu konularda mevcut olan kapsamlı literatüre referanslar içermektedir.

2.2.1. Aydınlatma iyileştirmesi

Aydınlatma açısından iyileştirme, enerji verimliliğini artırmak, enerji tüketimini azaltmak ve alanın genel aydınlatma kalitesini ve performansını iyileştirmek için binalardaki veya diğer yapılardaki aydınlatma sistemlerinin yükseltilmesi veya değiştirilmesi sürecini ifade etmektedir. Bu şunları içerebilir:

- Geleneksel akkor veya floresan aydınlatmayı enerji açısından daha verimli LED aydınlatmaya yükseltmesi,
- Eski armatürlerin daha yeni, daha enerji verimli modellerle değiştirilmesi,
- Karartma kontrolleri, doluluk sensörleri ve zamanlayıcılar gibi aydınlatma kontrolleri ve otomasyon sistemlerinin eklenmesi, aydınlatma seviyelerini mekanın ihtiyaçlarına göre ayarlayarak enerji tüketimini daha da azaltmaya yardımcı olması,
- Daha iyi bir ışık kalitesi elde etmek ve daha konforlu ve üretken bir ortam yaratmak için genel aydınlatma tasarımını, düzenini ve dağıtımının iyileştirilmesi gerekmektedir.

Yenilenen aydınlatma sistemleri, enerji tüketimi ve maliyetler üzerinde önemli bir etkiye sahip olmanın yanı sıra, bir alanın genel aydınlatma kalitesini ve performansını da artırabilmektedir. Enerji tüketimini ve maliyetleri azaltarak bir binanın veya ekipmanın çevresel performansını artırmaya olanak sağladığı, binanın veya ekipmanın ömrünün uzatılmasına olanak tanıdığı ve yeni inşaat veya değiştirme ihtiyacını azalttığı için döngüsel ekonominin önemli bir yönüdür.

2.2.2. Servis sistemlerinin iyileştirmesi

İç mekan hava kalitesini iyileştirmek ve enerji tasarrufu sağlamak için mevcut HVAC sistemlerini yenilemenin farklı yolları mevcuttur. Yüksek etkili yenilemeler arasında hava ekonomizörlerinin kurulumu, ısı ve enerji geri kazanımlı havalandırma, talep kontrollü havalandırma ve bina otomasyon sistemleri yer almaktadır. Havalandırma için dış hava sağlama maliyetini azaltmaya yardımcı olabilecek başka enerji verimliliği iyileştirmeleri de bulunmaktadır.

Hava ekonomizörlerinin takılması, bir binanın enerji verimli bir şekilde havalandırılmasına ve soğutulmasına yardımcı olabilmektedir. Hava ekonomizörleri, klimayı kullanmadan termostat ayar noktasını karşılamak için dış havayı çekmektedir. Bu işleme "serbest soğutma" adı verilmektedir. Ekonomizer kontrolörleri dış ortamın ne zaman uygun olduğunu belirler ve serbest soğutma işlemini başlatmaktadır. Ekonomizörler genellikle dış havanın iç mekan havasından daha soğuk olduğu gecelerde çalışır ve klimaya kıyasla önemli ölçüde daha az enerji kullanmaktadır. Talep kontrollü havalandırma (DCV) sistemleri, değişen doluluk oranlarına yanıt olarak havalandırma oranını otomatik olarak ayarlamak için doluluk veya CO₂ sensörlerini kullanmaktadır. DCV, düşük doluluk dönemlerinde enerji tasarrufu sağlarken hava kalitesini de koruyabilmektedir. DCV'nin "devre dışı bırakılması" veya "etkinleştirilmesi", bir bina otomasyon sistemi (BAS) kullanılarak ayar noktalarının değiştirilmesiyle kolayca gerçekleştirilebilmektedir.

Mevcut bir BAS'ı uygulamak veya modernize etmek, HVAC operasyonu üzerinde daha iyi kontrol elde etmek için iyi bir yatırımdır. HVAC performansının izlenmesinin daha kolay gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Bir sistemin uygulamaya konulması, tesis personeline, kontrol edilemeyen yangın dumanı durumunda dış hava girişini sınırlamak için havalandırmada hızlı ayarlamalar yapmak veya hava filtrelerinin yükleme kapasitesine göre değiştirilebilmesi için basınç düşüşünü izlemek için gerekli araçları sağlamaktadır. (Qiang ve diğerleri, 2023)

2.2.3. Atık stratejisi

Yenileme projeleri, önemli miktarda atık üretimiyle sonuçlanmaktadır. Bu atıkların bir kısmı geri dönüştürülebilir veya yeniden kullanılabilir nitelikte olsa da geri kalan kısmı genellikle

düzenli depolama sahalarına yönlendirilmektedir. Atık miktarını ve çevresel etkilerini azaltmak için, yıkım yerine güçlendirme ve yeniden kullanım odaklı bir yaklaşım benimsenmelidir. Mevcut bina dokusunun mümkün olduğunca korunması, sahada yeniden kullanılabilecek malzemelerin değerlendirilmesi ve atık üretiminin en aza indirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Atıklara yönelik yaklaşım yeniden düşünüldüğünde, maksimum düzeyde yeniden kullanım hedeflenmeli ve yalnızca ıslah, yeniden işleme ya da atık sahasına gönderilmesi zorunlu olan malzemeler saha dışına çıkarılmalıdır. Bu çerçevede öncelikli strateji, “atık hiyerarşisi” olarak bilinen yaklaşım olmalıdır. Günümüzde atık, artık yalnızca bir yükümlülük değil, aynı zamanda bir kaynak ve ekonomik fırsat olarak görülmektedir. Atık akışları değerli hammadde olarak değerlendirilmeye başlanmış, üreticiler bu fırsatlardan yararlanarak yeni ürünler geliştirmeye yönelmiştir. Projenin ölçeğine bağlı olarak atık yönetimi stratejileri değişebilir; büyük çaplı güçlendirme projelerinde ölçek ekonomisi sayesinde daha etkili bir atık yönetimi sağlanabilmektedir.

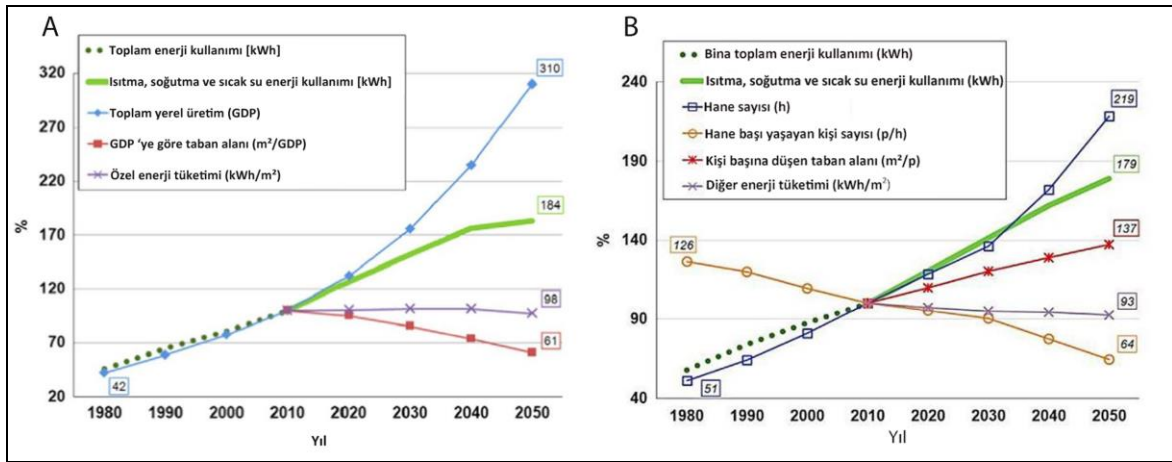
Öte yandan, küresel enerji talebindeki artış da inşaat sektörünün sürdürülebilirlik politikalarını yeniden gözden geçirmesini zorunlu kılmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA)’na göre, özellikle gelişmekte olan ülkelerdeki ekonomik büyümenin etkisiyle 2050 yılına kadar küresel enerji talebinin yaklaşık %18 oranında artması beklenmektedir (IEA, 2021). Bu talep artışında en dikkat çekici alanlardan biri soğutma sistemleridir. 1990 yılından bu yana üç kat artan küresel soğutma talebinin, 2050 yılına kadar 6200 TWh’ye ulaşması öngörülmektedir. Bu büyümenin yaklaşık %70’i, Hindistan, Güneydoğu Asya ve Afrika gibi gelişmekte olan bölgelerdeki konut sektöründen kaynaklanacaktır (IEA, The Future of Cooling, 2018).

Benzer şekilde, ısıtma ihtiyacının da kentleşme ve iklim değişikliği gibi faktörlerin etkisiyle daha yavaş bir hızda artacağı tahmin edilmektedir. Binalarda kullanılan enerjinin önemli bir bölümü, ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) sistemlerine aittir ve bu sistemler, toplam bina enerji tüketiminin yaklaşık %40’ını oluşturabilmektedir (UNEP, 2021).

Tüm bu göstergeler, enerji verimli bina tasarımları, gelişmiş yalıtım sistemleri ve yenilenebilir enerji teknolojilerinin entegrasyonu gibi sürdürülebilir stratejilerin zorunluluğunu ortaya koymaktadır. Bu stratejilerin benimsenmesi, hem inşaat sektörünün

karbon ayak izinin azaltılmasına hem de iklim değişikliğiyle mücadeleye katkı sunacaktır (UNEP, 2021).

Sekil 2.5'teki grafiğe göre, 2010–2050 döneminde, konut binalarındaki ısıtma-soğutma ihtiyaçlarının %79, ticari binalardaki ihtiyaçların ise %84 oranında artacağı öngörülmektedir. Bu veriler, önümüzdeki dönemde sürdürülebilir bina politikalarının yalnızca çevresel değil, aynı zamanda ekonomik açıdan da kaçınılmaz olduğunu göstermektedir.



Şekil 2.5. (A) konutlarda enerji tüketiminin farklı etkenlerindeki eğilimler ve (B) dünyadaki ticari binalar, 1980–2050 (Ürge-Vorsatz ve diğerleri, 2015)

Hane sayısı ve toplam taban alanındaki yaklaşık %94'lük artış, bina kaynaklı enerji tüketiminde %115 oranında bir artış öngörüsünü beraberinde getirmektedir (Ürge-Vorsatz ve diğerleri, 2015). Bu durum, özellikle inşaat sektörünün sera gazı emisyonları üzerindeki etkisi düşünüldüğünde, enerji verimliliği önlemlerinin uygulanmasını hayati bir öncelik haline getirmektedir (Casini, 2016).

Enerji verimliliğine ilişkin tahminler, bu önlemlerin küresel ölçekte ciddi emisyon azaltımları sağlayabileceğini ortaya koymaktadır. Örneğin, binalarda ısıtma ve soğutma gereksinimlerinin azaltılması, 2020 yılı itibarıyla yılda yaklaşık 3,2 GtCO₂e düzeyinde bir salınım azaltımı potansiyeli sunmaktadır (Ürge-Vorsatz ve Novikova, 2008). Daha ileriye dönük projeksiyonlar ise 2030 yılına kadar yıllık 5,4 ila 6,7 GtCO₂e düzeylerinde azalma elde edilebileceğini göstermektedir (UNEP, 2013).

Avrupa Birliği (AB) özelinde, binalar toplam CO₂ emisyonlarının %38'inden sorumludur. Bu nedenle hem yeni yapılar hem de mevcut bina stoğuna yönelik enerji verimliliği artırıcı önlemler, AB'nin iklim ve enerji stratejileri ile doğrudan ilişkilendirilmiştir. AB'deki konut binaları toplam bina stoğunun yaklaşık %75'ini oluşturmakta; bu binalarda enerji tüketiminin %68,4'ü mekan ısıtması, %14,1'i aydınlatma ve ev aletleri, %13,6'sı sıcak su üretimi ve %3,8'i yemek pişirme için kullanılmaktadır (De Boeck, 2015). Bu kapsamda, yüksek enerji performansı sağlayan bina mevzuatlarının etkin bir şekilde uygulanması, emisyon azaltımında öncelikli politika aracı olarak değerlendirilmektedir. 21. yüzyılın ilk on yılında, geleneksel yüksek enerji performanslı bina yaklaşımları gelişerek; pasif binalar, sıfır enerjili yapılar, pozitif enerjili ve hatta otonom binalar gibi ileri düzey konseptlere evrilmiştir (Thiers ve Peuportier, 2012). Bu tür yapılar, sadece enerji tüketimini minimize etmekle kalmayıp, enerji üretimi ile net pozitif enerji dengesi oluşturmayı hedeflemektedir. Bu bağlamda, "düşük enerjili bina" terimi, enerji performansı açısından standart binalardan daha yüksek verim sunan genel bir kavramı ifade ederken; "pasif bina", Almanya'da Passivhaus Enstitüsü tarafından geliştirilen ve oldukça düşük enerji tüketimiyle tanımlanan özel bir standarttır (Feist., 2005). Passivhaus standardı, çok düşük ısıtma yükü ve toplam enerji talebi hedefler ve üç temel kriteri içermektedir (Feist, 2004):

1. Isıtma enerjisi talebi $\leq 15 \text{ kWh/m}^2/\text{yıl}$,
2. Toplam birincil enerji talebi $\leq 120 \text{ kWh/m}^2/\text{yıl}$,
3. Hava sızdırmazlık değeri (n_{50}) $\leq 0,6$ hava değişimi/saat.

Bu standartlar, sürdürülebilir bina uygulamalarının yaygınlaştırılması açısından güçlü bir çerçeve sunmaktadır.

Pozitif enerjili bina (PEB) kavramı, sıfır (net) enerjili bina (SEB) konseptiyle yakın ilişki içerisinde (Marszal, 2011). PEB'ler, güneş radyasyonu, rüzgar ve biyokütle gibi yerel yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu ile enerji verimliliği önlemleri ve enerji geri kazanımı teknolojilerini bir araya getirmektedir. Bu konseptte, yüksek düzeyde ısı yalıtımı, çekilen havadan ısı geri kazanımı, hava sızdırmazlığı ve yüksek verimli ekipman kullanımı sayesinde enerji tüketimi minimize edilmektedir. Bu nedenle, PEB tasarımlarında "Pasif Ev" (Passivhaus) yaklaşımı temel bir strateji olarak kullanılabilir.

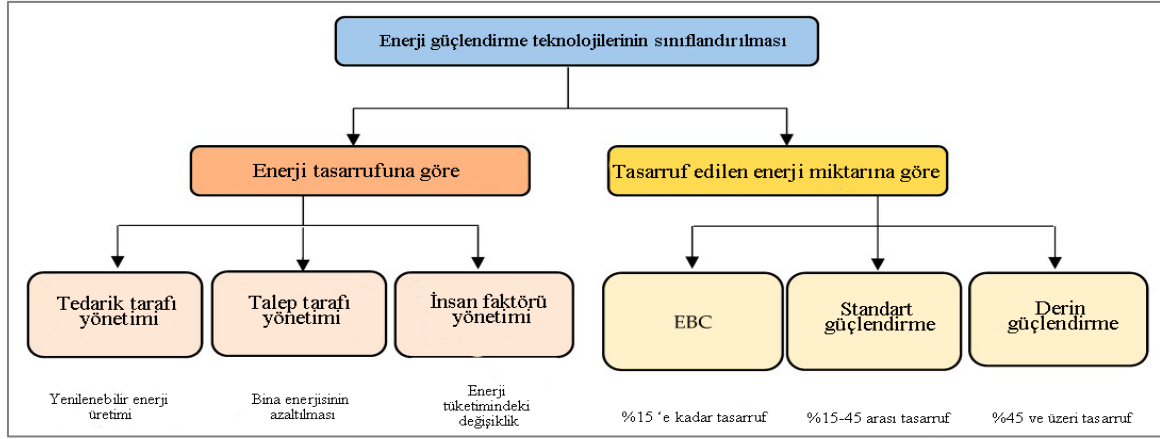
Yerel yenilenebilir kaynaklardan sağlanan enerji, yalnızca binanın ısıtma ve sıcak su üretimi gibi ihtiyaçlarını karşılamakla kalmaz; aynı zamanda yerinde tüketim için ya da elektrik şebekesine geri besleme yoluyla da kullanılabilir. Böylece bina, tükettiğinden daha fazla enerji üreten bir yapıya dönüşerek pozitif enerji dengesine ulaşmaktadır.

Bu kavramın daha ileri bir versiyonu olan “otonom bina”, dış enerji dağıtım şebekelerine bağımlı olmayan özel bir sürdürülebilir enerji binası (SEB) türüdür. Otonom yapılar, tüm enerji gereksinimlerini yerel kaynaklardan anlık olarak karşılar ve bu da genellikle enerji depolama çözümlerinin (örneğin bataryalar) entegrasyonunu zorunlu kılmaktadır. Bu tür binaların en bilinen örneklerinden biri, 1992 yılında Almanya’da Fraunhofer Enstitüsü tarafından inşa edilen deneysel otonom evdir (Vass, 1996).

Her ne kadar otonom binalar izole veya uzak yerleşim alanlarında vazgeçilmez çözümler sunsa da günümüzde altyapı bağlantısının mümkün olduğu bölgelerde ekonomik ve operasyonel açıdan yaygın bir uygulama alanı bulmamaktadır.

2.2.4. Retrofit kavramı ve türleri

Sürdürülebilir enerji verimli iyileştirme (güçlendirme), binaların düşük enerji tüketimli sistemlere dönüştürülmesi, yıkım tekniklerinin analiz edilmesi ve tüketim sonrası/geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanımını sağlamak için alternatifler geliştirilmesi sürecidir (Jafari, Valentin ve Russell, 2014). Bir yapının kapasitesini, işlevini veya performansını korumak için yapılan işlemlere modifikasyon adı verilir ve adaptasyon tanımına dayanmaktadır. Başka bir deyişle, bir binanın yeni koşullarını ve gereksinimlerini karşılamak için gerçekleştirilen yeniden kullanma, iyileştirme veya onarım sürecidir (Douglas, 2006). Şekil 2.6’ da gösterildiği gibi enerji güçlendirme enerji tasarrufuna ve tasarruf edilen enerji miktarına göre iki ana başlık altında değerlendirilmektedir.



Şekil 2.6. Enerji iyileştirmesinin sınıflandırılması (Madushika, Ramachandra ve diğerleri, 2023)

Yenileme işlemi binanın tamamına ya da binanın tadilat gerektiren kısmına uygulanabilmektedir. Yenileme süreci mevcut binada yapılabilecek tüm bireysel önlemleri içermektedir. Bu eylemler, uygulanabilir değişiklikleri, eklemeleri, iyileştirmeleri, kullanım değişikliklerini, binalarda yapılan yenilemeleri veya çok kiracılı binalara yönelik uygulamaları içermektedir (Şahin, 2016). Binalarda iyileştirme retrofit türleri yapılan iyileştirmenin kapsamına göre iki şekilde yapılır. Bunlardan biri standart iyileştirme diğeri ise derin iyileştirme.

Standart retrofit

Standart güçlendirme önlemleri, bina sahipleri için uygun maliyetli ve düşük riskli verimlilik yükseltme seçenekleri sunar, binalarında artan sermaye yükseltmeleri yapmakla sınırlıdır. Standart güçlendirme önlemleri şunları içerir: ekipman, sistem ve montaj yenilemeleri. Bir binanın görünümünü değiştiren mevcut bina devreye alma (EBC) sürecinden farklıdır. İşletme ve bakım stratejileri, derinlemesine bir incelemeye ve aynı anda iyileştirmeleri de içeren derinlemesine iyileştirmelere dayanmaktadır. Standart güçlendirmeler sıklıkla birbiri ardına gerçekleştirilen bir önlemle aşamalı olarak yapılmaktadır. Standart güçlendirme önlemlerinin sıralaması önemlidir, çünkü bir sisteme yapılan güçlendirmenin etkisi (örn. aydınlatma), diğer sistemler üzerinde de etkiye sahip olacaktır. (HVAC yükünün azalması). (Pacific Northwest National Laboratory, 2011)

Standart retrofit, maliyetsiz/düşük maliyetli tanımlanarak başlatılmış olup aşağıdakileri içeren dört aşamalı bir süreç yoluyla önlemler almaktadır: planlama aşaması, araştırma aşaması, uygulama aşaması ve ölçüm ve doğrulama aşamalarından oluşmaktadır.

Tüm enerji tüketen HVAC ve aydınlatma kontrollerini içeren sistemler potansiyel işletme ve bakım önlemleri için araştırılmıştır.

İleri retrofit

İleri düzey enerji tadilatı (derin/ileri retrofit), yalnızca enerji tasarrufu sağlamayı değil, aynı zamanda binanın toplam enerji ihtiyacını azaltmayı amaçlayan kapsamlı yenileme süreçleridir. Bu tür projeler, bütünsel bina tasarımı yaklaşımıyla ele alınmalı ve bütünsel tasarım süreci kapsamında yürütülmelidir. Başarıya ulaşan kapsamlı bir enerji yenileme projesi, birden fazla bina sistemini (örneğin aydınlatma ve HVAC) etkileyerek, bu sistemlerin birbirleriyle uyumlu bir şekilde yeniden tasarlanmasını gerektirmektedir. Her bileşenin (donanım veya yapı elemanı) güçlendirilmesi, diğer sistem iyileştirmeleri dikkate alınarak yapılmalıdır.

Bu bölümde, planlama ve derin güçlendirme projelerinin tasarımı ele alınmakta ve binalarda enerji tüketiminin yoğunlaştığı başlıca alanlar incelenmektedir: ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC), aydınlatma, sıhhi sıcak su üretimi ve priz yükleri. Küçük işletmelerde tüketilen enerjinin %55'inden fazlası, HVAC sistemlerinden kaynaklanmaktadır. Orta ölçekli binalarda ise HVAC, aydınlatma ve priz yükleri birlikte toplam enerji tüketiminin yaklaşık %90'ını oluşturmaktadır (Katipamula, 2012).

Alajmi (2012), düşük maliyetli ya da sermaye yatırımı gerektirmeyen basit önlemlerle bir binanın yıllık enerji tüketiminin %6,5 oranında azaltılabileceğini, kapsamlı enerji verimliliği yatırımlarıyla ise bu oranın %49,3'e kadar çıkabileceğini ortaya koymuştur.

Yeni teknolojiler, enerji yenileme projelerinde çeşitli stratejiler geliştirilmesini mümkün kılmıştır. HVAC sistemleri, elektrikli aydınlatma, bina kabuğu (duvar, pencere, çatı gibi), ekipman yükleri ve sıhhi sıcak su sistemleri, en yaygın kullanılan enerji verimliliği uygulama alanlarıdır. Yüksek performanslı binalarda, yaygın olarak doğal gün ışığından faydalanma, yüksek verimli HVAC sistemlerinin kullanımı ve geliştirilmiş bina zarfı (kabuk) tasarımları

öne çıkmaktadır. Yapılan analizler, incelenen binaların %76,5'inin gün ışığından yararlandığını, %64,7'sinde yüksek verimli HVAC sistemlerinin tercih edildiğini ve %62,7'sinin gelişmiş bina kabuğuna sahip olduğunu göstermektedir. Ancak bir binanın konumu, büyüklüğü, kabuk özellikleri ve elektrik, ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemleri, bu teknolojilerin enerji verimliliği üzerindeki etkisini büyük ölçüde belirlemektedir. Bu bağlamda, enerji tasarrufu sağlayan teknolojiler üç ana grupta toplanabilmektedir:

- Yenilenebilir enerji sistemleri: Güneş enerjili sıcak su sistemleri, fotovoltaik paneller gibi elektrik üretim teknolojilerini içermektedir.
- Alternatif enerji kaynakları: Rüzgar enerjisi ve jeotermal enerji sistemleri, binalara şebekeden bağımsız enerji sağlama potansiyeline sahiptir.
- Pasif tasarım unsurları ve sistem entegrasyonu: Bina zarfı iyileştirmeleri, doğal havalandırma ve termal kütle gibi unsurlar, toplam enerji ihtiyacını azaltmada temel rol oynamaktadır.

Bir binanın ısıtma ve soğutma taleplerinin azaltılması, çeşitli enerji verimliliği stratejilerinin birlikte uygulanmasıyla mümkündür. Bu stratejiler arasında enerji verimli ekipmanların ve düşük enerjili teknolojilerin kullanımı, bina kabuğunun iyileştirilmesi, hava sızdırmazlığının artırılması ve pencere gölgeleme sistemlerinin entegrasyonu yer almaktadır. Ek olarak, gelişmiş kontrol şemaları, doğal havalandırma, ısı geri kazanımı ve termal enerji depolama sistemleri gibi teknolojiler, tesislerin enerji talebini azaltmada etkili araçlardır. Ancak bina performansı yalnızca teknik faktörlerle sınırlı değildir; kullanıcı davranışları ve insan faktörleri de enerji tüketimini doğrudan etkilemektedir. Konfor beklentileri, kullanım alışkanlıkları, bina yönetimi ve bakım düzeyi, kullanıcı faaliyetleri ve kontrol sistemlerine erişim gibi unsurlar, enerji verimliliğini artırabileceği gibi azaltabilmektedir. Mevcut pazarda birçok yenileme çözümü bulunmasına rağmen, her binanın fiziksel özellikleri ve kullanım biçimleri farklı olduğundan, tüm binalar için geçerli genelleştirilmiş bir güçlendirme çözümü bulunmamaktadır. Bu nedenle her binanın özgün ihtiyaçlarına göre özelleştirilmiş bir yaklaşım gereklidir. Örneğin bir binada etkili olan çözüm, başka bir binada yetersiz kalabilmektedir.

Binalarda yaygın olarak uygulanan güçlendirme stratejilerinden biri HVAC sistemlerinin iyileştirilmesidir. Yenileme projelerinde kullanılan mevcut HVAC sistemleri arasında

değişken soğutucu akışkan sistemleri (VRF), su kaynaklı ısı pompaları, değişken hava hacimli sistemler (VAV), soğutulmuş kirli sistemleri ve özel dış hava sistemleri yer almaktadır. Bu teknolojilerin seçimi, enerji verimliliği, kurulum maliyeti, kullanıcı konforu ve sistemin ısıtma-soğutma kapasitesi gibi kriterlere göre yapılmaktadır (Woo ve Menassa, 2014).

Aydınlatma sistemlerinde ise kompakt floresan lambalar (CFL) ve ışık yayan diyotlar (LED) en yaygın enerji verimli alternatiflerdir. CFL'ler düşük maliyetli olmalarına rağmen, LED'lere kıyasla daha kısa ömürlüdür, daha düşük verimlilik sunar ve çevreye daha fazla zarar vermektedir. LED teknolojisi, daha yüksek ilk kurulum maliyetine sahip olmasına rağmen, uzun ömürlülüğü ve güvenilirliği sayesinde daha sürdürülebilir bir çözüm sunmaktadır (Salata, 2014).

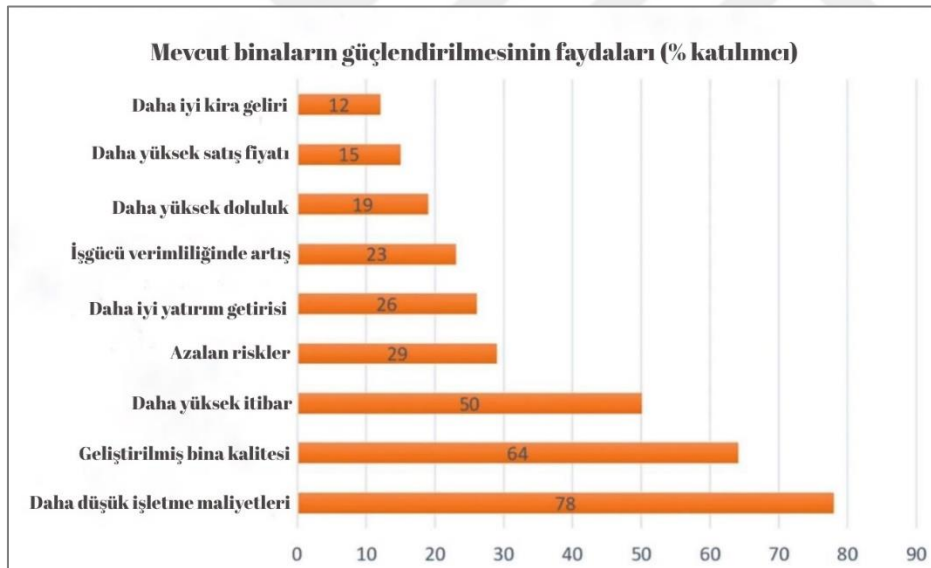
Bina kabuğu, iç ve dış ortam koşulları arasındaki ısı transferini düzenleyerek enerji performansında kritik bir rol oynamaktadır. Termal yalıtım, hava geçirmezlik ve cephe sistemleri, iç mekan konforu ve enerji verimliliğini doğrudan etkilemektedir (Patterson, Vaglio ve Noble, 2014). Çift cidarlı ve hibrit cam cephe sistemleri bu alandaki başlıca çözümler arasında yer alırken, cephelerde kullanılan sıva harcı dahi enerji performansını etkileyebilmektedir. Brás ve Gomes (2015), çimento bazlı ve hidrolik kireç harçlarının küresel ısınmaya daha fazla katkı sağladığını, buna karşın harç bileşimlerine mantar granülleri eklenmesinin özellikle %70 oranında kullanıldığında küresel ısınma etkisini önemli ölçüde azaltabileceğini belirtmektedir. En uygun maliyetli enerji güçlendirme yöntemleri ise pasif ısıtma ve soğutma teknikleridir. Bunlar arasında iyi tasarlanmış güneş kırıcılar, gün ışığının etkin kullanımı, termal kütle aracılığıyla gerçekleşen pasif soğutma, zemin yoluyla ısı alışverişi ve gece havalandırması yer almaktadır (Pagliano, 2009). Bu pasif soğutma teknolojilerinin düşük maliyetli ve etkili olmasına rağmen, bina sahiplerinin çoğunlukla mekanik soğutma sistemlerini tercih ettiğini belirtmektedir.

2.2.5. Günümüz enerji verimli retrofit uygulamaları

Mevcut bir binanın güçlendirilmesi ve yenilenmesi, yeşil enerji tüketimini ve sera gazı emisyonlarını azaltmak için çevre dostu, sürdürülebilir ve en verimli çözümlerden biridir. Bu, nispeten düşük maliyet ve yüksek sonuçlarla yapılı çevrede sürdürülebilirliğin

sağlanmasına yönelik ana yaklaşımlardan biri olarak değerlendirilmektedir. (Mıhlıyanlar, E., ve Meral, S., 2023)

Yeni bina inşaatlarıyla karşılaştırıldığında bu tür müdahaleler enerji tüketimini de azaltmaktadır. Binanın iç ve dış dokusunda değişiklikler içeren çok daha derin düzeyde bir onarım gerektiren yenilemeyle karşılaştırıldığında, enerji verimliliği önlemleriyle güçlendirmenin faydalarını gösteren birçok örnek vardır. Mevcut binalar için yaygın olan enerji yenilemelerinin başlıca tipleri, HVAC yenilemesi, cephe yenilemesi, aydınlatma yenilemesi ve çatı kaplaması güçlendirmesi gibi geniş kategorilere girmektedir (Dogru, 2024). Şekil 2.7’ de ifade edildiği gibi mevcut binaların güçlendirilmesinde en yüksek faydanın daha düşük işletme maliyeti olduğu belirtilmiştir. Diğer faydaları ise daha iyi kira getirisi, daha yüksek satış fiyatları, binanın daha yoğun kullanımı, kullanıcıların iş gücü veriminde artış gibi etmenlerin de sağlandığı paylaşılmıştır.



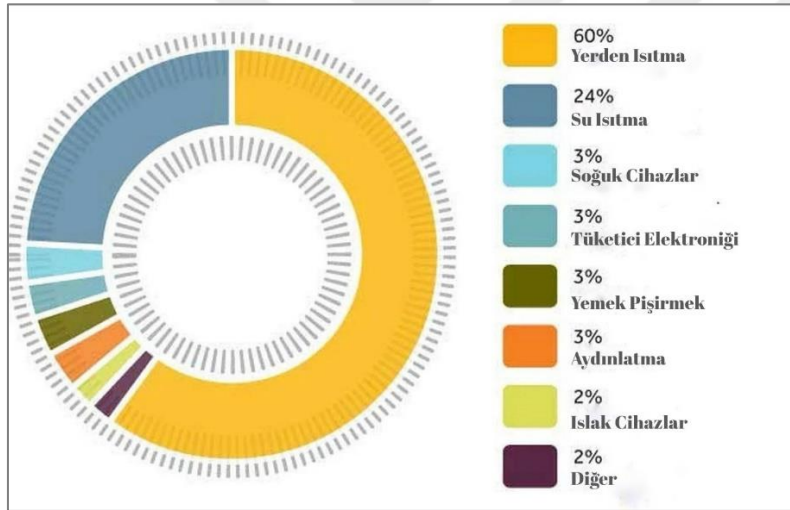
Şekil 2.7. Mevcut binaları güçlendirmenin faydaları (Schneider Elektrik)

Maddi faydalar, inşaat maliyeti gibi finansal terimlerle ölçülebilen avantajlardır; maddi olmayan faydalar ise ölçülemeyen ancak yine de konfor düzeyi ve memnuniyet düzeyi gibi bir iş veya proje üzerinde önemli bir etkiye sahip olan faydalardır.

Güçlendirmenin en büyük faydalarından biri, gömülü enerjiden tasarruf ederken atık üretiminde azalmadır. Örnek olarak, enerji tasarruflu aydınlatma ve kontrollerin kurulumu, bina hizmetleri ve yönetim sistemleri ve kontrolleri gibi hafif dokunuşlu iyileştirmelerle

yıllık enerji maliyetinin %30 ila %40'ına kadar azaltılabilmektedir. Buna ek olarak, suyun ve atıkların geri dönüştürülmesi de önemli ve olumlu sürdürülebilirlik ve maliyet etkileri getirebilmektedir (Dogru, 2024).

Güçlendirmenin bir diğer sonucu da bina sakinlerinin bilinçli kullanımı ile ilgilidir. Anketler, çevre sertifikalı binalarda çalışan sakinlerin %50'sinden fazlasının üretkenliğini artırdığını göstermiştir. Doğal aydınlatmayla mekanların rafine kalitesi; sosyal sorumlulukta gelişmiş kurumsal imaj, ağır mekanik ekipmanın değiştirilmesi nedeniyle taban alanında artış; vergi kredileri ve devlet teşvikleri, doğal kaynakların verimli kullanımı ve azaltılmış ekolojik etkiler, enerji iyileştirmelerinin faydalarından bazılarıdır. Şekil 2.8'da gösterildiği gibi mevcut binalarda güçlendirmede en çok ısıtma sisteminde olmak üzere bir diğeri su ısıtma sisteminde verimlilik sağlanmıştır.



Şekil 2.8. Mevcut binaları güçlendirmenin faydaları oransal dağılımı (Uluslararası Danışman Mühendisler Federasyonu, 2023)

Mevcut binaların güçlendirilmesi, yüksek ilk yatırım maliyeti ve mimari müdahalelerin karmaşıklığı gibi zorluklar içermektedir (Balçık, 2024) ve mevcut taşıyıcı sistemlerin yeni yönetmeliklere uygunluğunun değerlendirilmesi gereklidir (Akdoğan ve Güçer, 2023). Bu zorluklar arasında yüksek ilk yatırım maliyetleri, iç duvar yalıtımı nedeniyle yaşam alanlarının daralması, kanıtlanmamış yöntemlerin kullanılması sonucu miras ve arkeolojik değerlere zarar verme riski ile mevcut sistemlere uygun çözümler bulmanın güçlüğü yer almaktadır. Özellikle tarihi binalarda, yapının özgün mimarisini koruyarak güçlendirme yapmak büyük bir hassasiyet gerektirmektedir. Bu tür yapılar için özel olarak geliştirilen

teknikler, yapının tarihi dokusunu bozmadan sismik dayanıklılığını artırmayı hedeflemektedir. (Kececi, 2025)

Genel varsayım, bir binayı yeşillendirmenin çok maliyetli bir süreç olduğu yönünde olsa da, benzer işlev ve kapasiteye sahip yeni bir bina inşa etmeye göre çok daha ucuz bir alternatiftir. Mali kısıtlamalardan kaçınmak için bir binanın güçlendirilmesi aşamalı olarak gerçekleştirilmelidir. Sızıntıların giderilmesi, mevcut ekipmanın bakımının yapılması vb. gibi düşük maliyetli önlemlerle başlamak daha sağlıklı ve verimli bir karardır. Bütçeye ve kaynakların mevcudiyetine bağlı olarak, yenileme uzun vadeli bir strateji olarak gerçekleştirilebilmektedir. Üstelik yeşil binaların uzun vadede geleneksel binalara göre %14 daha az işletme maliyetli olduğu kanıtlanmıştır. Bazı binalar da yatırımlarını iki yıldan kısa bir sürede geri kazanmıştır.

Özellikle duvarlardaki yalıtım mekanizması ve güçlendirmenin bina dokusu üzerindeki etkisi konusunda daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır. Sorunları ele almak ve farkındalık yaratmak için binaların bakımı ve korunmasına ilişkin daha fazla eğitim, öğretim ve faaliyetlerin öğretilmesi gerekmektedir.

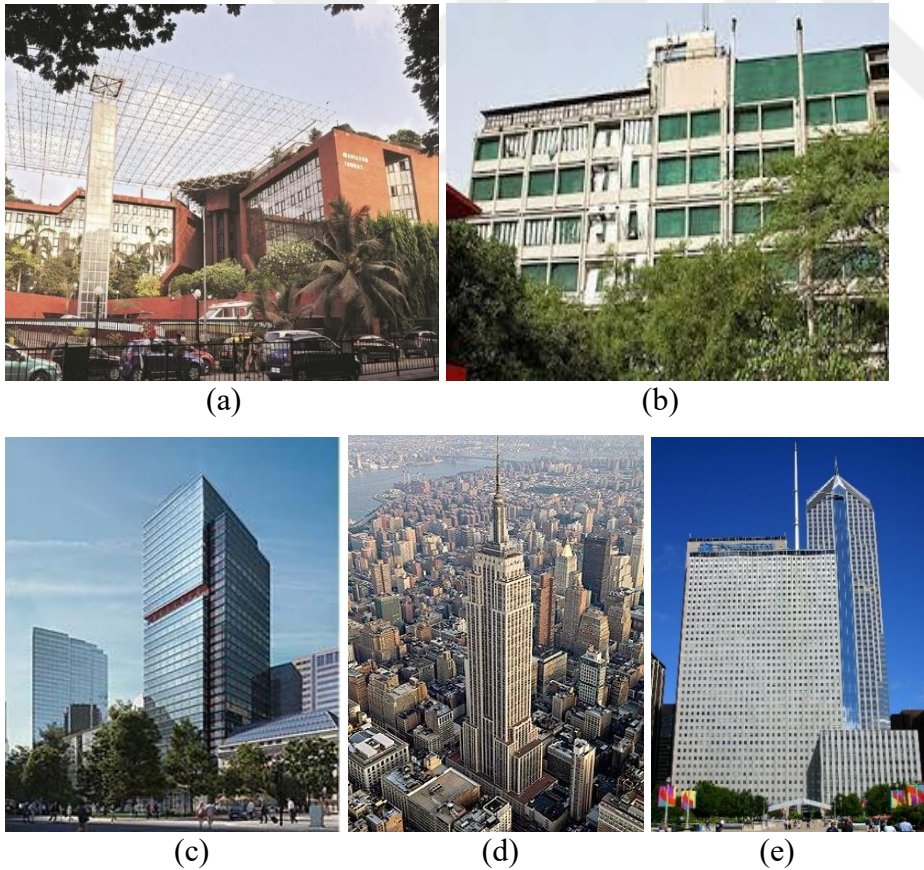
Ülkedeki bina stoğu enerji tüketimi açısından oldukça verimsizdir. Özellikle Hindistan gibi sıcak ve nemli bir ülkede, mevcut binalardaki enerjinin büyük bir kısmı yaz aylarında klimalar tarafından tüketilmektedir. Böylece binanın soğutulması enerji tasarrufuna ve sera gazlarının azalmasına yol açacaktır. Sorunlar bir araya getirildiğinde, yeşil iyileştirmeler soruna uygun bir çözümdür ve ülke için muazzam miktarda enerji tasarrufu yapılmasına yardımcı olabilmektedir.

Bu nedenle iyileştirmeler, mevcut binalarda dikkatli bir şekilde uygulandığı takdirde, makul miktarda enerji tasarrufu sağlayabilir ve her binanın sera gazı emisyonunu azaltabilmektedir. Sadece bu değil, aynı zamanda binanın kapalı alanlarına bitkilerin dahil edilmesi, alanın iç hava kalitesini iyileştirebilir, insanların performansını iyileştirebilir, binanın enerji tüketimini artırabilir, göz tahrişini azaltabilir ve oksijen seviyelerini artırabilmektedir. Genel olarak insanlara ve binaya her bakımdan fayda sağlayacaktır.

Mevcut bir binada enerji kullanımını azaltma yöntemleri, yeni binaların tasarlanırkenki süreçlerde kullanılan enerji verimli sistemlerden belirgin biçimde farklı ve kısıtlıdır. Mevcut

binalarda, binanın enerji konfigürasyonu, yönelimi, malzemeleri, inşaatı, mekanik sistemleri ve konumu gibi binanın fiziksel yönlerindeki ana belirleyiciler halihazırda mevcuttur. Bu nedenle bunların çoğunun değiştirilmesi zordur. Ancak binanın doluluk, alan kullanımı ve çevre standartlarına ilişkin tasarım varsayımları zaman içinde değişebilmektedir. Retrofitting, mevcut bir binanın enerji verimliliği açısından değiştirilmesidir. Retrofitting önlemleri, bir binanın iklim değişikliğine olumlu yanıt vermesini sağlayacak şekilde iyileştirilmesi için alınan önlemlerdir. Binanın karbon ayak izini azaltmak, güçlendirmenin temel hedeflerinden biridir. Diğer önemli hususlar arasında binanın sakinleri için ısı konforunun artırılması ve yakıt ihtiyacının azaltılması yer almaktadır.

Dünyada retrofitting konusunda yapılmış çalışmalardan örnekler Şekil 2.1’de gösterilmektedir. Burada beş adet ofis binasında enerji verimli iyileştirmeler yapılmış ve bu iyileştirmelerden alınan verimler paylaşılmıştır.



Resim 2.1. (a) Mahindra Towers, (URL-2), (b) Paharpur Business Center, (URL-3), (c) One Post Office Square, (URL-4), (d) Newyork Empire State Building, (URL-5), (e) One Prudential Plaza (URL-6)

Bu kapsamda dünya çapında beş ofis binasında enerji etkin iyileştirmeler yapılmış olup, bu iyileştirmeler sonucu binaların ihtiyaç duyduğu enerji ihtiyaçları Çizelge 2.1’de sunulmuştur.

Çizelge 2.1. Ofis binaları için retrofit sonucu enerji verimliliği değerleri

	Newyork Empire State Building	One Post Office Square	Paharpur Business Center	Mahindra Towers	One Prudential Plaza
Bulundukları ülke	Amerika Birleşik Devletleri	Amerika Birleşik Devletleri	Hindistan	Hindistan	Amerika Birleşik Devletleri
Yapım yılı	1931	1981	1998	1985	1955
Yapılan iyileştirme	Enerji verimliliği ve mühendislik optimizasyonu	Enerji verimliliği ve sertifikalara uygun hale getirme	İç hava kalitesi ve enerji verimliliği	Enerji verimliliği ve elektronik sistem yenilenmesi	Enerji verimliliği ve bina yapı yenilenmesi
İyileştirmeden önce tüketilen enerji	2.79 kWh / m ²	2.2 kWh / m ²	0.8 kWh / m ²	1.93 kWh / m ²	0.1 kWh / m ²
İyileştirmeden sonraki tüketilen enerji	2.02 kWh / m ²	1.86 kWh / m ²	0.76 kWh / m ²	1.70 kWh / m ²	0.04 kWh / m ²
Yapılan tasarruf yüzdesi	%38	%20	%6.88	%14	%40.92

Tablo incelendiğinde, binalarda yapılan iyileştirmeler sonucu tüm binalarda en azı %6.88 olmak üzere enerji verimliliği sağlandığı görülmektedir.

New York City'deki New York Empire State Binası, bütünleştirici bir tasarım yaklaşımı kullanılarak yenilenmiştir. İyileştirmeler yapmak için öncelikle bir bina yaşam döngüsü ve maliyet analizi yapılmış olup, planlanan iyileştirmeler enerji verimliliği hedeflerini belirlemiş ve bu hedeflere yönelik bina enerji simülasyonları dikkate alınmıştır (Camusoglu, 2025). Bina içi simülasyonda kullanılan yenileme alt başlıkları şunlardır:

Pencerelerin yenilenmesi

Binadaki yaklaşık 6 500 adet çift camlı pencere camı değiştirilmiş ve bir izolasyon filmi tabakası eklenmiştir. Bireysel camların arasındaki boşluklar, ısı transferini önlemek için kripton ve argon gazı ile doldurulmuştur. Bu, her bir pencerenin yalıtım değerini üç kattan fazla artırmakla birlikte, kışın eski pencerelere göre üç kat daha fazla ısı kaybını önlemektedir, ısıtma ve soğutma yüklerini azaltmakta ve bina sakinlerinin termal konforunu artırmaktadır. Ayrıca UV ışınlarını engellemekte, güneş ışığından faydalanmayı artırmakta,

kullanıcıları ve iç mekan mobilyalarını korumaktadır. Bu yenileme tek başına binanın en yüksek soğutma yükünü üçte bir oranında azaltmıştır. Bina pencerelerine takılan otomatik panjurlar da güneşe göre hareket ederek iç mekan termal konforuna etkili bir şekilde katkıda bulunmaktadır.

Radyatör yalıtımı

Bina çevresine yerleştirilmiş radyatör ünitelerinin arkasına 6 000'den fazla yalıtımlı yansıtıcı bariyer yerleştirilmiştir. Bu iyileştirmeden önce, ısıнын hemen hemen yarısı bina dışına sızmaktadır. Yapılan iyileştirme ile sağlanan koruma, ısıнын çoğunu iç mekana geri yansıtıp bina dış mekanına akışını engellemiştir (Bhaskar De ve Mukherjee, 2014).

Doğrudan dijital kontrol ve kullanıcı talebi ile yönetilen havalandırma sistemi

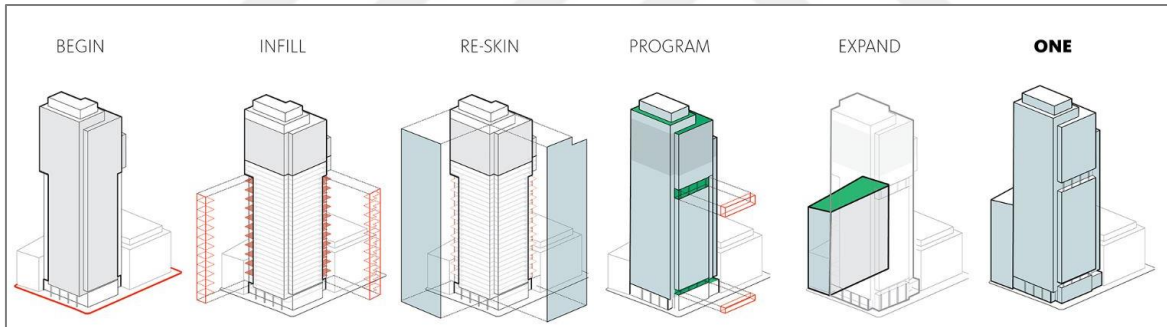
Havalandırma sistemi daha öncesinde binada bulunan pnömatik sistem yerine otomasyonlu olarak yenilenmiş olup, CO₂ standardize cihazları ile beraber iç mekan hava kalitesinin durağan tutulması sağlanmıştır. Böylelikle binada ısıtma ve soğutma için gereken enerji ihtiyacı azaltılmıştır. Binada meydana getirilen diğer yenileme işlemleri ise, soğutma tesisatının yenilenmesi, kontrollü günışığı kullanımı, aydınlatma ve prizler, degisken hava hacmi VAV ünitelerinin binaya entegre edilmesidir (Bhaskar De ve Mukherjee, 2014).

Postane binası için iyileştirme planı bina dış kabuğu üzerinden sıfır karbonu kurmak hedefiyle yapılmıştır. Bina 1942 senesinde inşaa edilmiş olup, 42 kattan oluşmaktadır. Yenileme yapılırken bina, tasarımcılar tarafından fonksiyon ve işlev açısından da değerlendirilmiştir. Bina etrafında yapılaşmış fonksiyonlar da binaya entegre edilmiş bütün bu fonksiyonlar için enerji verimliliği ve kullanıcı konforu öncelikli cephe tasarımı geliştirilmiştir (Resim 2.2).



Resim 2.2. Postane binası cephe yenileme görseli (URL6)

Binanın kütlesi tekrar tasarlanarak, yeni üçlü camlı bir perde duvar entegre edilmiş ve verimli çalışmayan değişken hava hacimli HVAC sistemini yeni etkin soğuk giriş teknolojisiyle değiştirilerek, enerji kullanım yoğunluğunu (EUI) 66'dan (mevcut kullanım) 34'e (tahmini) düşürülmüştür. Binanın üst yapısının tekrar kullanımı, yeni bir yapıya kıyasla 14,5 bin metrik tonluk somut CO₂'e eşdeğer tutum sağlamıştır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Postane binası yenilenme süreci şematik anlatımı (URL6)

Paharpur İş Merkezi 1990 yılında Hindistan'da inşa edilmiştir. İncelenen diğer bina örneklerinden farklı olarak bu bina, iç mekan hava kalitesini ve termal konforu sağlamak amacıyla bina içerisine yeşil bitkiler yerleştirerek enerji verimliliğinde artış sağlamıştır. 1 200'ün üzerinde iç mekan bitkisi tarafından doğal olarak sağlanan O₂, binanın dışarıdan aldığı taze, temiz havanın bitkiler tarafından doğrudan iç ortamdan üretilmesini sağlamaktadır. Bu, binayı havalandırmak için gereken enerjiyi en aza indirmektedir. Bina içindeki tesisler aynı zamanda bina içindeki ısıl konforu da iyileştirerek binanın soğutma yükünde enerji tasarrufu sağlamış ve binanın enerji verimliliğini artırmıştır. (Apte, 2010) (Resim 2.3).



Resim 2.3. Paharpur Business Center iç mekan bitki görseli (URL7)

Mahindra Towers, Hindistan'da bulunmakta olup 1985 senesinde inşaatı tamamlanmış ve 2009 senesinde bina enerji etkin iyileştirme yapılmıştır. Binada meydana gelen enerji etkin iyileştirmeler şu şekildedir:

Aydınlatma

Bina aydınlatma iyileştirmede 500 adetten fazla aydınlatma elemanı yüksek frekanslı, düşük harmonikli elektrik balastlara sahip T-5 yüksek verimli tüp çubuklarıyla değiştirilmiş ve bunun sonucunda da ayda 5 551 kWh tasarruf sağlanmıştır (Retrofitting Mahindra Towers, 2014)

HVAC

AHU motorları binaya uygun büyüklükte ve enerji bereketli motorlarla değiştirilmiştir. Chiller sisteminin pompa kapasitesi 7,5 HP motorla satte 15 metreküpe düşürülmüştür (Retrofitting Mahindra Towers, 2014).

Prudential Plaza binası 1955 yılında inşa edilmiş ve bina iyileştirme projesi 2014 yılında tamamlanmıştır. Diğer örneklerin aksine, bu binadaki iyileştirmeler öncelikle binanın çevresiyle ilgilidir. Binanın dış duvarlarındaki yaklaşık 1 200 adet tek camlı pencere, enerji tasarruflu low-e cam ile değiştirilmiştir. Modelleme araçları kullanılarak elde edilen iyileştirmeler, yıllık enerji tüketimi, karbon emisyonları, güneş ışığı, parlama ve yoğunlaşma tahminleri ve maliyet tasarrufları dikkate alınarak ürün seçiminde optimasyon sağlamıştır. (Cheibas, 2025)

Günümüzün enerji tasarruflu pencereleri, binaların ısıtma ve soğutma maliyetlerini önemli ölçüde azaltabilir, aynı zamanda bina sakinlerinin konforunu artırabilir ve pencere yüzeylerindeki yoğunlaşma sorunlarını en aza indirebilmektedir. (Cuce, 2019)

2.3. Enerji Verimli Ofis Binaları için Tasarım Kriterleri

Binaların güçlendirilmesinin ekonomik ve çevresel faydalarına tez kapsamında önceki bölümlerde değinilmiştir. Ancak güçlendirme yönteminin seçimine yönelik net bir yol haritası bulunmamaktadır. Her binanın kendine özgü yapısal, işlevsel ve çevresel koşulları göz önüne alındığında, genelleştirilmiş bir güçlendirme çözümünün her projede etkin ve verimli sonuçlar vermesi beklenmemektedir. Bu nedenle, yalnızca çevresel sürdürülebilirlik açısından değil, aynı zamanda en uygun iyileştirme yönteminin belirlenebilmesi için çok kriterli bir karar verme metodolojisine ihtiyaç duyulmaktadır. Belirli bir bina projesi için en uygun çözümün seçimi, çok amaçlı bir optimizasyon sürecini gerektirmektedir. Bu süreç; mevcut bütçe, projenin hedefleri, binanın kullanım amacı, hizmet türleri, yapı malzemeleri ve yerel koşullar gibi birçok teknik ve yönetsel kısıtlamayı içermektedir. (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2020)

Ekonomik avantajlar, güçlendirme seçiminde önemli bir rol oynarken; enerji verimliliği, sürdürülebilirlik ilkeleri, düzenleyici gereklilikler ve sosyal etkiler gibi diğer kriterlerin de dikkate alınması gerekmektedir. Başarılı bir güçlendirme projesi, bu faktörler arasında dengeli ve bütünsel bir çözüm geliştirilmesini gerektirir (Ma ve diğerleri., 2012). Çünkü bir binanın işletme sürecindeki gerçek performansı, alt sistemlerinin birbirleriyle etkileşimli çalışmasına bağlıdır. Bu nedenle, sistemlerin gerçek performansı, genellikle tasarım sürecinden çok sonra net olarak gözlemlenebilir (Thompson ve Bank, 2010). Bu durum, yenileme projelerinin planlama ve uygulama süreçlerini daha karmaşık hale getirmektedir.

Bu bağlamda Ma. (2012), binaların güçlendirilmesine yönelik olarak tanımlama, değerlendirme ve uygulama süreçlerini içeren sistematik bir yaklaşım önermişlerdir. Bu yaklaşıma göre güçlendirme süreci beş temel aşamaya ayrılmaktadır:

1. Projelendirme ve ön güçlendirme araştırması: Bu aşamada projenin kapsamı ve hedefleri belirlenir ve bütçeyi ve çalışma programını çerçevelemek için kaynak

belirlenmektedir. Binanın operasyonel sorunlarını anlamak için bazen yenileme öncesi inceleme yapılması gerekebilmektedir.

2. Enerji denetimi ve performans değerlendirmesi: Bu aşamada binanın enerji verileri analiz edilir, bina enerji kullanımı ölçülür, enerji kaybının olduğu alanlar belirlenir ve maliyet gerektirmeyen ve düşük maliyetli enerji tasarrufu önlemleri önerilmektedir. Bina enerji kıyaslaması seçilmiş performans göstergeleri veya yeşil bina derecelendirme sistemleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir.
3. Güçlendirme seçeneklerinin belirlenmesi: Bu aşamada farklı güçlendirme alternatiflerinin performansı enerji ve ekonomik analiz ve risk değerlendirmesi kullanılarak niceliksel olarak değerlendirilebilmektedir. Enerji ile ilgili ve ilgili olmayan faktörler güçlendirme alternatifleri için önceliklendirmeye olanak tanımaktadır.
4. Saha uygulaması ve devreye alma: Bu aşamada güçlendirme çözümü uygulanır. Daha sonra binanın güvenliğinin sağlanması için güçlendirme çözümünün test edilmesi ve devreye alınması gerçekleştirilir ve servis sistemleri optimum şekilde çalışmaktadır.
5. Enerji tasarrufunun doğrulanması ve doğrulanması: Bu aşamada standart ölçüm ve enerji tasarrufunu doğrulamak için doğrulama yöntemleri kullanılmaktadır. Kullanım sonrası anketi yapılabilir ki bu anket bina sahibi ve sakinlerinin memnuniyetini analiz etmek için yapılmıştır (AEPCA, 2004; EVO, 2007; Ma ve diğerleri, 2012).

2.3.1. Enerji etkin sistemler

Binaların enerji verimliliğini sağlamak, iç ve dış ortam arasındaki ısı transferini önlemek, ısı kazanımını en üst düzeye çıkarmak ve aynı zamanda insanların konfor ihtiyaçlarını karşılamak anlamına gelmektedir. Dış hava koşulları, özellikle hava sıcaklığı ve ısıtma dönemi boyunca mevcut güneş ışınımı, tek veya kompozit bina yerleşiminin inşaat malzemelerinin seçimi, uygulama tekniklerinin seçimi ve sistemin ayrıntılarına göre tasarımı ve hazırlanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Enerji verimli bir bina çok çeşitli yerel koşullara bağlıdır. Yapı malzemelerinin inşaatın yapıldığı lokasyona yakın yerde çıkarılması, taşınması, işlenmesi ve kullanılması, bölgesel malzemelerin pazar değeri ve kullanıcı beklentileri bu koşullar için arasında yer alan ve sıklıkla gözden kaçırılan bazı bileşenlerdir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2013).

Tasarım, enerji etkin bir bina için yapılması gerekenlerin belki de en önemlilerinden biridir. Enerji tasarrufu sağlayan bir bina tasarımı yapmak, tasarımın her aşamasında birçok işveren,

belediye, müşteri, finansman sağlayıcıları, mimarlar, mühendisler, müteahhit ve hatta son kullanıcı) sürece dinamik bir şekilde katılımı ve çalışması gerekmektedir. Enerji etkin binalar yaratmak için en popüler yollardan biri bütünlüklük bina tasarım yaklaşımıdır. Bu yaklaşımla, tüm ilgili paydaşlar karar alma süreçlerine ve inşaat başlamadan önce inşaatla dahil edilmekte bütüncül bina enerji performans simülasyon teknikleri kullanılarak yapıların tasarımı ve geliştirilmesi maliyetleri yönetmek ve optimize etmek önemli bir aşamadır. Bu yaklaşım, tasarım süreci boyunca önceki aşamalar yeniden gözden geçirilir ve seçenekler tasarlanır ve yöntemler seçilmektedir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, 2016).

Mikroklima

Bir yapıyı çevreleyen fiziksel elemanların sağladığı koşullar mikro iklimi oluşturmaktadır. Mikro iklim; bitki örtüsü, toprak koşulları, su kütleleri, bitişik binaların karşılıklı gölgelemesi ve yerel kirliliğe maruz kalma gibi faktörlerden etkilenmektedir. Sıcak iklimlerde projede uygun çevre düzenlemesi yoluyla mikro iklimi optimize edebilmektedir. Bu, nemi tutmak ve gölgelemeyi kolaylaştırmak için yeterli bitki örtüsü şeritlerine veya su kütlelerine sahip asfaltsız alanları içermektedir (Mehaoued, 2019). Tasarım ve peyzaj ekipleri, mevsimsel hava akışını ve güneş ışığı düzenlerini gözlemleyerek ve bitki örtüsünü buna göre ayarlayarak mikro iklimi daha da iyileştirebilmektedir (Resim 2.4). Örneğin, kuzey yarımkürede sıcak iklime sahip binaların istenmeyen öğleden sonra güneşinin etkilerini azaltmak için güney cephesi boyunca büyük ağaçlar dikilmesi gerekmektedir. Daha soğuk iklimlerde mikro iklimler güneş ışıınının bina cephelerine yansımalarını artırabilir. Ancak sıcak iklimlerde o kadar etkili değildir. Ancak günün belirli saatlerinde bitişik mikro iklim elemanlarının (kaldırımlar veya ortak duvarlar gibi) termal kütlesini radyant ısı olarak kullanılabilir (Öner, 2022). Pasif mikroiklim önlemleri proje ekibi tarafından kolaylıkla uygulanabilmektedir. Ancak yoğun nüfuslu kentsel topluluklarda mekansal kısıtlamalar zorlayıcı olabilmektedir. Aynı zamanda mikro iklim sık sık bakım gerektirmektedir: bitkilerin sulanması, ağaçların budanması, havuzların temizlenmesi gibi işletme ihtiyaçları bulunmaktadır. Mikroklima düzeyinde pasif önlemleri uygularken, bir peyzaj stratejisi seçmeden önce yerel bitki türleri hakkında bölgesel uzmanlara danışmak önemlidir. Genel olarak, pasif mikro iklime dayalı önlemler, aktif soğutma ihtiyacını azaltmaya ve binaları karbondan arındırmaya yardımcı olabilmektir (BioTr.org).



Resim 2.4. Mikroklima için yapı çevresinde zengin doğal faktörlerin kullanımına örnek (URL-9)

Kütle hareketi

Binanın ana eksenini, binanın kuzeye göre yönünü tanımlamaktadır. Yerel iklime ve mikro iklime bağlı olarak yönlendirme, sırasıyla gün ışığını ve doğal havalandırmayı desteklemek için güneş ışığını ve rüzgar girişini teşvik edecek şekilde optimize edilebilir. Tasarımcılar, binanın en iyi yönelimini belirlemek için mevsimsel ve yıllık güneş haritalarını (gölgeleştirmeli) ve rüzgar grafiklerini (rüzgar yönü ve kuvvetiyle birlikte) analiz etmelidir. Genel bir kural olarak tasarımcılar, yaz güneşinin etkilerini en aza indirmeye ve kış güneşinin etkilerini en üst düzeye çıkarmaya öncelik vermelidir. Benzer şekilde, yaz aylarında ekipler sabah ve akşam saatlerinde binaya hava akışını artırmaya öncelik vermeli, kış aylarında ise öğleden sonraları iç mekanda hava akışına izin vermeye öncelik vermelidir (Propm, 2024). Bina yönelimi, farklı iklimlerde proje ekiplerinin kullanabileceği en uygun maliyetli ve etkili pasif tasarım stratejilerinden biridir. Bu önlemin birkaç dezavantajından biri, optimize edilmiş bina ekseninin mevcut saha geometrisiyle eşleşmemesidir. Bir binanın yönelimini optimize etmek, tasarımcıların özel araçlar ve konu uzmanlarının desteğini kullanarak iklim faktörlerini ve bina işlevselliğini dikkatli bir şekilde incelemesini gerektirir. Genel olarak, yöne dayalı pasif önlemler, aktif aydınlatma, soğutma, ısıtma ve havalandırma ihtiyacını azaltmaya yardımcı olarak binaların karbonsuzlaşmasına olanak sağlayabilmektedir (Turgutlugil, 2024).

Çatı

Çatı, bir binanın üst yüzeyidir ve güneş ışığının yoğun olduğu saatlerde güneş ışığının etkilerine doğrudan maruz kalmaktadır. Güneş ışıınımını engeller ve doğrudan altındaki zeminin termal ortamı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Sıcak iklimlerde proje ekipleri güneş ısınısını dışarıda tutacak çatılar tasarlayabilmektedir (Pacheco ve diğerleri, 2012). Bu ya radyasyonu yansıtarak ya da malzemenin doğal termal kütlesinden yararlanarak malzeme içindeki ısı akışını azaltarak başarılabilmektedir. Çatı yüzeyinin kiremit, yansıtıcı boya veya yüksek emisyonlu özel kaplamalarla kaplanmasıyla yüksek yansıtma elde edilmektedir. Yalıtım, hava boşlukları veya diğer inşaa yöntemleriyle yüksek termal kütle elde edilir (Ganguly ve diğerleri, 2016). Alternatif olarak proje ekipleri, çatıda kaplama malzemesinden, bitki örtüsünden veya yüksek emisyonlu malzemelerden yapılmış geçici yüzeylerle gölgeleyerek soğutma etkisini yeniden yaratabilir. Daha soğuk iklimlerde tasarımcılar, iç mekan ısısının çatıdan kaçışını sınırlamak için malzemelerin yalıtım özelliklerinden yararlanmaya öncelik vermelidir. Tasarım ekipleri, çatı kaplama malzemelerini ve stratejilerini, bunların yapısal özelliklerini, termal özelliklerini ve kimyasal özelliklerini iyi anlayarak bilinçli bir şekilde seçmelidir. Genel olarak pasif çatıya dayalı önlemler, ısıtma ve soğutma ihtiyacını azaltarak binaların karbon emisyonunu azaltabilmektedir. (Sadineni, 2011)

Cephe

Çatılar gibi cepheler de güneş ışıınımına karşı doğal bir bariyer oluşturmaktadır ve iç mekan termal konforunu arttırmada önemli bir rol oynamaktadır. Proje ekipleri, güneş ışıınımının cephe üzerindeki etkilerini en aza indirmek ve bina sakinlerinin konforunu artırmak için pasif stratejiler kullanabilir (Günay, 2020). Bu stratejileri etkili bir şekilde uygulamak için güneşin konumunu ve bulunduğunuz yerin mikro iklimini bilmek önemlidir. Tasarım ekibi, güneş ışıınımı açılarını karşılamak için panjurlar, çıkıntılar ve hareketli panjurlar gibi yatay/dikey gölgeleme cihazlarını kullanabilir. Alternatif olarak ekipler morsalkım veya sarmaşık gibi tırmanıcı/saksı bitkileri kurabilir. Bu strateji, cephenin termal özelliklerini doğrudan etkileyerek yazın soğutmaya, kışın ısıtmaya olanak tanımaktadır. Genel olarak cephe bazlı pasif önlemler, aktif ısıtma, soğutma ve aydınlatma ihtiyacını azaltarak binaları karbondan arındırabilir (Ma ve diğerleri, 2024).

Aktif sistemler

Aktif sistemler güneş enerjisi, PV, rüzgar enerjisi, biyokütle ve atık kullanımı, jeotermal enerji, yüksek verimli HVAC sistemleri ve gri suyun yeniden kullanımı olarak temel başlıklar altında incelenebilir.

Güneş enerjisi

Güneş ışığının yoğun olduğu bölgelerde güneş enerjisi çeşitli şekillerde elektrik üretimine yardımcı olmaktadır. Yöntemlerden biri güneş bacasıdır. Öncelikle kurak bölgeler için geçerli olan bu sistem, cam bir güneş kolektörü ile çevrelenmiş uzun bir sütundan oluşur. Aslında devasa bir güneş kolektörü veya sera ile çevrelenmiş bir bacadır. Hava, dairesel sera tarafından ısıtılır ve termal hızlandırıcı görevi gören bacadan çekilmektedir (İçel ve diğerleri, 2016).

Fotovoltaik panel

En güvenilir sistemlerden biri güneş ışınımını kullanılabilir güneş pillere dönüştürmektir. Fotovoltaik panelleri oluşturmak için kullanılan malzeme ışığa maruz kaldığında doğrudan elektrik akımı üretir. Silikon günümüzde cam gibi uygun bir ortam üzerine konulan yaygın PV malzemesidir. PV hücrelerinin dezavantajı, mevcut teknoloji seviyesiyle pahalı olmaları, birim alan başına nispeten düşük çıktı verebilmeleri ve yalnızca gündüz saatlerinde çalışabilmeleridir. Bu nedenle fotovoltaik, mevsimsel değişikliklerden dolayı tutarsızlığa maruz kalmaktadır. Sonuç olarak, uzun vadeli faydası vardır ve aynı zamanda kullanıcının fazlalığı şebekeye geri göndermesine ve dolayısıyla parasal geri ödeme kazanmasına olanak tanımaktadır (Irshad ve diğerleri, 2019).

Rüzgar enerjisi

Rüzgar enerjisi rüzgardan elde edilen yenilenebilir enerjidir. Rüzgar havanın yüksek atmosferik basınç bölgelerinden yakındaki daha düşük atmosfer basıncına doğru hareketidir. Pervanelerin dönmesi yoluyla rüzgar enerjisinden yararlanmak için rüzgarın hareketini arttıran rüzgar türbini veya değirmen adı verilen makineler kullanılır. Pervaneler, dakika başına dönüş hızını artıran ve kinetik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren bir jeneratöre bağlıdır (Ayhan, 2012).

Rüzgar enerjisi ile mimarinin başarılı entegrasyonunun bir örneği, Chicago'da HOK tarafından tasarlanan, kısmen kendi kendine çalışan bir otopark olan Greenway Self Park'tır (Resim 2.5). Bina, rüzgar köşesi boyunca çift sarmal bir sütun halinde dizilmiş dikey eksenli rüzgar türbinlerine ev sahipliği yapıyor ve binanın amacı, geceleri dış mekan aydınlatma maliyetini karşılamak için enerji üretmektir (HOK, 2024).



Resim 2.5. Greenway Self Park mimari örneği (HOK, 2024)

Biyokütle ve atık kullanımı

Biyokütle, yönetilen ormanlık alanlardan veya kereste fabrikalarından elde edilen bitki atıklarının enerji üretiminde kullanılmasını ifade eder (Işık, 2022). Bu organik materyaller, çeşitli dönüşüm yöntemleriyle enerjiye çevrilebilir. Biyokütle ve atıkları enerjiye dönüştürmenin üç temel yolu bulunmaktadır (Saidur ve diğerleri, 2011):

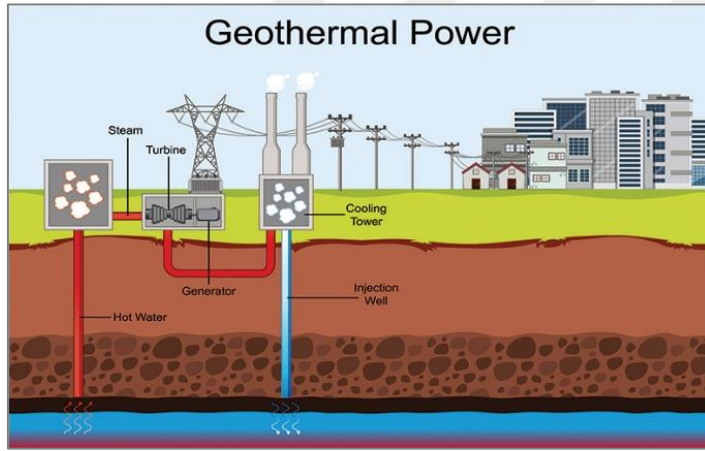
- **Doğrudan Yanma:** Biyokütlenin açık havada veya fazla oksijenin bulunduğu ortamlarda yakılmasıyla gerçekleşen termokimyasal bir süreçtir. Bu yöntemde, biyokütlerde fotosentez yoluyla depolanmış kimyasal enerji, yüksek sıcaklıkta (genellikle 800–1000°C aralığında) gaz hâline dönüştürülür. Bu süreçte fırınlar, buhar türbinleri veya kazan sistemleri kullanılmaktadır.
- **Biyogaza Dönüşüm:** Organik atıkların anaerobik (oksijensiz) ortamda mikroorganizmalar tarafından parçalanmasıyla metan gazı (biyogaz) üretilir. Bu yöntem, atık malzemelerin çöplük alanlarında çürütülmesiyle oluşan metanın toplanarak enerjiye dönüştürülmesini içerir. Bu süreç, atmosfere salındığında güçlü bir

sera gazı etkisi yaratan metanın kontrollü bir şekilde yakılmasını sağlayarak çevresel fayda sağlar.

- **Sıvı Yakıtı Dönüşüm:** Tarım ürünlerinin işlenerek taşınabilir sıvı yakıtlara dönüştürülmesini ifade eder. Bu yöntem, üretilen yakıtların ulaşımda kullanılabilirliği açısından önemli avantajlar sunar. Özellikle biyodizel ve biyoetanol gibi sıvı biyoyakıtlar, fosil yakıtların yerini alabilecek alternatiflerdir.

Jeotermal enerji

Jeotermal enerji sistemi binalarda, binayı toprağa bağlar ve ısıtma ve soğutma sağlamak için yer altı sıcaklığından yararlanmaktadır (Şekil 2.10). Atmosfer sıcaklığı mevsimlere göre sürekli değişmektedir. Tam tersi, toprağın yalıtım özelliğinden dolayı yer altı sıcaklığı için aynı durum geçerli değildir. Böylece Jeotermal Enerji, enerji elde etmek için bu sabit sıcaklıklardan yararlanır (Zhang ve diğerleri, 2017).



Şekil 2.10. Jeotermal enerji üretim ve dağıtım şeması (URL-2)

Yüksek verimli HVAC sistemleri

HVAC sistemi, bir alanda istenen çevresel konforu korumak için Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirmeye yönelik mekanik sistemleri ifade etmektedir. (Adatech, 2023)

Isı Geri Kazanımlı Havalandırma (HRV) ve Enerji Geri Kazanımlı Havalandırma (ERV), sürekli temiz hava sağlayan özel havalandırma sistemleridir. Bu işlem, mekanın

ısıtılmasında ve soğutulmasında enerji tasarrufu sağlar, böylece daha düşük enerji faturaları ve daha sağlıklı iç mekan havası elde edilmektedir. (URL-12).

Yerden Isıtma, borular aracılığıyla zemine ve daha sonra işgal edilen alana akan ısıtılmış bir sıvının iletim ve konveksiyon enerjisini kullanır. Bu stratejinin avantajları arasında daha düşük enerji tüketimi, daha sağlıklı iç hava değeri ve daha yüksek konfor düzeyi yer almaktadır. Enerji tüketimi için düzenlenmiş hedeflere uyan yüksek verimli cihazlar, günlük işler sırasında enerji tasarrufu sağlamak için evin içinde uygulanabilmektedir (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. Enerji verimliliği için aktif tasarım şeması (URL-10)

Gri suyun yeniden kullanımı

Gri su, binaların tuvaletlerinden gelen atık su hariç, bütün evsel atık sularını ifade etmektedir. Gri su kaynakları arasında lavabolar, duşlar, çamaşır ve bulaşık makineleri bulunmaktadır. Bu süreç, bu suyun yıkama, dış mekan sulama ve inşa edilmiş sulak alanlar için toplanmasını ve arıtılmasını içerir ve böylece genel içme (içilebilir) suya olan talebi azaltır. Gri suyun yeniden kullanımı ile drenaj suyu ısı geri kazanımı, optimum enerji ve kaynak verimliliği açısından faydalı olmaktadır (Walle ve diğerleri, 2023)

2.3.2. Enerji verimliliğinde çift cephe kullanımı

Bir binanın cephe olarak bilinen dış kısmı, iç ve dış ortamları birbirine bağlamada önemli bir rol oynar ve binanın içindeki sıcaklığı ve enerji kullanımını büyük ölçüde etkilemektedir. Yüksek performanslı cephe sistemleri, doğru malzemelerin seçilmesini ve uygulanmasını, en son teknolojileri, uygun detaylandırmayı ve belirli bağlam ve işleve uygun kurulumu

içermektedir. İyi tasarlanmış bir cephe, bir binayı yaz sıcağından koruyabilir, kışın ısı kaybını en aza indirebilir ve ısıtma, soğutma ve aydınlatma için doğal unsurlardan yararlanabilmektedir. Son zamanlarda bina cepheleri, özellikle de cam sistemleri, enerji verimliliğini artırma ve binaların çevre üzerindeki etkilerini azaltma yetenekleri nedeniyle geniş çapta araştırılmış ve geliştirilmiştir (Kamal, 2020).

Çift katmanlı bir cephe (DSF), orijinal olarak Avrupa ülkelerinin soğuk iklimleri için tasarlanan ve yirmi birinci yüzyılın başında kayda değer bir başarıya ulaşan çok katmanlı bir kaplamadır (Nguyen, 2020). Geçtiğimiz on yılda, teknolojiye farklı varyasyonlar içeren çift katmanlı cephelere sahip birçok bina inşa edilmiştir (Poirazis, 2006; Gratia, 2004); Balocco, 2006). Zaman içindeki performanslarını değerlendirmek amacıyla, bu tesislerin uzun vadeli performansını inceleyen bir akademik araştırma alanı ortaya çıkmıştır. O zamandan bu yana, gerçek hayatta beklenmedik sorunları önlemek için sert iklime sahip ülkeler, bilgisayar simülasyonları kullanarak DSF'leri uygulama fikrini araştırmaktadır. Bina kabuğundan kaynaklanan ısı kazanımı veya kaybı, iklimlendirme sistemleri, iç mekan ısıtması ve havalandırma tarafından kullanılan toplam enerjinin yüzde 20 ile 50'sine karşılık gelmektedir (Fang ve Cho, 2019).

Yıllar süren araştırmalar ve devam eden iyileştirmeler sonucunda DSF sistemi bugünkü haline gelmiş ve şeffaf ve cam mimari uygulamalarıyla ilişkilendirilir hale gelmiştir. Aynı zamanda enerji tüketimini ve yaşam döngüsü maliyetlerini azaltmak için başarılı bir çevresel tasarım yaklaşımına da dönüşmektedir (Hay ve Ostertag, 2018). Rüzgar hızını ve gürültüyü azaltan çağdaş bina uygulamalarında DSF'ler giderek daha önemli hale gelmektedir. Yaz aylarında çift cephelerin aşırı ısınması kaçınılmaz olsa da gölgeleme cihazları, iyi tasarlanmış açıklıklar ve yüzeyler arasında optimize edilmiş hava boşluğu ile bu durum azaltılabilmektedir (Bielek ve diğerleri, 2019).

Soğutma ve ısıtma dönemlerinde DSF farklı şekilde çalışmaktadır. Sıcak iklimlerde, ısı boşlukta birikir ve boşluk açıklıklarından verilen hava yoluyla kısmen bitişik alana aktarılmaktadır. Yığın etkisi aşırı ısıyı binanın dışına taşımaktadır. Hava yoğunluğundaki farklılıklar, daha sıcak havayı serbest bırakan dairesel bir akışa neden olur, DSF'nin iç katmanının sıcaklığı düşer ve iç mekana aktarılan ısı miktarı azalmaktadır. Son olarak, hava boşluğunda sıcaklık arttıkça basınç yukarıya doğru salınır, hafif bir esinti yaratılır ve ısı

kazancı en aza indirilir, böylece işgal edilen alanın soğutma talebi azalmaktadır (Ahriz ve diğerleri, 2022).

DSF'lerin termal performansı büyük ölçüde hava koşullarına bağlıdır; ancak çeşitli modellerin ve bunların çeşitli iklimlerdeki değişkenlerinin testleri, DSF'lerin potansiyel olarak enerji performansını artırabileceğini göstermektedir. İnşaat sektörünün enerji tüketimini ve çevresel etkisini azaltmanın temel amacı mevcut kamu binalarının enerji verimliliğini arttırmaktır (Liu ve diğerleri, 2022). Ancak, farklı cephe yönlerinde kullanıldığında sıcak iklimlerde DSF'nin hangi konfigürasyonunun en iyi güçlendirmeyi sağlayabileceği açık değildir. Bina enerji performansını en üst düzeye çıkarmak için uygun DSF kurulumuyla en iyi durum çözümünün belirlenmesi mevcut çalışmanın amacıdır. Daha sıcak iklimlerdeki bazı uygulamalar incelenmiş ve olumsuz performans ortaya çıkarmıştır, ancak bu çalışmalar aynı zamanda tasarım ve işletimin binaların genel termal performansını nasıl etkilediğini de tespit etmiştir (Aldawoud ve diğerleri, 2021). Ayrıca araştırmacılar tarafından avantaj ve dezavantajları incelenmiştir.

DSF'ler günümüz toplumunda oldukça değer verilen artan cephe şeffaflığını sağlayabilir, ancak aynı zamanda geleneksel mimari unsurları değiştirerek, hareket ettirerek ve ayırarak mimari tasarım için yeni fırsatlar da sunabilirler (Trubiano, 2013). Bir DSF'nin termal performansı büyük ölçüde tasarımına ve iklim koşulları gibi yerel bağlama bağlıdır (Abtar, 2021).

2.4. Enerji Etkin Yapı Tasarımında Kullanılan Sayısal Teknolojiler

BIM (Building Information Modeling- Yapı Bilgi Modellemesi) yazılımı; binaların ve altyapıların planlanması, tasarımı, inşaatı, işletilmesi ve yönetimi için sayısal teknolojilere dayalı model tabanlı bir süreç sunmaktadır. Bu yazılımlar, yapıların inşa edilmeden önce, inşaat sürecinde ve sonrasında değerlendirilmesi amacıyla gerekli tüm verileri dijital ortamda toplayarak fiziksel dünyanın sayısal bir temsiline olanak tanımaktadır.

BuildingSMART International (BSI)'a göre, BIM yazılımları iki ana grupta sınıflandırılabilir:

1. BIM modeli oluşturabilen ve dışa aktarabilen programlar (BIM yazar yazılımı veya BIM Authoring Software- BIM AS),
2. Sadece BIM modelini ie aktarabilen, görüntüleyebilen ve sorgulayabilen programlar. Bu gruba BIM görüntüleyicileri, model denetleyicileri, inşaat sıralarının simülasyonunu sağlayan 4D ve 5D BIM araçları, saha yönetimi için kullanılan işleme yazılımları ve aıkBIM projelerinde iş birliğini destekleyen veri sunucuları dahildir (Building Smart International, 2024).

BIM modeli teoride tüm proje bilgilerini tek bir dosyada barındırır da pratikte teknolojik sınırlamalar nedeniyle projeler farklı disiplinlere odaklanan birçok alt modelin birleşimiyle oluşmaktadır. Bu alt modeller, BIM yazar yazılımı ile hazırlanır ve ardından BIM işleme veya inceleme araçları aracılığıyla entegre edilerek “birleşik model” (*federated model*) oluşturulmaktadır. Bu birleşik model, projenin merkezi bilgi deposu olarak işlev görmektedir. Örneğin, tipik bir projede birleşik model; mimari, yapısal ve mekanik sistemleri kapsayan alt modellerden meydana gelmektedir (URL20).

BIM tabanlı uygulamalarda yer almak isteyen profesyonellerin, geleneksel CAD yazılımlarının ötesinde yeni araçlara aşına olması gerekmektedir. Bu araçlar; modelleri görselleştirmeyi ve açıklama eklemeyi sağlayan BIM görüntüleyicileri, model tutarlılığı ve çakışma analizi için kullanılan BIM denetleyicileri, zaman ve maliyet entegrasyonu için 4D/5D simülasyonları ve tüm proje ekibinin senkronize çalışmasını destekleyen BIM proje alanlarını içermektedir (URL20).

Piyasada, mimari, yapısal ya da altyapı odaklı birçok izelge 2.2’de sunulan BIM yazılımı mevcuttur ve bunların çoğu farklı işletim sistemleri (zellikle Windows) zerinde çalışmaktadır. Yazılım seçimi, proje gereksinimleri, disiplinler arası iş akışları ve standardizasyon düzeyine göre değişmektedir. BIM yazılımlarının seçiminde, yazılımın Endüstri Vakfı (IFC) standardına uygunluğu da dikkate alınmalıdır (Building Smart International, 2024).

Çizelge 2.2. Bina modelleme yazılımları

Geliştirici	Yazılım	Kategori
Autodesk	Revit	Mimari, Yapı, Bina Servisleri
	Civil 3D	Altyapı
	Infraworks	Altyapı
	Advance Steel	Çelik Yapı
Graphisoft	Archicad	Mimari, Yapı, Bina Servisleri
Bentley Systems	OpenBuilding Designer	Mimari, Yapı, Bina Servisleri
Vectorworks	Vectorworks Architect	Mimari
ALLPLAN	Allplan Mimari	Mimari
	Allplan Mühendislik	Yapı
Tekla	Tekla Yapı	Yapı
	Tekla İnşaat	Altyapı
Cadwork	Cadwork 3D	Altyapı

BIM (Yapı Bilgi Modellemesi) yazılımları, kullanıcıların duvarlar, zeminler, çatılar ve kapılar gibi gerçek yapı elemanlarını kullanarak sanal bina modelleri oluşturmalarına imkan tanımaktadır. Bu yazılımlar, parametrik verilerle tanımlanmış BIM nesneleri aracılığıyla, pencereler ve mobilyalar gibi bileşenlerin teknik özelliklerine göre dokümantasyon ve çizimlerin entegre bir şekilde yönetilmesini sağlamaktadır. Kullanıcılar, önceden paketlenmiş ve özelleştirilebilir nesnelerle çalışabilir veya kendi nesnelerini oluşturabilmektedir. Planlar, kesitler, görünüşler, malzeme listeleri ve diğer belgeler, 3D model üzerinden doğrudan elde edilir ve modelde yapılan değişikliklerle otomatik olarak güncellenmektedir. Ayrıca, BIM yazılımları 2D ve 3D gösterimlerin içe ve dışa aktarılmasına olanak tanır; perspektif ve aksonometrik görünüm, elle çizime gerek kalmadan kolaylıkla oluşturulabilmektedir. Gelişmiş görselleştirme için entegre işleme motorları (örneğin, Archicad için CineRender veya Autodesk Raytracer) ve V-Ray veya Enscape gibi eklentiler kullanılabilmektedir (URL19).

Tesis mühendisliğiyle ilgili olarak MEP BIM yazılımı, kullanıcıların tasarım ve değerlendirme yapmasına yardımcı olacak bir dizi araç sunmaktadır. Mekanik, elektrik ve hidrolik sistemlerde hızlı ve doğru bir şekilde miktarların doğru tahmin edilmesine ve elemanlar veya çalışma aşamaları arasındaki çarpışmaları önceden önleyerek kurulum ve döşeme aşamasındaki riskleri azaltmaktadır (URL20).

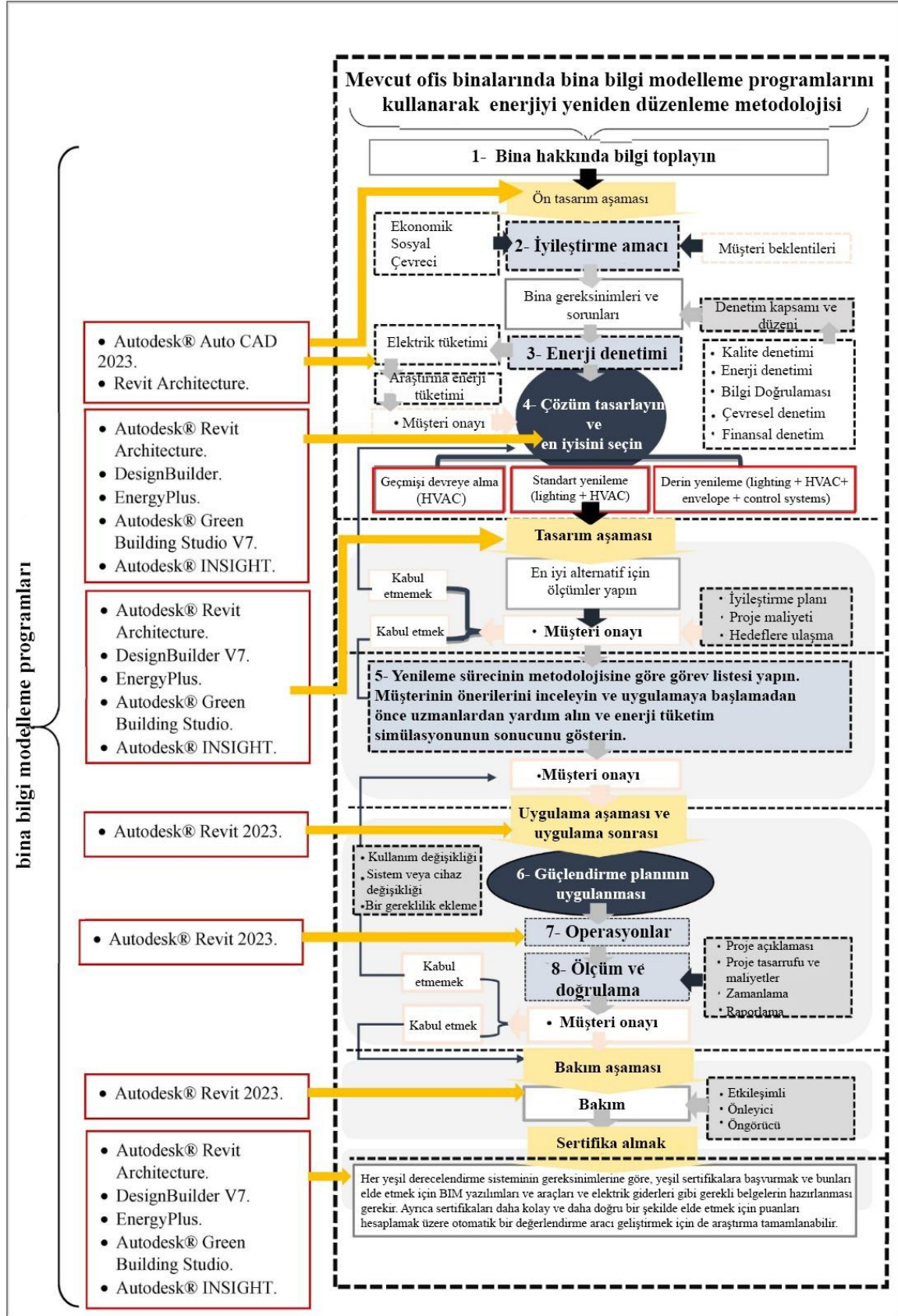
Piyasada en çok kullanılan ve Çizelge 2.3'te sunulan BIM AS (Yapı Bilgi Modellemesi) yazılımlarından biri, Autodesk tarafından 2000 yılında oluşturulan Autodesk Revit'tir. 1982'de geliştirilmeye başlanan ve 2002'de Autodesk tarafından satın alınan ArchiCad, Nemetschek grubuna ait Macar şirketi Graphisoft tarafından pazarlanıyordu. Her iki yazılım

da, birlikte çalışabilirlik geliştirmeyi amaçlayan sürekli yeni sürümlerle büyük ölçüde gelişmiştir. Bu yazılımlar, yürütme hızı, bulut kapasitesi ve tasarım işlevleriyle öne çıkmaktadır. BIM AS yazılımları, Dynamo ve Grasshopper gibi parametrik modelleme araçlarıyla entegre edilerek, tekrarlanan görevlerin otomatikleştirilmesi, modeldeki bilgilerin yönetilmesi ve karmaşık geometrilerin oluşturulmasını desteklemektedir. Ayrıca, GenerativeComponents ve Marionette gibi araçlar ile verimli bir şekilde çalışılabilmektedir. Rafineri gibi üretken yazılım tasarımı, tasarım seçeneklerinin optimizasyonunu ve alternatiflerin otomatik olarak oluşturulmasını sağlamaktadır. BIM AS ortamındaki 3D BIM modelleri, bina performansı simülasyonları (DesignBuilder, Openstudio, Ladybug Tools, IES-VE) için yazılımlara aktarılabilir. LCA (Life Cycle Assessment) veya karbon hesaplamaları için (Tally, openLCA, EC3) de eklentiler olarak kullanılabilir. Görselleştirme ve işbirliğini geliştirmek için 3D BIM modelleri, Enscape, Lumion, Unity Reflect, Twinmotion gibi yazılımlara aktarılabilir ve gerçek zamanlı görselleştirme sağlanabilir. Genişletilmiş gerçeklik (XR) uygulamaları ise Fuzor, BimX, IrisVR, InsiteVR, The Wild gibi yazılımlar tarafından desteklenmektedir. BIM Görüntüleyicileri, Bentley Navigator, Solibri Model Viewer, Tekla BIMsight gibi araçlarla da desteklenmektedir.

IFC dosyaları veya diğer dosya formatlarında içe aktarılan 3D BIM modellerini görüntülenir ve analiz edilebilir. Bu süreçte tüm teknik modeller—mimarlar, yapı mühendisleri veya diğer mühendislik profesyonelleri tarafından oluşturuldukları belirli CAD programından bağımsız olarak tek bir tam modelde kombinasyon üretilenler birleştirilebilir. BIM model görüntüleyicileri herhangi bir orijinal yazılıma ihtiyaç duymadan çalışmaktadır. Zanaatkarlar gibi müşterilerin yanı sıra proje ekibi dışındaki paydaşları da BIM planlama sürecine dahil edin, inşaat şirketleri ve prefabrik eleman üreticileri de kullanabilir. Kullanıcılar bilgisayarlarında ve hatta mobil cihazlarında şunları yapabilirler: 3D BIM modelini farklı perspektiflerden görüntüleyebilir ve değiştirebilir veya sanal bir tur yapabilir, herhangi bir (kesitsel) oluşturun görünümünü kontrol edebilir, ölçümleri kontrol edebilir olmasıyla planlamacılar uygun programlardır (BIMvision, (t.y.)). Bu programlar için kullanılan akış diyagramı Şekil 2.12’de gösterilmektedir.

Çizelge 2.3. BIM denetleyici ve BIM proje yazılımları

BIM Denetleyici		BIM proje yazılımları	
Geliştirici	Ürün	Geliştirici	Ürün
Datacomp Sp. Z.o.o.	BIM Vision	Autodesk	BIM360
Autodesk	Naviswork	Oracle	Acanex
Bentley Systems	Bentley Navigator	ALLPLAN	Allplan Bimplus
ALLPLAN	Allplan Bimplus	Invicara	BIM Assure
Tekla	Tekla BIMSight	Asite Solutions	Adoddle
Vizerra SA	Revizto	Catenda	Bimsync
BIM Track	BIM Track	Trimble	Trimble Connect
Solibri	Solibri Model Checker	Dalux	Dalux box
Bexel Consulting	Bexel Manager	Bentley	Project Wise
Trimble	Quadri	Graphisoft	BIM Cloud
Datacubist Oy	Simplebim		
Graphisoft	BIMx		
BIM Yapı Dizisi (4D / 5D)		BIM İşleme Aracı	
Bentley	Syncro	Rendra AS	Stream BIM
Autodesk	Naviswork	Dalux	Dalux Field
RIB Software AG	RIB two	Trimble	Site Vision
Bexel Consulting	Bexel Manager		



Şekil 2.12. Güçlendirme yoluyla ofis binası için optimum enerji çözümlerinde kullanılan programlar (Christine ve diğerleri, 2023)

2.4.1. Mevcut yapılarda BIM kullanımı ve retrofit bilgi teknolojileri

Yenileme ve iyileştirme projeleri, mevcut binaların yeni işlevsellik ve performans gerekliliklerini karşılayacak şekilde tasarlanmasını ve uygulanmasını içermektedir. Bu süreçte, Yapı Bilgi Modellemesi (BIM), mevcut yapıların modernleştirilmesi ve yeniden kullanılması için kritik bir araçtır. BIM, mimarlara, mühendislere, yüklenicilere ve diğer paydaşlara birçok avantaj sunmaktadır (Gökgur, 2015). BIM'in yenileme ve güçlendirme projelerindeki rolü:

- **Detaylı ve Doğru Modeller Oluşturma:** BIM, mevcut tesislerin ayrıntılı, doğru ve kapsamlı 3D modellerini oluşturarak, önerilen değişikliklerin potansiyel etkilerini değerlendirmeyi kolaylaştırmaktadır.
- **Farklı Senaryoları Simüle Etme:** BIM, çeşitli senaryoları simüle etmek ve farklı çözümlerin etkinliğini değerlendirmek için kullanılabilir; böylece ekiplerin bilinçli kararlar almasına ve tasarım hatalarının azaltılmasına olanak sağlamaktadır.
- **İşbirliği ve İletişimi Geliştirme:** BIM, paydaşlar arasındaki işbirliğini ve iletişimi teşvik ederek ekiplerin gerçek zamanlı olarak bilgi paylaşmasına ve geri bildirim sağlamasına olanak tanımaktadır.
- **Enerji Verimliliği ve Sürdürülebilirliği Değerlendirme:** BIM, ekiplerin farklı sistem ve bileşenlerin performansını görselleştirmesine ve simüle etmesine olanak tanıyarak, bunların binanın enerji verimliliği, sürdürülebilirliği ve bina sakinlerinin konforu üzerindeki etkilerini değerlendirmeyi kolaylaştırmaktadır.
- **Maliyet ve Zaman Tasarrufu Sağlama:** BIM, ekiplerin israfı azaltmasına, üretkenliği artırmasına ve kaynakları optimize etmesine yardımcı olarak önemli miktarda maliyet ve zaman tasarrufu sağlamaktadır.

Mevcut binalar için BIM modelleme yöntemleri ve teknolojileri:

- **Lazer Tarama ve Nokta Bulutu Verileri:** Lazer tarama, mevcut binaların doğru ölçümlerini yakalayarak BIM modelleri için temel görevi gören nokta bulutu verileri üretmektedir.
- **Fotogrametri ve Görüntü Tabanlı Modelleme:** Fotogrametri, üç boyutlu geometriyi yeniden oluşturmak için fotoğraflardan yararlanır. Özellikle lazer taramanın mümkün olmadığı durumlarda kullanışlıdır.

- 3D Modelleme ve Parametrik Tasarım: 3D modelleme yazılımı, mevcut binaların doğru temsillerinin oluşturulmasını sağlar. Parametrik tasarım, tasarım seçeneklerinin akıllıca değiştirilmesine ve araştırılmasına olanak tanımaktadır.
- Mevcut Bina Verilerinin Entegrasyonu: Uygulama çizimleri ve belgeler gibi mevcut bina verilerinin entegre edilmesi, BIM modellerinin doğruluğunu ve eksiksizliğini artırmaktadır.

Sonuç olarak, BIM, yenileme ve güçlendirme projelerinde verimliliği artıran, hataları azaltan ve maliyetleri düşüren güçlü bir araçtır. Mevcut yapıların modernleştirilmesi ve yeniden kullanılması süreçlerinde BIM'in etkin kullanımı, projelerin başarısını önemli ölçüde artırabilmektedir.

2.4.2. Bina veri toplama teknikleri

BIM, yenileme ve güçlendirme projeleri için pek çok fayda sunmasına rağmen, özellikle bina veri toplama teknikleri açısından ele alınması gereken bazı zorluklar ve sınırlamalar da bulunmaktadır. BIM'in etkin olabilmesi, doğru ve güncel verilere dayanmaktadır. Ancak farklı kaynaklardan gelen verilerin yönetilmesi ve entegre edilmesi, özellikle eski veri ve belgelerin eksik veya güncel olmaması durumunda, yenileme projelerinde zorlayıcı olabilmektedir. Yenileme projelerinde mevcut yapı ve sistemler, BIM'in yaygın olarak kullanılmaya başlanmasından önce inşa edilmiş olabilir. Bu durum, doğru veri ve dokümantasyonun elde edilmesinin zor olabileceği anlamına gelir ve bu da BIM modellerinin doğruluğunu ve etkinliğini olumsuz etkileyebilmektedir. BIM, özel bir beceri seti gerektirdiğinden, tüm proje ekibi üyeleri, BIM'i etkin bir şekilde kullanabilmek için gerekli eğitim ve öğretime sahip olmayabilir. Bu durum, iletişim ve işbirliği sorunlarına yol açabilir ve BIM'in bir projedeki genel etkinliğini sınırlayabilmektedir (Joblot ve diğerleri, 2017).

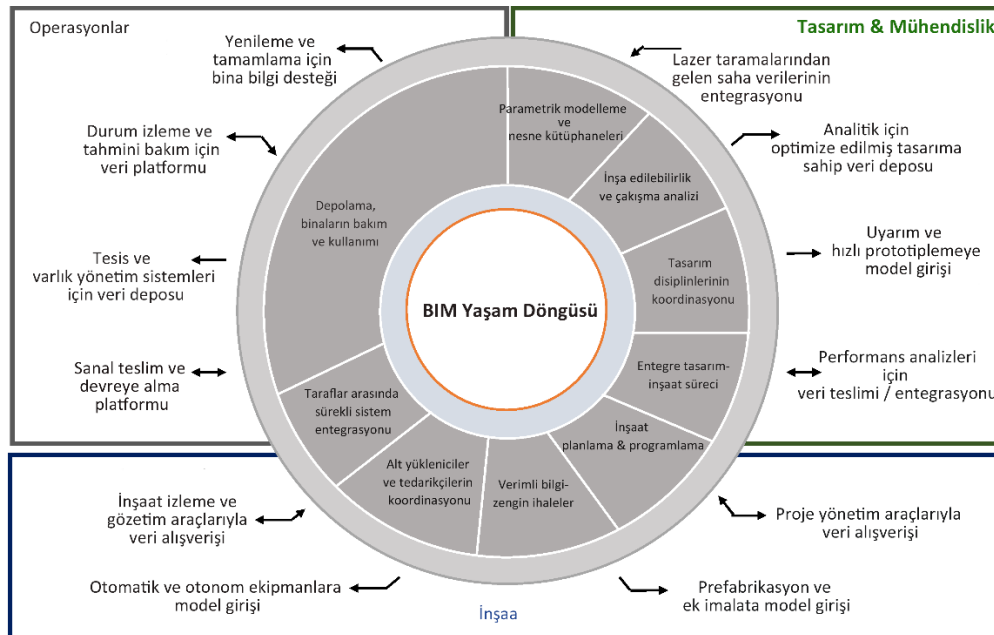
2.4.3. BIM ve avantajları

Mimarlık, mühendislik, inşaat alanlarında üretkenliğini artırmak ve küresel endüstrideki yeniliklere ayak uydurmak ve operasyon (AECO) sektörü dijitalleşmeyi tamamen benimsenmelidir ve yapı bilgi modellemesi (BIM) önemli bir bu dönüşümün ilk adımıdır. BIM, AECO profesyonellerine içgörü ve bilgi sağlayan akıllı, 3 boyutlu model tabanlı bir

süreçtir (Pacheco-Torgal ve diğerleri., 2017). Binaları ve altyapıyı daha verimli planlamak, tasarlamak, inşa etmek ve yönetmek için araçların başında BIM gelmektedir. Başarılı bir BIM sürecinde, binanın planlaması hakkında 3 boyutlu tasarım uygulamalarını kullanılır, bilgilerin doğru ve tutarlı bir şekilde paylaşılmasını sağlamak için maliyet, sürdürülebilirlik, operasyonlar ve bakım toplam varlıkların yaşam döngüleri tasarlanır. BIM, tasarım faaliyetlerini optimize edebilir ve otomatikleştirebilir, opsiyon belirleme ve karar almayı destekleyebilir (Şekil 2.13). BIM tasarımında:

- Analizler etkinleştirilmelidir,
- İnşa edilebilirliği doğrulanmalıdır,
- Proje ve yatırım planlamasını iyileştirilmelidir,
- Proje kontrolünü sağlanmalıdır,
- Tüm aşamaları ve son olarak önleyici ve kestirimci bakımı mümkün kılmak için proje devrine yönelik bilgiler depolanmalıdır,
- Diğer fonksiyonların yanı sıra bileşenlerinin nihai olarak kurtarılması gerekmektedir.

Bu nedenle BIM, AECO endüstrisinin dijital geçişi ve iş birliğini kolaylaştıran başvurulacak platform ve süreç olarak geniş çapta tanınmaktadır, verimliliği artırmakta ve maliyetleri azaltmaktadır (Boston Consulting, 2016).



Şekil 2.13. AECO değer zinciri boyunca BIM uygulaması (Boston Consulting, 2016)

BIM, prefabrikasyon, otomatik ekipman ve mobil uygulamalar gibi yeni teknolojileri destekler ve kullanıcıların gerçeklik yakalama, sanal ve karma gerçeklik gibi çok çeşitli entegre dijital teknolojilerden yararlanmasını, üretken tasarım ve dijital ikizleri desteklemektedir (Alizadehsalehi ve diğerleri, 2020; Khan ve diğerleri, 2021; Sacks ve diğerleri, 2020).

Tasarım ve mühendislik aşaması bilgisayar destekli tasarım (CAD) ve 2D ve 3D çizimlerin şu anda teknolojik ve süreçsel olarak hareket eden BIM'e en açık olan aşamadır. BIM'in parametrik modelleme yaklaşımı dijital bir 3D modeldeki her nesneye çeşitli bilgiler ekler ve tüm çizimlerin tutarlılığını garanti eder, raporlar ve veri arayüzlerini tasarlamaktadır. Tasarım ve mühendislik öğeleri genellikle dijital nesne kitaplıklarından kolaylıkla içe aktarılabilir (He ve diğerleri, 2021).

3B model doğrudan üreticiler tarafından hazırlanır ve spesifikasyonlara ve kod gerekliliklerine uygunluğu BIM ekipleri tarafından kontrol edilmektedir. Geometrik ve kurallara dayalı analizler, potansiyel tasarım çakışmalarını ve inşa edilebilirlik sorunlarını önceden tespit etmek için otomatikleştirilebilir, sahada maliyetli ve zaman alıcı düzeltmeler ve yeniden çalışmalar önlenmektedir. Farklı tasarım disiplinleri arasında bütünleşik iş akışları ve tasarım hatalarını daha da önleyebilir, tasarım ve mühendislik aşamalarını düzene sokarak herkesin çalışmasına olanak tanıyabilmektedir. Sorunları hızlı bir şekilde tanımlamak ve çözmek için aynı model ve verilerle çalışmaktadır. BIM tüm katılımcılar arasında hem tasarım hem de inşaat kalitesinin artırılmasının yanı sıra daha fazla içgörü sağlanması için bilgi alışverişini kolaylaştırmaktadır. BIM, tasarım ekiplerinin birden fazla ilgili tasarım seçeneği oluşturmasına yardımcı olmaktadır.

Değeri artıran mümkün olan en iyi çözümleri belirlemek için çeşitli BIM içgörü yetenekleriyle hızlı ve etkili bir şekilde analiz edilir ve tasarım süreci boyunca ve tamamlanan binanın performansına etkisi kıyaslanır. Son olarak BIM erkenden olanak sağlar kısaca inşaat düzeyinde planlama (metraj alımı dahil) ve proje tesliminin yeni, tasarla-inşaa et veya entegre proje teslimi gibi daha işbirlikçi biçimlerini desteklemektedir.

İnşaat aşamasında BIM, yüklenicilerin işleri ve faaliyetlerini zaman açısından simüle etmelerine ve planlamalarına olanak tanımaktadır. Alan (BIM 4D) ve maliyetler (BIM 5D), çeşitli satın alma, kaynak ve mekansal senaryolar oluşturup karşılaştırarak veya diğer

kısıtlamalar, dolayısıyla yalın inşaat yaklaşımlarının temelini oluşturmaktadır. BIM metodolojisi aslında atıkları ortadan kaldırarak, maliyetleri azaltarak, iyileştirmeler yaparak inşaat sektörünün ekip üretkenliği ve olumlu proje sonuçları açısından yalın inşaat ilkelerine ulaşmasına yardımcı olmaktadır (Panteli ve diğerleri, 2020).

BIM ile ihale süreçleri bina modelinden elde edilen ve mevcut olan çok sayıda kesin bilgi sayesinde daha doğru ve şeffaf potansiyel teklif sahiplerine BIM veri paylaşımı, alt yüklenicilerin ve tedarikçilerin kapsam ve tasarım hakkında bilgilendirilmesine olanak tanımaktadır. Gerçek zamanlı olarak değişir, böylece bilgi taleplerinin sayısı azalmaktadır. Son olarak BIM, tüm tarafların sistemler tasarımlara uygundur. Ayrıca Blockchain tabanlı teknolojiler daha güvenli ve güvenilir hale getirmek için BIM sürecine de uygulanabilmektedir. Örneğin blockchain sertifikalı bir BIM modeli dayanıklıdır ve bu nedenle ödemelerin göreve göre otomatik olarak yapıldığı akıllı inşaat sözleşmelerini uygulamak için kullanılabilmektedir (Eleftheriadis ve diğerleri, 2017).

Bina işletimi ve yönetimi aşamasında, BIM'in hem merkezi bir parçası olarak hem de çok sayıda potansiyel uygulaması vardır. Entegre bir tesis yönetim sistemi veya ikincisi için ilgili bir veri deposu olarak, ancak bunlar henüz geniş çapta değildir. BIM, tesis yöneticilerinin mekânsal, teknik, garanti, bakım ve yedek parça verilerini tespit etmek ve bu sayede devreye alma, işletme ve bakımlarını yürütmek için faaliyetlerini daha verimli hale getirmektedir. Büyük onarımların, yenilemelerin ve genişletmelerin planlanması, güncellemelerden büyük ölçüde yararlanılmaktadır.

Binanın yaşam döngüsü üzerindeki bu temel faydalara ek olarak BIM, çok sayıda dijital teknolojiyle kolayca arayüz oluşturmaktadır. Örneğin tadilatla projeler BIM, 3D lazer taramalardan veri alır ve işler; gelişmiş özellikler için BIM modelinden giriş verileri gereklidir. Prefabrikasyon uygulamaları; otomatik saha ekipmanı, ölçüm sensörleri ve mobil cihazlar BIM bilgilerine bağlanmaktadır. Büyük veri yöntemlerinin tarihsel verilerden bilgi işlemek ve çıkarmak için kullanılması BIM verileri de hızla büyümekte ve sensörlerin kullanımıyla birleştirildiğinde gerçek bina performansını önemli ölçüde artırabilmektedir (Boston Consulting Group, 2016; ECSO, 2021).

Çok sayıda harici veri BIM'e entegre edilebilir ve çeşitli yazılım uygulamalarına ve veri sistemlerine uygulanabilmektedir. AECO'da analitik, simülasyon ve değer mühendisliği

yazılımları da dahil olmak üzere dijitalleşmenin merkezinde yer almaktadır. Tasarım ve mühendislik aşaması, inşaat aşamasında proje yönetimi araçları ve tesis ve varlık yönetimi operasyon aşamasındaki sistemlere örnekler verilebilmektedir (Gao ve diğerleri, 2019; Kamela ve Memari, 2019).

2.5. BIM Ortamında Enerji Verimlilik Analizleri

BIM'in benimsenmesi, özellikle endüstriyel tesislerin tasarımı, planlanması, optimizasyonu ve yönetimi için oldukça faydalıdır. Endüstriyel tesisler, değişen iç iklim gereksinimleri, dikey ve yatay sirkülasyon ile erişilebilirlik düzenlemeleri (örneğin, çalışanlara ve müşterilere yönelik) ve son olarak çeşitli etkileşimler nedeniyle tasarım açısından zorlu bina tipolojilerindendir. Bu tesislerdeki bina ve yapısal bileşenlerin, HVAC sistemleri ve makine zemin düzeni gibi çeşitli sistemlerin tasarımı, Solibri Checker veya Tekla BIMsight gibi otomatik model kontrol ve analiz araçları ile desteklenen BIM modelleme yaklaşımıyla güçlü doğrulama ve tasarım incelemeleri gerektirir (örneğin, çarpışma tespiti açısından) (URL21).

Endüstriyel binalar, ekonomik yaşam döngülerinin 50 ila 80 yıl arasında değiştiği diğer bina tipolojilerinden farklı olarak, genellikle 15 ila 30 yıl arasında değişen nispeten kısa yaşam döngüleriyle karakterize edilmektedir. Ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliğe ulaşmanın ön koşulu, binanın ömrünü uzatmak olduğundan, bu durum yerleşim planında en yüksek esnekliği ve genişletilebilirliği sağlamayı gerektirir ve bu da yapısal tasarımda önemli zorluklar yaratmaktadır. Ayrıca, üretim sürecine bağlı olarak, endüstriyel tesisler diğer bina tipolojilerine göre daha yüksek iç ısıtma yüklerine sahip olup, bu yükler bitişik ofislerin ve destekleyici tesislerin ısıtılması ve sıcak su temini gibi işlemler için kullanılabilir. Bu tür sinerji etkilerinin kullanımı, yapısal tasarımın esneklik açısından optimize edilmesini, sistemlerin (bina yapısı ve kabuğu, HVAC ve enerji beslemesi) dikkatlice modellenmesini ve analiz edilmesini gerektirmektedir. Mekansal, geometrik, enerji ve maliyet verilerinin ortak bilgi tabanı olarak kapsamlı bir BIM modeli, yalnızca tasarım sürecine değil, aynı zamanda bir endüstriyel tesisin yönetimi için de hesaplamalı enerji analizi ve kurumsal kaynak planlama araçlarıyla bağlantı kurma potansiyeli sunmaktadır (URL21).

Endüstriyel tesislerin modellenmesinde en yaygın olarak kullanılan araç, mimari, yapısal ve HVAC modülleri (Revit MEP) sunan Autodesk REVIT yazılımıdır. Tek Platformlu BIM

olarak adlandırılan bu yöntem, arayüzler aracılığıyla veri aktarımını azaltmaktadır. Ancak, tesis tarafında Tek Platform çözümüne rağmen, ekipman ve mağaza düzeni tedarikçileri çoğu IFC uyumlu olmayan bir dizi yazılım aracı kullanmaktadır ve bu da endüstriyel inşaatlarda BIM'in kullanımı için büyük sorunlar yaratmaktadır.

Endüstriyel tesislerin tasarımı ve yaşam döngüsü yönetimi için BIM'in kullanımı uygulamada artmaktadır, ancak gizlilik ve veri koruması nedeniyle endüstriyel inşaatlarda BIM'in potansiyellerini ve sınırlarını belirleyen çok az sayıda yayınlanmış çalışma bulunmaktadır.



3. YÖNTEM

Bu bölümde tezin önceki bölümlerinde literatür araştırmasıyla kurulan kavramsal altyapı üzerine çalışmanın yöntemi belirlenmiştir. Bu çalışma İç Anadolu Bölgesi, Ankara ilindeki ofis binalarında yapı kabuğu iyileştirmesi (retrofit) ile enerji verimliliğini amaçlamaktadır. Bu bağlamda tezin daha önceki bölümlerinde tanımlanan, bölgenin iklim verileri ve güncel yapı stoğunun analizi yanı sıra, bina simülasyon sistemini ve yazılım aracını anlamak, bu çalışmanın enerji verimliliği hedeflerine ulaşmasında katkı sağlamaktadır.

Bu doğrultuda bu bölüm, binalarda enerji verimliliğinde enerji simülasyon aracının paylaşımı, Ankara ilinde mevcutta yoğun olarak bulunan çok katlı ofis binası tipolojisinden yola çıkılarak örnek ofis binasının modellenmesi ve simülasyon parametrelerinin tanımlanmasını içermektedir. Öncelikle çalışma alanı ve seçilen binaların özellikleri hakkında genel bilgiler verildikten sonra, binanın enerji modelinin oluşturulması için BEM yaklaşımı kullanılarak bina modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan enerji modeli üzerinden mevcut durum analiz edilmiş ve bina kabuğunda yapılacak iyileştirmelere tezin daha önceki bölümlerinde bahsedilen enerji etkin retrofit türlerinden şeffaf yüzeylerin iyileştirilmesi, opak yüzeylerde yalıtım kalınlıklarının değiştirilmesi ve uygulamasının bina enerji verimliliği konusunda etkileri simülasyon verileri üzerinden sağlanmıştır. Yapı kabuğunda yapılan her yeni retrofit değişen enerji tüketimi ayrı ayrı yıllık periyotları içerecek şekilde analiz edilmiştir. Tez çalışmasının son aşamasında binanın mevcut halindeki enerji tüketimi ve retrofit sonucu elde edilen verilerin karşılaştırılması sağlanarak yapı kabuğunda enerji iyileştirmenin etkilerinin tartışılması ve pratikte önerilerde bulunulmuştur.

3.1. Parametrelerin Tanımlanması

Bina enerji simülasyonu yapılırken binanın geometrisi, konumu, yapı elemanı malzeme bilgilerinin tanımlanması gerekmektedir. Bu bölümde bina konumu, yönü, binanın bulunduğu bölgenin iklim değerleri gibi 3B bilgilerin modele entegre edilmesi gerekmektedir.

Çalışma alanı hakkında genel bilgiler

Ankara ili başkent olması ardından idari organların artması sebebiyle çalışan nüfusun yoğun olduğu bir ildir. Dolayısıyla yeni yapılaşma ve alan yetersizliğinden kaynaklı çok katlı ofis binaları bölgede oldukça yoğun olarak inşaa edilmiştir. Bu yapıların bazıları enerji verimli olsa da çoğu yapı enerji verimlilik açısından yetersizdir. Ankara, yaklaşık 26.897 km²'lik bir alana sahip olup, 39.57 derece kuzey enlemi ile 32.53 derece doğu boylamı arasında yer almaktadır. Deniz seviyesinden yaklaşık 890 metre yükseklikte bulunan şehrin doğusunda Kırşehir ve Kırkkale, batısında Eskişehir, kuzeyinde Çankırı, kuzeybatısında Bolu, güneyinde Konya ve Aksaray illeri bulunmaktadır.

Ankara ölçeğinde ortalama sıcaklık 11,7 °C yıllık ortalama yağış miktarı 389,1 mm'dir. En yüksek sıcaklık değeri 40,8 °C ve en düşük sıcaklık -24,9 °C olarak tespit edilmiştir. Don olayı görülen gün sayısı 60-117, karlı günler sayısı ise yılda 30,5'tur (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.2. Ankara ili 2024 yılı sıcaklık ve yağış grafiği (URL-8)

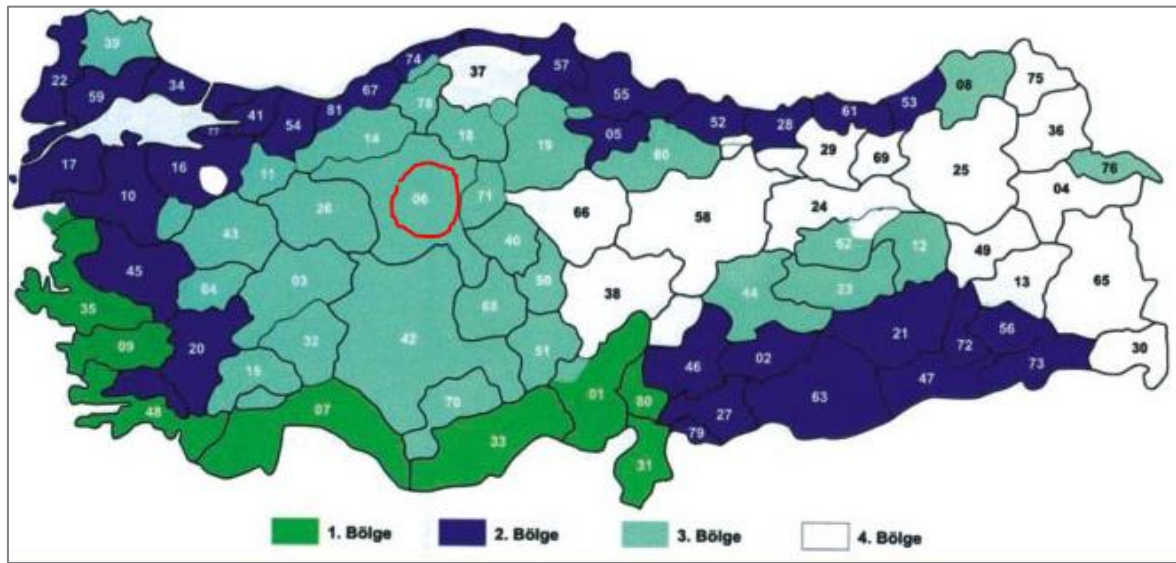
ANKARA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1927 - 2023)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	0,3	1,7	5,7	11,3	16,1	20,0	23,4	23,5	19,0	13,2	7,3	2,6	12,0
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	4,3	6,5	11,5	17,4	22,4	26,6	30,3	30,5	26,1	20,0	13,1	6,6	17,9
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-3,2	-2,2	0,7	5,4	9,7	13,0	15,9	16,1	11,9	7,2	2,6	-0,7	6,4
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2,6	3,8	5,0	6,4	8,2	9,8	11,1	10,6	9,1	6,7	4,6	2,6	6,7
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12,20	11,11	10,77	11,12	12,32	8,89	3,52	2,72	4,02	6,85	8,15	11,67	103,3
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	39,9	35,1	39,7	41,8	51,4	36,7	14,1	12,7	17,9	27,1	31,8	44,2	392,4
Ölçüm Periyodu (1927 - 2023)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	18,4	21,3	27,8	31,6	34,4	37,0	41,0	40,5	39,1	33,3	24,7	20,4	41,0
En Düşük Sıcaklık (°C)	-24,9	-24,2	-19,2	-7,2	-1,6	3,8	4,5	5,5	-1,5	-9,8	-17,5	-24,2	-24,9

İl ölçeğinde ortalama sıcaklık 11,7 °C yıllık ortalama yağış miktarı 389,1 mm'dir. En yüksek sıcaklık değeri 40,8 °C ve en düşük sıcaklık -24,9 °C olarak tespit edilmiştir. Don olayı görülen gün sayısı 60-117, karlı günler sayısı ise yılda 30,5'tur. En yüksek kar kalınlığı 30 cm olarak tespit edilmiştir. İl merkezi ve istasyonların rüzgâr durumuna genel olarak bakıldığında hâkim rüzgârın arazi yapısına bağlı olarak değiştiği görülmektedir.

Ankara ilinin TS825'E göre değerlendirilmesi

Ülkemizde binalarda net ısıtma enerjisi ihtiyacını hesaplama kurallarına ve binalarda izin verilebilir en yüksek ısıtma enerjisini belirlemek için TS 825 “Binalarda Isı Yalıtım

Kuralları” standardı kullanılmaktadır. Avrupa Birliği standartlarına uyumlu hale getirilmeye çalışılan standardın ilk hali 29 Nisan 1998 tarihinde yürürlüğe girmiştir (Atmaca, 2016). TS825, yeni inşa edilecek binaların ısıtma enerjisi ihtiyacını nasıl hesaplayacağını, izin verilebilecek en yüksek ısı kaybı değerlerini nasıl hesaplayacağını ve bilgilerin nasıl sunulduğunu içeren standarttır. Bu standart ülkemizde binalarda enerji verimliliğini artırmak, inşa edilecek ve mevcut binaların enerji performansını belirlemek için kullanılmaktadır. TS825 ‘e göre Türkiye toplamda 5 iklim bölgesine ayrılmaktadır. Görsel Şekil 20’ de görüldüğü üzere Ankara ili 3. İklim bölgesinde yer almaktadır.



Harita 3.1. Türkiye iklim bölgeleri haritası (TS 825 Binalar için ısı yalıtımı gereksinimleri) (Sözen ve diğerleri, 2020)

İklim bölgelerine göre dış sıcaklık değerleri ise aşağıdaki Çizelge 3.2’de gösterilmiş olup 3. Bölgede yer alan Ankara ili için dış sıcaklık değeri gösterildiği gibidir.

Çizelge 3.3. Bölgelere göre yıllık sıcaklık değerleri grafiği (URL-8)

	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge
OCAK	8,4	2,9	-0,3	-5,4
ŞUBAT	9,0	4,4	0,1	-4,7
MART	11,6	7,3	4,1	0,3
NİSAN	15,8	12,8	10,1	7,9
MAYIS	21,2	18,0	14,4	12,8
HAZİRAN	26,3	22,5	18,5	17,3
TEMMUZ	28,7	24,9	21,7	21,4
AĞUSTOS	27,6	24,3	21,2	21,1
EYLÜL	23,5	19,9	17,2	16,5
EKİM	18,5	14,1	11,6	10,3
KASIM	13,0	8,5	5,6	3,1
ARALIK	9,3	3,8	1,3	-2,8

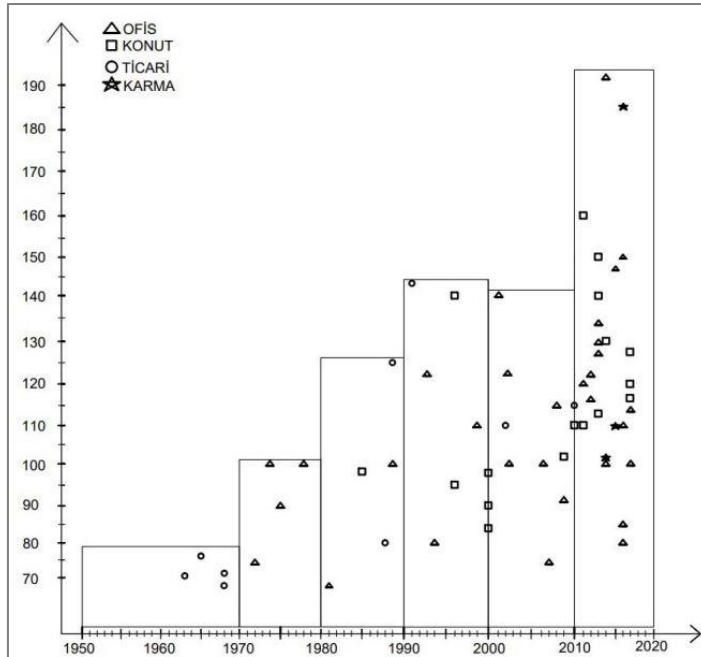
Bina yapı elemanlarının termofiziksel özellikleri her yapının fonksiyon, geometri ve ihtiyacına göre farklılar göstermektedir. Bu farklılıkların en önemli ölçütü malzemelerin ısı geçirgenlik katsayılarıdır. Binaların inşaatı veya yenilenmesi sırasında bina enerji verimliliği için kullanılan malzemelerin ısı yalıtımı ve iletim standartlarını belirlemek için U değerleri esas alınmaktadır. Bu sebeple binalarda kullanılan yapı malzemelerinin seçiminde binanın bulunduğu iklim ve coğrafyaya uygun U değerlere sahip malzemeler tercih edilmelidir. Binalarda farklı iklim bölgelerine göre kullanılması önerilen U değerleri Çizelge 3.3'te gösterilmiştir. Buna göre 3. İklim bölgesinde yer alan Ankara ili için kullanılacak U değerleri; duvarlar için $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, çatı için $0,3 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, zemin için $0,45 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, pencereler içinse $2,4 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ ' dir.

Çizelge 3.4. İklim bölgeleri için tanımlanan U değerleri (2013 Aralık güncellemesine göre)

TS 825 İKLİM BÖLGESİ	ZEMİN	DUVAR	ÇATI	PENCERE
	[W / (M²k)]			
1	0,66	0,66	0,43	1,8
2	0,57	0,57	0,38	1,8
3	0,43	0,43	0,28	1,8
4	0,38	0,38	0,23	1,8
5	0,36	0,36	0,21	1,8

Ankara ilinde ofis yapılarının gelişimi

Ankara 1923 yılında başkent ilan edilmesiyle beraber çok fazla göç almış ve nüfusu kısa bir sürede büyük oranlarda artış göstermiştir. Kamu yapılarının buraya taşınması, nüfusun hızla artması, altyapının yetersiz olması gibi sebeplerden dolayı kentin yapılaşma süreci zorlu olmuştur (Sarioğlu, 2001). Bu da tüm kentin fiziksel, sosyal, kültürel ve ekonomik çehresinin yeniden ele alınması ve başkent standartlarına kavuşmasını sağlaması ile çözüme ulaştırılmak istenmiştir. Tarihi süresince hâkim yapıları ile şekillenen kentsel düzende yüksek yapılar yeni ve güçlü bir katman olarak kentsel gelişim sürecine eklenmiştir. (İlerisoy, 2019) Ankara'daki yüksek yapılaşma serüveninin, ilk yüksek yapı ofis binası olarak adlandırılabilen Ulus İşhanı ile başlayan inşaa süreci günümüz bakanlıklar binaları ve özel binalar ile devam etmiştir. Aşağıdaki grafikte Ankara ilinde son 70 yılda yapılan binaların fonksiyon ve kat yükseklikleri yıllara göre dağılımı gösterilmiştir. Grafiğe göre (Şekil 3.1) ofis binalarındaki artış, 1970 yıllarında 75 m yükseklikle başlamış olup günümüzde yüksekliği en çok artan yapı türü olarak 190 metrelere ulaşmaktadır. Bu durumda Ankara ilinde yoğun olarak bulunan ofis yapıları çok katlı olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 3.1. Ankara ili yapılarda yükseklik - zaman grafiği (İlerisoy, 2019)

Ankara ilinde inşaa edilen ofis binaları genel olarak incelendiğinde bina sirkülasyonunu sağlayan çekirdeklerin bina merkezinde konumlandığı, ofis alanlarının bu çekirdek çeperinde yer aldığı ve böylelikle işlevsel mekanlarda daha çok gün ışığından faydalanma amacı olduğu gözlemlenmiştir. Gün ışığı verimi ve esnek mekanlar hedefiyle de bina cephelerinde genellikle cam kullanılmıştır.

3.2. Enerji Verimliliği Yaklaşımının Geliştirilmesi

Binalarda enerji verimliliği, sürdürülebilir kalkınma ve çevresel koruma açısından büyük önem taşımaktadır. Yapılar, küresel enerji tüketiminin yaklaşık %40'ını ve karbon emisyonlarının %30'unu oluşturmaktadır (International Energy Agency [IEA], 2021). Bu nedenle, enerji verimli bina tasarımları ve uygulamaları, hem enerji tasarrufu sağlamak hem de çevresel etkileri azaltmak için kritik bir strateji olarak değerlendirilmektedir. Enerji verimliliği sağlayan unsurlar:

Isı yalıtımı

Yapıların duvar, çatı ve pencerelerinde etkili ısı yalıtımı kullanımı, ısı kaybını azaltarak enerji tüketimini %30-50 oranında düşürebilmektedir (European Commission, 2020).

Akıllı bina teknolojileri

Akıllı sensörler, otomatik aydınlatma sistemleri ve uzaktan yönetilebilir ısıtma-soğutma sistemleri, enerji verimliliğini artırmada önemli bir rol oynamaktadır (U.S. Department of Energy, 2022).

Yenilenebilir enerji kullanımı

Güneş panelleri, rüzgar türbinleri ve jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının entegre edilmesi, binaların enerji ihtiyacını fosil yakıtlardan bağımsız hale getirebilmektedir (World Green Building Council, 2023).

Enerji verimli cihazlar ve aydınlatma

LED lambalar, düşük enerji tüketen ev aletleri ve enerji tasarruflu HVAC (ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme) sistemleri ile enerji tüketimi önemli ölçüde azaltılabilmektedir (IEA, 2021).

Enerji verimliliği sertifikasyon sistemleri, binaların çevresel etkilerini azaltmak, enerji tasarrufu sağlamak ve sürdürülebilirliği teşvik etmek için kritik bir rol oynamaktadır. Küresel ölçekte LEED, BREEAM ve Passivhaus gibi sistemler öne çıkarken, Türkiye’de Enerji Kimlik Belgesi (EKB) zorunlu bir uygulama olarak karşımıza çıkmaktadır. Sertifikalı binalar, hem işletme maliyetlerini düşürmek hem de çevreye duyarlı yapılar oluşturmak açısından büyük avantajlar sağlamaktadır.

Enerji verimliliği sertifikasyon sistemleri, binaların çevresel etkilerini azaltmak, enerji tüketimini optimize etmek ve sürdürülebilir tasarımı teşvik etmek amacıyla geliştirilmiştir. Bu sistemler, belirli kriterler doğrultusunda binaların performansını değerlendirir ve sertifikalandırmaktadır. Dünya çapında en yaygın kullanılan enerji verimliliği sertifikasyon sistemleri:

LEED Sertifikası:

Geliştiren: U.S. Green Building Council (USGBC)

Kapsam: Dünya çapında uygulanan en yaygın yeşil bina sertifikasyon sistemlerinden biridir.

Değerlendirme Kriterleri:

- Enerji ve atmosfer
- Su verimliliği
- İç mekan çevresel kalitesi
- Sürdürülebilir alan kullanımı
- Malzeme ve kaynak kullanımı

Sertifika Seviyeleri:

- Gümüş (Silver)
- Altın (Gold)
- Platin (Platinum) (U.S. Green Building Council (USGBC), 2023).

BREEAM Sertifikası:

Geliştiren: Building Research Establishment (BRE), Birleşik Krallık

Kapsam: Avrupa ve dünya genelinde uygulanmaktadır.

Değerlendirme Kriterleri:

- Yönetim
- Sağlık ve konfor
- Enerji kullanımı
- Ulaşım
- Su yönetimi
- Atık yönetimi

Sertifika Seviyeleri:

- Geçer
- İyi
- Çok İyi
- Mükemmel
- Olağanüstü (BRE, 2023).

EDGE Sertifikası:

Geliştiren: Uluslararası Finans Kuruluşu (IFC), Dünya Bankası Grubu

Kapsam: Gelişmekte olan ülkelerde enerji verimli bina inşaatını teşvik etmek için geliştirilmiştir.

Değerlendirme Kriterleri:

- Enerji verimliliği
- Su verimliliği
- Malzeme kullanımı

Sertifika Seviyeleri:

- EDGE Sertifikası
- EDGE Advanced
- Zero Carbon (International Finance Corporation (IFC), 2023).

WELL Sertifikası:

Geliştiren: Uluslararası WELL Bina Enstitüsü (IWBI)

Kapsam: Binaların enerji verimliliği yanında insan sağlığına olan etkilerini değerlendiren bir sertifikadır.

Değerlendirme Kriterleri:

- Hava kalitesi
- Su kalitesi
- Aydınlatma
- Termal konfor

Akustik konfor (International WELL Building Institute (IWBI), 2023).

EnerPHit ve Passivhaus Sertifikası:

Geliştiren: PassivhausInstitute, Almanya

Kapsam: Düşük enerji tüketimiyle yüksek verimli bina tasarımına odaklanan bir sistemdir.

Değerlendirme Kriterleri:

- Yüksek seviyede ısı yalıtımı
- Hava sızdırmazlık ölçümleri
- Isı geri kazanımlı havalandırma sistemleri
- Düşük enerji tüketimi (15 kWh/m².yıl veya daha az) (Passivhaus Institute, 2023).

Türkiye’de Enerji Kimlik Belgesi (EKB):

Geliştiren: T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı

Kapsam: Türkiye’de yeni ve mevcut binaların enerji performansını değerlendirmek için zorunlu tutulan bir sistemdir.

Değerlendirme Kriterleri:

- Binaların yıllık enerji tüketimi
- Isıtma, soğutma, havalandırma ve sıcak su sistemlerinin enerji verimliliği
- Karbon salınımı seviyeleri

Sertifika Seviyeleri: A'dan G'ye kadar enerji sınıfları belirlenir (A en verimli, G en düşük verimlilik sınıfıdır) (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2023).

Passivhaus ve EnerPHit sertifika sistemleri

Binaların tasarımı ve inşasında pasif yaklaşımlar; ilk çağlardan günümüze sıklıkla karşımıza çıkmaktadır. Yaşam alanlarındaki konfor koşullarının pasif havalandırma, aydınlatma, soğutma gibi teknikler kullanılarak iyileştirilmesi, hemen her mimari dönemde görülebilmektedir. Pasif standartlara uygun olarak yapılmış bir bina, konforlu ve sağlıklı kullanım için tasarlanmış, farklı iklim bölgelerinde farklı çözümlerle, geleneksel yapım yöntemleriyle inşa edilmiş yapılara göre daha az enerji tüketen yapıdır (Cotterel and Dadeby 2014).

Pasif evler, düşük enerji kullanım maliyetli, konforlu ve enerji verimli bina standartlarıdır. Pasif evler geleneksel yöntemlerle inşa edilmiş binaya göre ısıtma ve soğutma enerjisinde önemli ölçüde tasarruf sağlamaktadır.

1996 yılında Wolfgang Feist, Darmstadt'ta "Pasif Ev Enstitüsü"nü kurarak pasif ev standartlarını belirlemek ve bu standartların etkisini gözlemlemek istemiştir.

Pasif Ev Enstitüsü'nün yeni binalar için belirlediği kriterler aşağıdaki gibi sıralanmaktadır;

- Isıtma enerjisi tüketimi yıllık metrekare başına 15 kWh/m²'den düşük olmalı,
- Soğutma ve nemlendirme enerjisi tüketimi yıllık metrekare başına 15 kWh/m² den düşük olmalı,
- Birincil enerji (sıcak su, evsel elektrik vb.) tüketimi yıllık metrekare başına 120kWh/m²'den düşük olmalı,
- Hava geçirmezlik 50 Pa (paskal) basınç altında saatlik 0,6'dan düşük olmalıdır.

Pasif Ev Enstitüsü'nün mevcut binalar için belirlediği kriterler EnerPHit sertifika sistemi olarak tanımlanmaktadır (Passipedia 2025).

Pasif Ev Enstitüsü'ne göre, mevcut binalarda EnerPHit standartlarını karşılamak için kullanıcıya iki farklı yöntem seçeneği sunulmaktadır. Bu yöntemlerden birincisi; yapı bileşeni U değeri yöntemi, ikincisi ise enerji talebi yöntemidir. EnerPHit sertifikası için bu yöntemlerden sadece biri ile kriterlerinin karşılanması gerekli ve yeterlidir. EnerPHit sertifika sisteminde belirtilen kriterler, yapının bulunduğu iklim bölgesine göre farklılıklar göstermektedir. İklim bölgelerine göre standart sınır değerler Tablo 4'te belirtilmiştir. Pasif Ev Enstitüsü; yapının içinde bulunduğu bölge için iklim sınıflandırmasını; PHPP (Passive House Planning Packet) iklim verileri sistemi aracılığı ile kullanıcıya belirtmektedir. Çizelge 3.4'e göre arktik, soğuk, soğuk ılıman, sıcak ılıman, ılıman, çok sıcak ve aşırı sıcak olmak üzere yedi iklim bölgesi ve bu iklim bölgelerinin bina yalıtım ve pencereler için en fazla ısı transferi katsayı değerleri tanımlanmış olup, çok sıcak ve aşırı sıcak bölgelerde özellikle bina dış boyalarında soğuk renkler kullanımı önerilmiştir. Ayrıca arktik ve soğuk bölgede en az %80 ısı geri kazanımı sağlanmasını hedeflerken; soğuk ılıman ve sıcak ılıman bölgelerde ise bu hedef minimum %75 olarak belirtilmiştir.

Çizelge 3.5. Yapı bileşeni U değerleri ve enerji talebi yönetimi (Passipedia 2025)

PHPP'ye göre iklim zonu	Opak Kabuk				Pencereler				Minimum ısı geri kazanım oranı
	Zemin	Ambiyant hava			Genel		Cam		
	Yalıtım	Dış Yalıtım	İç Yalıtım	Dış Boya	En fazla transfer katsayısı (UK/P, kurulum)	Güneş ısı kazanç katsayısı (g-değeri)			
	En fazla ısı transfer katsayısı (U-Değeri)			Soğuk renkler	[W/(M²k)]				
	W/(M²k)			–	[kWh/(m²a)]				
Arktik	PHPP'de projeye özgü ısıtma ve soğutma derece günlerinden zemine göre belirlenir	0,09	0,25	–	$\frac{0,4}{5,0}$	0,5	0,6	Ug-g $0,7 \leq 0$	80%
Soğuk		0,12	0,3	–	$\frac{0,6}{5,0}$	0,7	0,8	Ug-g $1,0 \leq 0$	80%
Soğuk ılıman		0,15	0,35	–	$\frac{0,8}{5,0}$	1,0	1,1	Ug-g $1,6 \leq 0$	75%
Sıcak ılıman		0,3	0,5	–	$\frac{1,0}{5,0}$	1,1	1,2	Ug-g $2,8 \leq 0$	75%
İlman		0,5	0,75	–	$\frac{1,2}{5,0}$	1,3	1,4	–	–
Çok sıcak		0,5	0,75	Evet	$\frac{1,2}{5,0}$	1,3	1,4	–	–
Aşırı sıcak		0,25	0,45	Evet	$\frac{1,00}{5,00}$	1,10	1,20	–	–

Yenileme projesinde kullanıcının, yenilemenin yapıldığı binanın iklim özelliğine göre ya tabloda belirtilen U değerlerini sağlaması ya da maksimum ısıtma ve soğutma talebi sınır değerlerinin koşullarını sağlayarak mevcut yapıyı EnerPHit sertifikasına uygun hale getirmesi beklenmektedir. Maksimum ısıtma ve soğutma talebi sınır değerleri Çizelge 3.5'te gösterilmiştir. Tabloya göre arktik bölgede ısıtma talabi maksimum 35 kWh/m²a iken soğuk iklimde bu değer 30, soğuk ılıman iklim bölgesi için 25, sıcak ılıman iklim bölgesi için 20 ve ılıman iklim bölgesi için 15 kWh/m²a olarak belirtilmiştir.

Çizelge 3.6. Isıtma ve soğutma sınır değerleri (Passipedia 2025)

PHPP'ye göre iklim zonu	ISITMA	SOĞUTMA
	En fazla ısıtma talebi	En fazla soğutma ve nem alma talebi
	[kWh/(m²a)]	[kWh/(m²a)]
Arktik	35	Pasif Ev taleplerine eşit
Soğuk	30	
Soğuk ılıman	25	
Sıcak ılıman	20	
İlman	15	
Çok sıcak	–	
Aşırı sıcak	–	

3.3. Enerji Verimliliğinde Retrofit

Bu kısımda mevcut binalarda enerji verimliliğinin sağlanması ve bu verimliliğin derecelendirilmesinde başvurulacak sertifikasyon sistemlerinden biri olan EnerPHit sertifikası sistemi ve gereklilikleri Passivehouse veya EnerPHit sertifikası almış örnek ofis binalarının yapı kabuğu malzeme özelliklerinden bahsedilmektedir.

EnerPHit sertifikalı binaların analizi

EnerPHit sertifikası kapsamında; mevcut binalar üzerinde yapılan enerji enerji etkin iyileştirmelerinin incelenmesi ve değerlendirilmesi amacıyla EnerPHit sertifikası almış ofis binalarının analizi yapılmıştır. EnerPHit sertifikasının farklı iklim bölgelerine göre uygulama teknikleri, malzeme seçimleri ve sağladığı enerji verimleri analiz edilmiştir. Bu doğrultuda; 2025 yılına kadar EnerPHit sertifikası almış ve Pasif Ev veritabanında yer almış farklı bölgelerde bulunan ofis yapılarının başlıcaları bu çalışma kapsamında incelenmiştir. Bu yapılar, yapının; yapım yeri, bulunduğu iklim, yapı fonksiyonu, duvar yalıtım malzemesi ve ısı geçirgenlik katsayısı, zemin yalıtım malzemesi ve U değeri, çatı yalıtım malzemesi ve U değeri, pencereler ve U değeri, yıllık metrekare başına düşen ısıtma ve soğutma enerji talepleri özellikleri itibarıyla değerlendirilmiştir. Pasif Ev veya EnerPHit sertifikası alan binalar ve binaların özellikleri Çizelge 3.6'da gösterilmiştir. Tabloda serin ılıman ve sıcak ılıman iklim bölgelerinden seçilen ofis binalarında yapılan malzeme ısı geçirgenlik katsayıları ve binaların ihtiyacı olan ısıtma ve soğutma yükleri paylaşılmıştır.

Çizelge 3.7. Passivhaus veya EnerPHit sertifikası alan ofis binaları

			
Bina adı	GfA İnşaat Ofis	Winthrop Center	Crea Hangar 108
Kullanım tipi	Ofis	Ofis	Ofis
Yapım yılı	2018	2020	2018
Yapım yeri	Almanya	ABD	Fransa
İnşaat alanı	2303 m ²	57849 m ²	6365 m ²
(PHPP'ye esas alınan)	3	21	7-8
Kat sayısı	Serin-ılıman	Serin-ılıman	Serin-ılıman
İklim (PHPP' ye göre)			
Malzeme U değeri	0,152 W/(m ² K)	0,32 W/m ² K	0.163 W/(m ² K)
(W/(m ² K))	0,214 W/(m ² K)	0,33 W/(m ² K)	0.106 W/(m ² K)
Dış duvar	0,057 W/(m ² K)	-	0.094 W/(m ² K)
Zemin	0,63 W/(m ² K)	0,72 W/(m ² K)	0,65 W/(m ² K)
Çatı	9 W/ m ²		
Pencere	2 W/ m ²	15 W/ m ²	11 W/ m ²
Isıtma Yüğü		14 W/ m ²	3 kWh/(m ² a)
(kWh/m ² a)			
Soğutma Yüğü	Yok	Yok	Var
(kWh/m ² a)			
Yeşil enerji üretimi			
			
Bina adı	Avusturya Sosyal Sigortalar Kurumu	Westmorland ve Furness Konseyi Hizmet Binası	Europa Kongre Merkezi
Kullanım tipi	Ofis	Ofis	Ofis
Yapım yılı	2019	2024	2016
Yapım yeri	Avusturya	İngiltere	İspanya
İnşaat alanı	11617 m ²	1356 m ²	3326 m ²
(PHPP'ye esas alınan)			
Kat sayısı	17	3	5
İklim (PHPP' ye göre)	Serin-ılıman	Serin-ılıman	Sıcak -ılıman
Malzeme U değeri (W/(m ² K))	0,26 W/(m ² K)	0,142 W/(m ² K)	0,132 W/(m ² K)
Dış duvar	0,23 W/(m ² K)	0,14 W/(m ² K)	0,143 W/(m ² K)
Zemin	0,11 W/(m ² K)	0,118 W/(m ² K)	0,149 W/(m ² K)
Çatı	0,78 W/(m ² K)	0,038 W/(m ² K)	0,83 W/(m ² K)
Pencere			16 W/ m ²
Isıtma Yüğü (kWh/m ² a)	16 W/ m ²	10 W/ m ²	
Soğutma Yüğü (kWh/m ² a)	8 W/ m ²		Yok
Yeşil enerji üretimi	Var	0 W/ m ²	
		Var	

3.3.1. Sanal tasarım ve örnek yapı modeli

Bu bölümünde enerji analizi yapılacak olan binanın geometrisi, yapısal ve termofiziksel özellikleri DesignBuilder programında modellenmiştir.

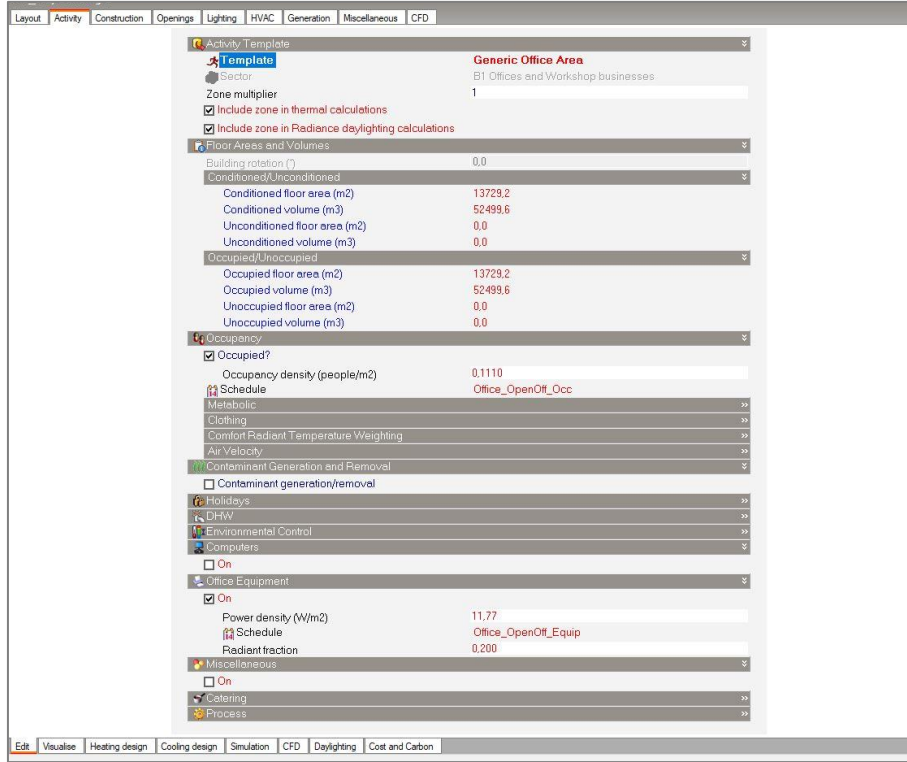
Örnek binanın oluşturulması

Çalışma kapsamında binanın, tezin daha önceki kısımlarında belirtilen problemlere uygun ve incelenen binaların ortak özellikleri göz önünde bulundurularak sınırlılıkları belirlenmiştir. Ankara ilinde bulunan çok katlı ofis binalarına tezin önceki kısımlarında bakıldığında günümüze kadar inşaa edilen ofis bina sayısının yok sayılamayacak çoğunlukta olduğu gözlemlenmiştir. Ağırlıklı olarak halen kullanımda olan bu yapılar için örnek teşkil eden bir yapı modeli oluşturulmuştur. Çok katlı tanımı olarak 50 metre üzeri yapı yüksekliği kabul edilmiş, çoğunlukla cam cephelerin kullanıldığı cephe modeli esas alınmıştır.

Bu bölümde oluşturulacak ofis binası örneği tanımlanmış, oluşturulan bina modelinde yapı kabuğunda yapılan yalıtım kalınlığı ve cam ısıl geçirgenlik değerleri farklı yapı malzemesi denemesi yapılarak, binanın enerji etkinliği analiz edilmiş, bina, enerji çalışmaları için Design Builder programında modellenmiştir.

Ofis binasının 3B modellenmesi

Design Builder programında ofis binası şablonunda, bina modeli için binanın fonksiyonu, bina kullanım günleri, kullanım saat aralığı tanımlanmıştır (Resim 3.1). Buna göre ofis binasının haftanın 5 günü, sabah 07.00-19.00 saatleri arasında kullanılması, haftanın 2 günü kullanım olmayacak şekilde bina kullanım senaryosu tanımlanmıştır. Ayrıca binada ofis alanlarında kullanıcı yükü 10 metrekareye 1 insan olacak şekilde belirtilmiş ve insan/m² yoğunluğu 0,1 olarak belirlenmiştir.

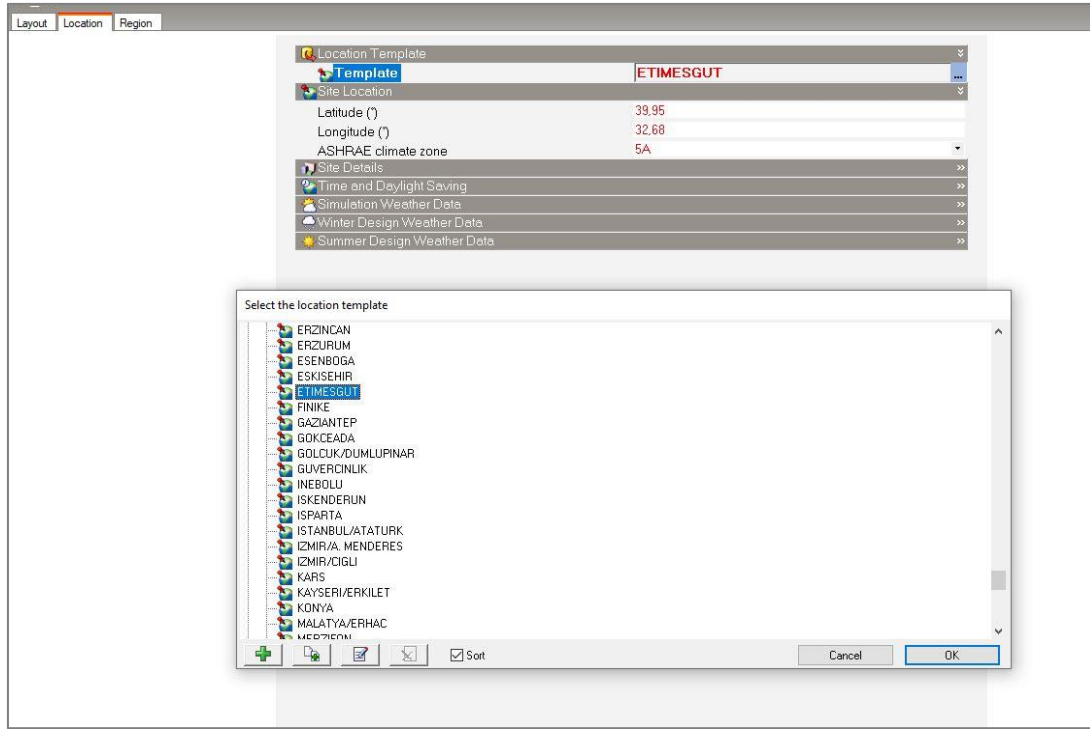


Resim 3.1. Ofis binası bina aktivite bilgileri

Binanın konumu ve iklim verilerinin tanımlanması için DesignBuilder programından Location sekmesinden, Ankara (Etimesgut) olarak seçilmiştir (Resim 3.1). Seçilen bu bölge ve template ile ASHRAE iklim zonu 5A, WMO-Dünya Meteoroloji İstasyonu numarası 171290, Köppen iklim sınıflandırması, yağış ve yıllık sıcaklık verileri modele eklenmiştir. Bina koordinatı 39,95; 3,68 ve deniz seviyesinden yüksekliği 806,00 metre olarak tanımlanmıştır (Harita 3.2). Binanın araziye göre konumu ise bina geniş açıklıkları güneye 0 derece olacak şekilde yönlenmiştir (Resim 3.2).

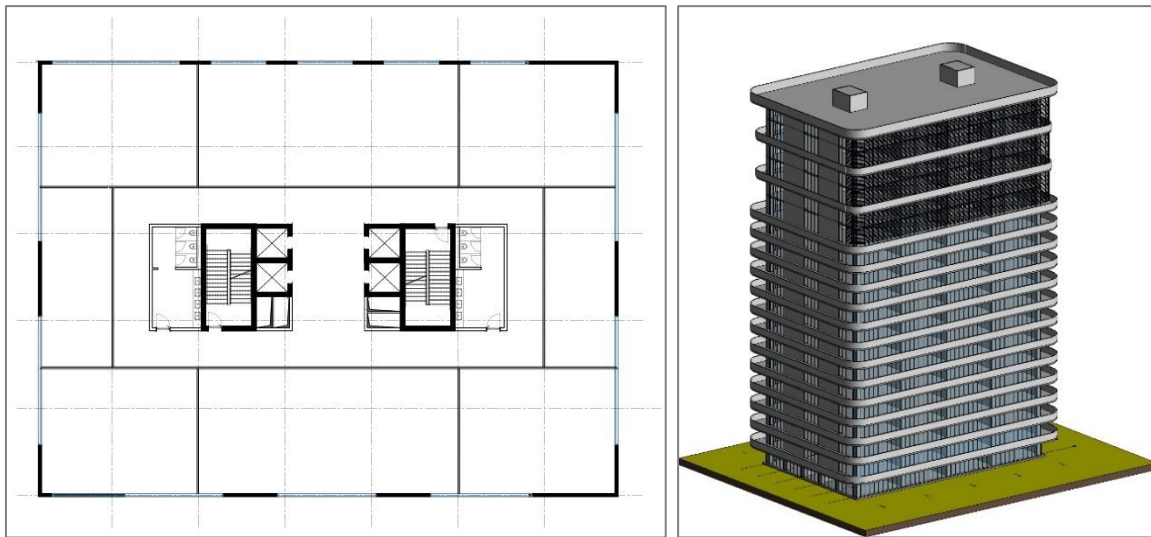


Harita 3.2. Ofis binası konum bilgileri

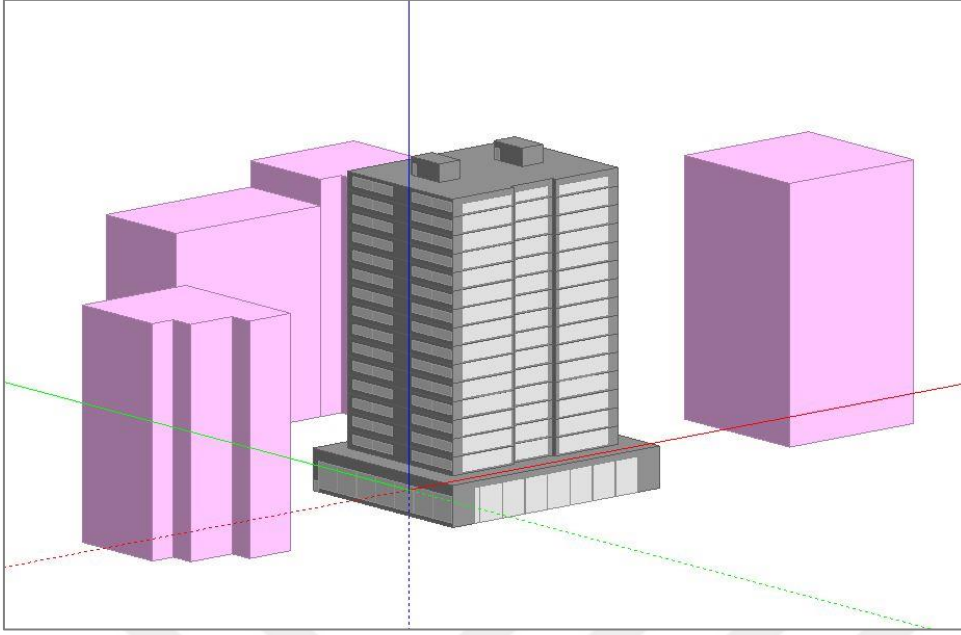


Resim 3.2. Ofis binası konum ve iklim değerlerinin belirlenmesi

Taban alanı dikdörtgen geometriden oluşan bina modeli toplamda onbeş katlıdır. Bina geometrisi genel anlamda açık ofisleri referans alarak oluşturulmuş ve katlarda bina içi bölmeler göz ardı edilmiştir (Şekil 3.2). Bina cephesinde gün ışığından faydalanmak üzere genel olarak cephe açıklıkları geniş yüzeyler kaplamaktadır. Bina enerji denemeleri Design Builder programında yapılmıştır (Şekil 3.3).

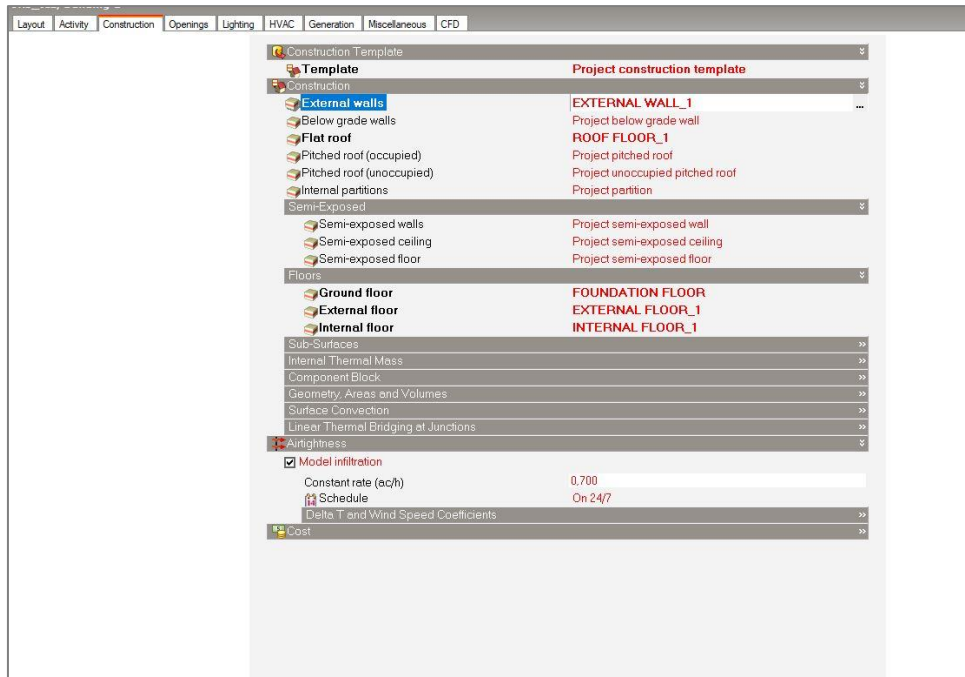


Şekil 3.2. Ofis binası plan şeması ve 3D görseli



Şekil 3.3. Ofis binası ve çevre binaların modellenmesi

Bina kabuğunda enerji verimliliğinde, yapı kabuğunu oluşturan malzemeler ve bu malzemelerin ısıl geçirgenlik değerleri enerji etkinliği için en önemli unsurlardan biridir. Binaya ait malzeme ve U değerleri TS825'e göre belirlenmiş ve bu aralıkta değerler girilmiştir. Binaya malzeme bilgisi programın Construction sekmesinden girilmiştir (Resim 3.3).



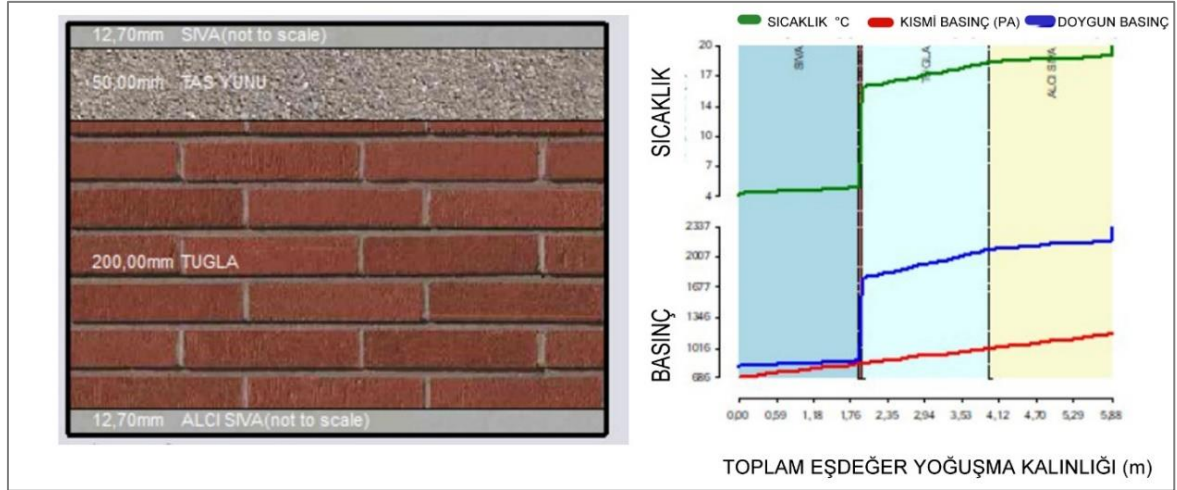
Resim 3.3. Bina yapı malzemeleri program bilgileri

Bina dış duvarları için tanımlanan malzeme ve ısıl geçirgenlik değerleri Çizelge 3.7'deki gibidir. Çizelgeye göre binada TS825'e göre Ankara ili için önerilen yapı malzemesi ısıl geçirgenlik değerleri; dış duvarlar için 0,508 W/M²k, döşemeler için 0,445 W/M²k, çatı için 0,327 W/M²k ve pencere için de 2,325 W/M²k değerleri girilmiş ancak su yalıtımı gibi katmanlar ihmal edildiği için bu bilgiler değerlendirmeye alınmamıştır.

Çizelge 3.8. Binada seçilen malzemelerin ısıl geçirgenlik değerleri

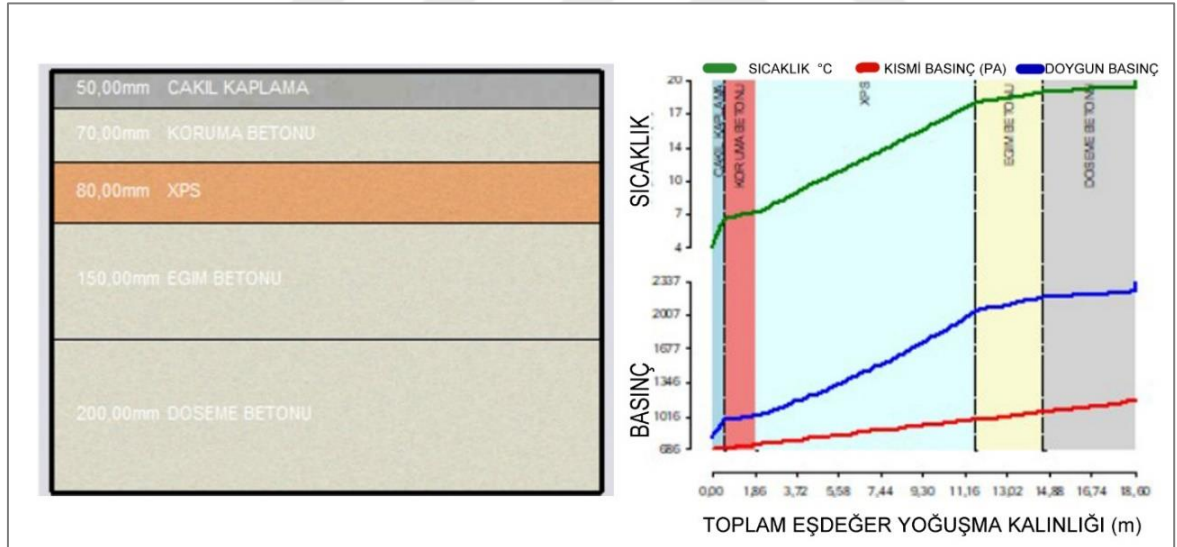
OPAK BİLEŞEN	MALZEME	λ (W/mK)	KALINLIK (mm)	U (W/M ² k)
DIŞ DUVAR	Sıva + Boya	0,16	12,7	0,508
	Tuğla	0,62	200	
	Taşıyünü	0,038	50	
	Alçı Sıva+Boya	0,4	12,7	
DÖŞEMELER	Pvc	0,17	3	0,445
	Şap	1,4	70	
	Betonarme Döşeme	2,1	200	
	Sıva	0,16	25	
ÇATI	Çakıl Kaplama	0,17	50	0,327
	Koruma Betonu	0,72	70	
	Xps Yalıtım	0,036	80	
	Eğim Betonu	0,72	180	
	Betonarme Döşeme	2,1	200	
PENCERELER	Cam		6	2,325
	Hava Boşluğu		6	
	Cam		6	

Bina kabuğunda kullanılan malzemelerin katman bilgileri Şekil 3.4'te gösterildiği gibidir. Buna göre 20 cm tuğla üzeri dış mekanda 5 cm taşıyünü ve 12,7 mm sıva uygulanmış, iç kısmında ise 12,7 mm sıva-boya katmanı eklenmiştir. Böylelikle duvar ısıl geçirgenlik katsayısı 0,5 W/Mk olarak belirlenmiştir.



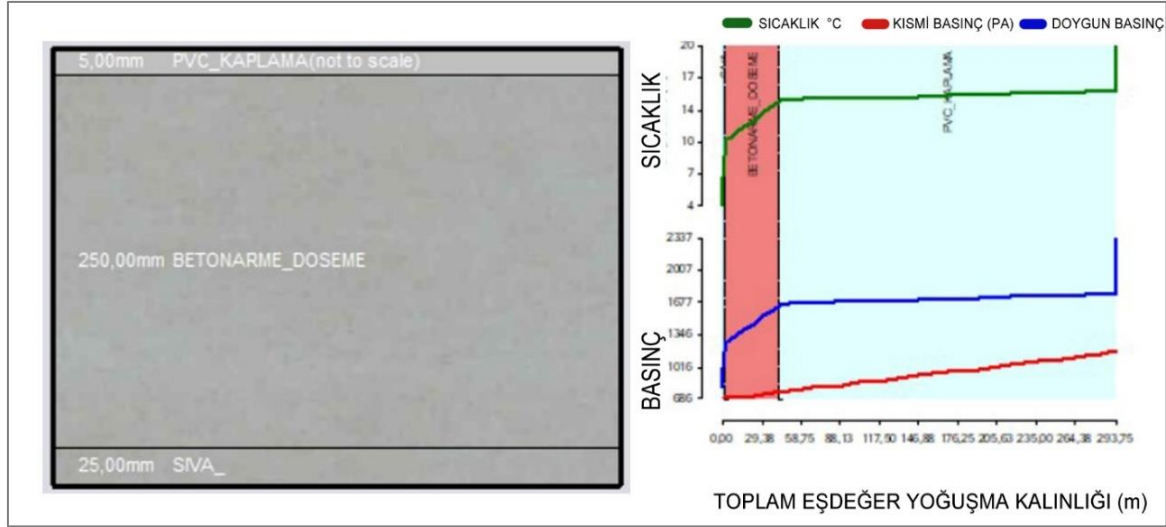
Şekil 3.4. Bina dış duvar malzeme katman bilgisi ve malzeme yoğuşma grafiği

Bina çatısı için teras çatı geometrisi tanımlanmış ve çatı kaplama malzeme bilgileri Şekil 3.5'te gsterilmiştir.



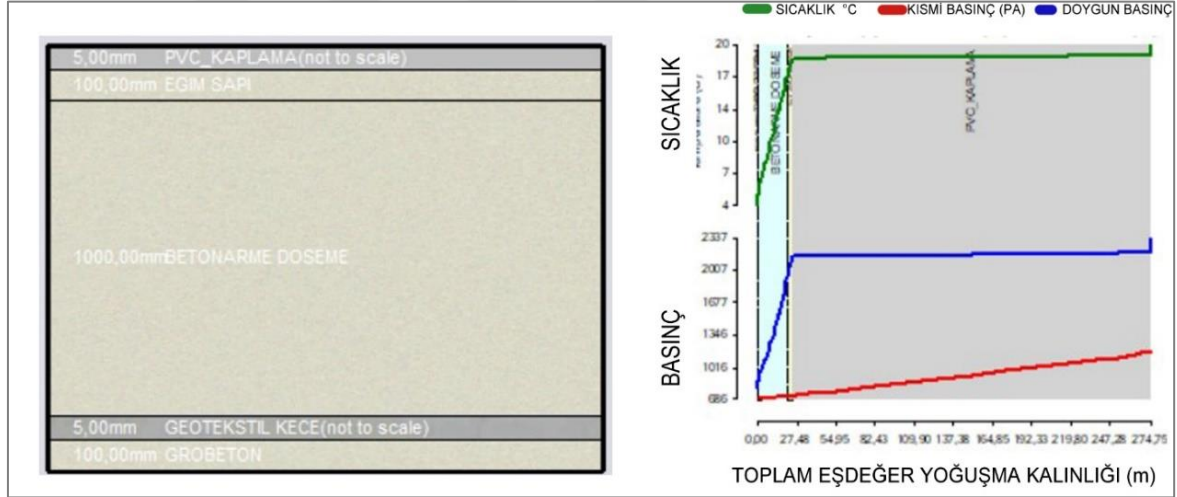
Şekil 3.5. Bina teras çatı kaplama malzeme katman bilgisi ve malzeme yoğuşma grafiği

Bir diğer yapı malzemesi bina dōřeme katmanlarının belirlenmesidir. Şekil 3.6'da gsterildiği gibi 25 cm betonarme dōřeme üzeri 5 mm PVC kaplama ve yapıştırma malzemesi seçilmiştir. Kat tavanlarında ise 2,5 cm sıva tercih edilmiştir.



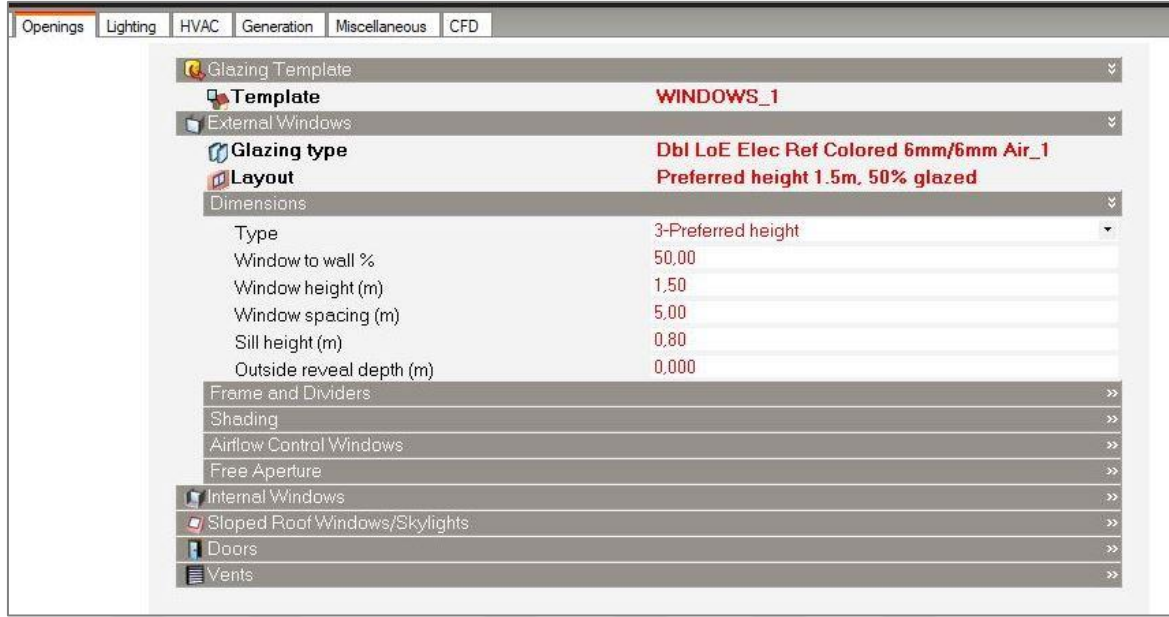
Şekil 3.6. Bina döşeme değerlerinin seçilmesi ve malzeme yoğuşma grafiği

Binayı topografya ile buluşturan, dış atmosferle ilişkisini sağlayan bir diğer unsur temeldir. Bina temelinin iyi yalıtılması bina enerji performansı için önemlidir. Bina modeli için belirtilen katman ve kalınlıklar Şekil 3.7’de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.7. Bina temel döşeme değerlerinin seçilmesi

Bina kabuğunda enerji verimliliğini etkileyen bir diğer parametre de bina pencereleridir. Bina penceresinde TS825 esas alınmış cam için önerilen en fazla 1,80 W/m²K olması belirtilen U değerleri sağlanmaya çalışılmıştır. Seçilen cam Resim 3.4’te gösterildiği gibi cam için ısıl geçirgenlik katsayısı 1,79 W/m²K olarak belirlenmiştir . Pencere doğramaları ise alüminyum olarak belirlenmiştir.



Resim 3.4. Bina pencere değerlerinin seçilmesi

Mekanik ve elektrik sistemler

Bina mekanik sistemde, ısıtmad; merkezi ısıtma ve doğalgaz olarak belirlenmiş olup, soğutma ve havalandırma klimalarla, klima enerji kaynağı ise bina elektrik enerjisiyle sağlanmıştır. Ayrıca bina sıcak su ihtiyacı da elektrik enerjisiyle sağlanmaktadır (Resim 3.5).

The screenshot shows the Design Builder software interface with the 'HVAC' tab selected. The interface is organized into sections for different HVAC components:

- HVAC Template:** Set to 'Split no fresh air_1'.
- Mechanical Ventilation:** Set to 'On'.
- Auxiliary Energy:** Set to '0.0000'.
- Schedule:** Set to 'Office_OpenOff_Occ'.
- Heating:**
 - Heated: ☒
 - Fuel: '2-Natural Gas'
 - Heating system seasonal CoP: '2.350'
 - Type: (dropdown menu)
 - Operation: (dropdown menu)
 - Schedule: 'Office_OpenOff_Heat'
- Cooling:**
 - Cooled: ☒
 - Cooling system: 'Default'
 - Fuel: '1-Electricity from grid'
 - Cooling system seasonal CoP: '1.800'
 - Supply Air Condition: (dropdown menu)
 - Operation: (dropdown menu)
 - Schedule: 'Office_OpenOff_Cool'
- Humidity Control:** (dropdown menu)
- DHW:**
 - On: ☒
 - DHW Template: 'Project DHW'
 - Type: '4-Instantaneous hot water only'
 - DHW CoP: '0.8500'
 - Fuel: '1-Electricity from grid'
 - Water Temperatures: (dropdown menu)
 - Delivery temperature (°C): '65.00'
 - Mains supply temperature (°C): '10.00'
 - Operation: (dropdown menu)
 - Schedule: 'Office_OpenOff_Occ'
- Natural Ventilation:** Set to 'On'.
- Earth Tube:** (dropdown menu)
- Air Temperature Distribution:** (dropdown menu)
- Cost:** (dropdown menu)

Resim 3.5. Bina havalandırma, ısıtma ve soğutma sistemi bilgileri

Bina aydınlatma sistemi olarak ofis template'i verileri seçilmiş ve binanın kullanım senaryosu entegre edilmiştir.

3.3.2. Passivehouse ve EnerPHit standartlarının binaya entegre edilmesi

Mevcut binaya enerji verimliliği açısından, tezin önceki bölümünde incelenen bina örneklerindeki yapı kabuğu ısıl geçirgenlik değerleri referans alınmış olup, örnek binada yapı malzemeleri ısı geçirgenlik değerleri entegrasyonu Design Builder programında sağlanmış, her değişken değer için binanın ihtiyaç duyduğu farklı ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyaçları kıyaslanmıştır. Çizelge 3.8'de gösterildiği üzere toplamda 18 farklı senaryo oluşturulmuş ve bu senaryolara göre binanın enerji performansları çıkarılmıştır.

Senaryolar:

Çizelge 3.9. Senaryolarda değerlendirilen yapı malzeme U değerleri tablosu

Malzeme U değerleri U (W/M ² k)	Senaryo 0	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
Duvar	0,508	0,13	0,2	0,3
Döşeme	0,445	0,445	0,445	0,445
Çatı	0,327	0,327	0,327	0,327
Pencere	2,325	2,325	2,325	2,325
	Senaryo 4	Senaryo 5	Senaryo 6	
Duvar	0,13	0,2	0,3	
Döşeme	0,445	0,445	0,445	
Çatı	0,11	0,11	0,11	
Pencere	2,325	2,325	2,325	
	Senaryo 7	Senaryo 8	Senaryo 9	
Duvar	0,13	0,2	0,3	
Döşeme	0,445	0,445	0,445	
Çatı	0,5	0,5	0,5	
Pencere	2,325	2,325	2,325	
	Senaryo 10	Senaryo 11	Senaryo 12	
Duvar	0,13	0,2	0,3	
Döşeme	0,445	0,445	0,445	
Çatı	0,5	0,5	0,5	
Pencere	1,33	1,33	1,33	
	Senaryo 13	Senaryo 14	Senaryo 15	
Duvar	0,13	0,2	0,3	
Döşeme	0,445	0,445	0,445	
Çatı	0,5	0,5	0,5	
Pencere	1,96	1,96	1,96	
	Senaryo 16	Senaryo 17	Senaryo 18	
Duvar	0,13	0,2	0,3	
Döşeme	0,445	0,445	0,445	
Çatı	0,5	0,5	0,5	
Pencere	2,14	2,14	2,14	

Tablo 8' de gösterildiği gibi bina mevcut durum senaryo 0 ve binanın duvar ısı geçirgenlik değeri 0,508 W/M²k, döşeme ısı geçirgenlik değeri 0,445 W/M²k, çatı için 0,327 W/M²k ve pencereler için 2,325 W/M²k olarak belirlenmiştir. Senaryo 1'de Senaryo 0'a göre değişken olarak duvar malzemesi seçilmiş ve bu değer 0,13 W/M²k olarak denenmiştir. Yine aynı tabloda senaryo 2 ve senaryo 3 için de duvar malzemesi ısı geçirgenliği kontrol amaçlı değiştirilerek sırasıyla 0,2 ve 0,3 W/M²k değerleri test edilmiştir. Senaryo 4,5 ve 6 için değişken çatı kaplama malzemesi olarak belirlenmiş olup bu değer 0,11 W/M²k olarak

eklenmiştir. Senaryo 7,8 ve 9 ‘da çatı kaplama malzemesinde U değeri değişken olarak kullanılmış ve bu değer 0,5 W/M²k olarak girilmiştir. Senaryo 10,11 ve 12 de ise değişken yapı malzemesi cam olarak değerlendirilmiş ve bu değer için 1,33 W/M²k seçilmiştir. Senaryo 13,14 ve 15’ te ise cam ısıl geçirgenlik değeri etkisi incelenmesi amacıyla cam U değeri 1,96 W/M²k olarak belirlenmiştir. Senaryo 16, 17 ve 18’de ise cam için bir başka ısıl geçirgenlik değeri 2,14 W/M²k seçilmiştir.



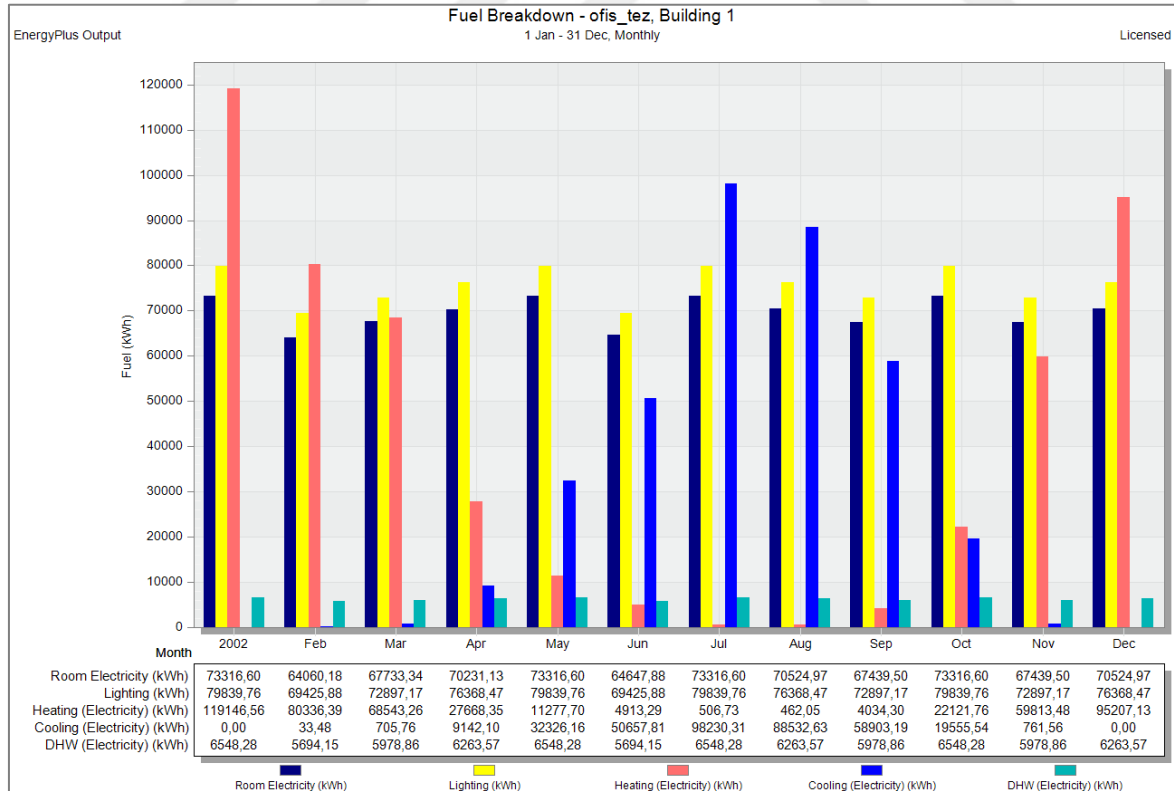


4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Mevcut bina prototipinin modeli DesignBuilder programında modellenip, yapı kabuğunda seçilen malzemelerin ısıl geçirgenlik değerleri girildikten sonra binanın güncel durum enerji analizi yapılmıştır. Sonraki aşamada tasarlanan her bir enerji etkin iyileştirme senaryosu için ayrı ayrı enerji analizleri çıkartılıp, sonuç kısmında tüm analizlerin karşılaştırılmalı değerlendirilmesi yapılmıştır. Tüm bu varyasyonlar durum olarak adlandırılmıştır.

4.1. Ankara Çok Katlı Ofis Yapısı Prototipin BEM Ortamında Mevcut Enerji Değerlerinin Hesaplanması

Bu bölümde mevcutta var olan ofis binalarına referans olacak örnek ofis binasının enerji analizi yapılmıştır. Binanın güncelde tüketmiş olduğu ısıtma, soğutma, aydınlatma enerji ihtiyacı yükleri aylık olarak ölçülmüş ve Şekil 4.1 'deki gibidir. Şekilde gösterildiği gibi binanın enerji yükü yıllık; ısıtma yükü 4 940,31 kWh doğal gaz, soğutma yükü 358 848,53 kWh elektrik enerjisi olup, aydınlatma içinse yıllık 906 007,75 kWh' tir.



Şekil 4.1. Mevcut binanın enerji analizi

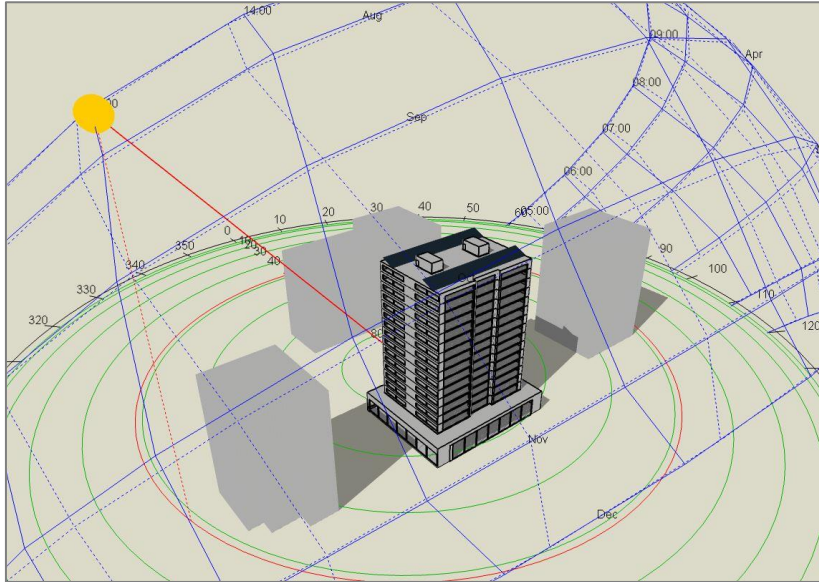
Çizelge 4.1’de belirtildiği üzere bina ısıtma yükünde en verimli senaryo 10’da gösterildiği gibi 270 371,56 kWh iken, bina soğutma yükünde en verimli senaryo 7’ de 322 813,59 kWh değeri olmuştur. Buna göre Ankara bölgesinde ısıtma yükünde en verimli ısı geçirgenlik değeri duvar 0,13 W/M²k iken, döşemede 0,445 W/M²k, çatıda 0,5 W/M²k ve cam için ise 1,33 W/M²k olarak belirlenmiştir. Aynı zamanda soğutma yükünde bina için en verimli ısıl geçirgenlik değerleri ise Senaryo 7’de eklendiği gibi şu şekildedir; duvar U değeri 0,13 W/M²k, döşeme için 0,445 W/M²k, çatı için 0,5 W/M²k, cam için ise bu değer 2,325 W/M²k’tir.

Çizelge 4.1. Değişen yapı malzeme U değerlerine göre yıllık enerji tüketimi

Yıllık Enerji Tüketimi (kWh)	Senaryo 0	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
Bina harcama	835 867,88	743 059,88	752 63,88	757 339,25
Aydınlatma	906 007,75	805 412	815 713,5	820 889,56
Isıtma	494 031	415 321,34	428 688,56	440 835,84
Soğutma	358 848,53	323 895,34	326 517	326 284,69
		Senaryo 4	Senaryo 5	Senaryo 6
Bina harcama		743 059,88	752 563,88	757 339,25
Aydınlatma		805 412	815 713,5	820 889,56
Isıtma		404 687,34	418 253,13	430 493,5
Soğutma		325 299,63	327 875,81	327 592,53
		Senaryo 7	Senaryo 8	Senaryo 9
Bina harcama		743 059,88	752 563,88	757 339,25
Aydınlatma		805 412	815 713,5	820 889,56
Isıtma		423 123,59	436 478,94	448 416,5
Soğutma		322 813,59	325 432,06	325 314,28
		Senaryo 10	Senaryo 11	Senaryo 12
Bina harcama		743 059,88	752 563,88	757 339,25
Aydınlatma		805 412	815 713,5	820 889,56
Isıtma		270 371,56	283 554,16	295 406,13
Soğutma		533 275,94	593 603	535 209,38
		Senaryo 13	Senaryo 14	Senaryo 15
Bina harcama		743 059,88	7 752 563,88	757 339,25
Aydınlatma		805 412	815 713,5	820 889,56
Isıtma		304 062,97	319 399,34	330 666,53
Soğutma		551 340,06	553 411,38	553 000,5
		Senaryo 16	Senaryo 17	Senaryo 18
Bina harcama		743 059,88	752 563,88	757 339,25
Aydınlatma		805 412	815 713,5	820 889,56
Isıtma		304 803,22	318 513,47	329 999,28
Soğutma		554 314,06	552 962,81	551 891,25

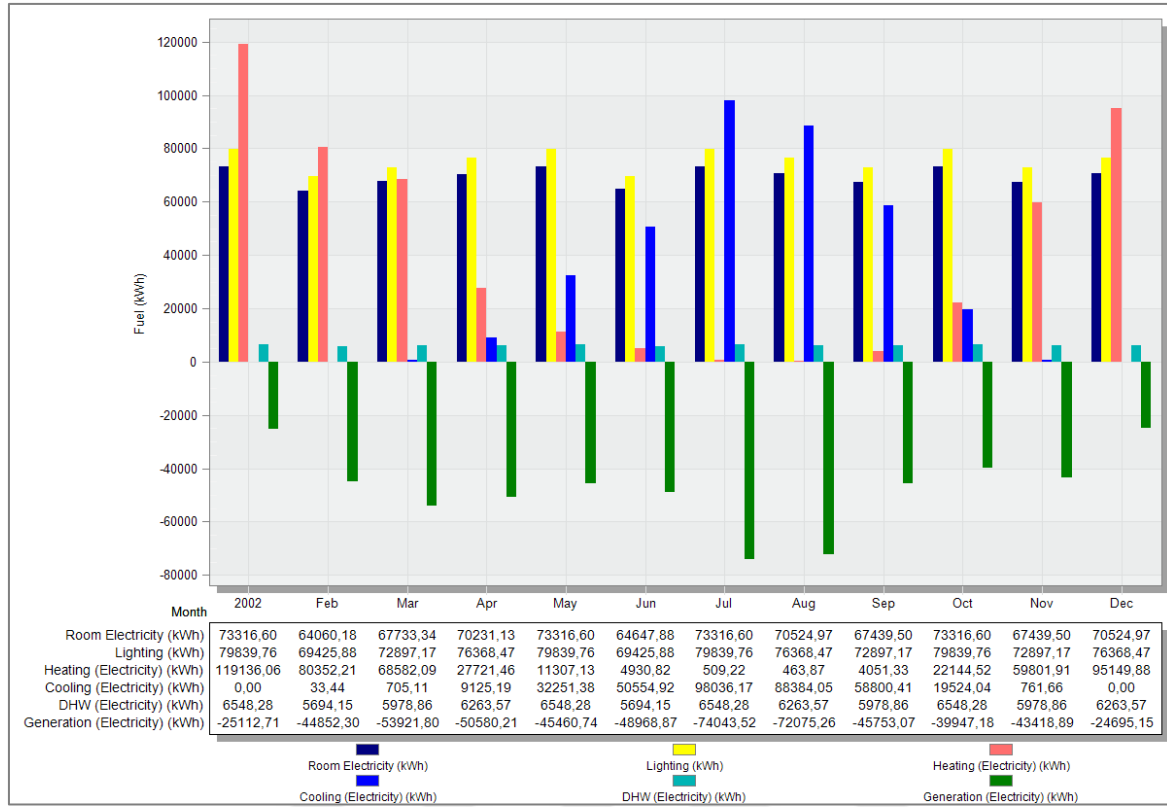
4.2. Bina Çatısına Yerleştirilen Fotovoltaik Panel ile Binanın Enerji İhtiyacının Analizi

Mevcut binanın enerji analizine bakıldığında yıllık bina ısıtma yükü, 494 031, 00 kWh, doğal gaz enerjisi, soğutma için 358 848,53 kWh olup aydınlatma için harcanan enerji ise 906 007,75 kWh elektrik enerjisidir. Mevcut durumun enerji ihtiyacını azaltmak için yeşil bina önerilerinden biri de bina çatısına fotovoltaik panel yerleştirmektir. Bu bölümde bina çatısını 2 adet, yüzey yönü güneye bakan fotovoltaik paneller yerleştirilmiştir. Bu panellerin boyutları ise 5 metreye 40 metrelik alanı tanımlayacak şekildedir (Şekil 4.2). Bu paneller bina elektrik üretimi hesabında tanımlanmıştır.



Şekil 4.2. Binaya eklenen fotovoltaik panellerin görseli

Bu aşamada bina çatısına yerleştirilen fotovoltaik paneller ile sağlanan bina elektrik enerjisi ihtiyaç ve üretimi Şekil 4.3'te gösterildiği gibi, yıllık 568 829,69 kWh'tir. Bu da yıllık tüketilen aydınlatma elektrik enerjisinin yaklaşık %60'ına denk gelmektedir. Fotovoltaik panellerden elde edilen elektrik enerjisi binanın aydınlatma enerji ihtiyacını azaltmada kullanılabilmektedir.



Şekil 4.3. Binaya eklenen fotovoltaik paneller ile enerji analizi

5. TARTIŞMA

Bu tez araştırması, Ankara ilinde mevcutta var olan ofis binaları için referans teşkil etmesi amacıyla örnek ofis binasının, Passivhaus standartları kapsamında yapı kabuğunda enerji etkin iyileştirmelerin, mevcut bina enerji performansı ile karşılaştırmalı incelemesini kapsamaktadır. Bu bağlamda önceki bölümlerde yapılan yapı kabuğu enerji etkin iyileştirme senaryoları bu bölümde 4 ana grafik ile açıklanabilmektedir:

- Birinci aşamada bina enerji analizi yapılan tüm senaryoların aydınlatma elektrik enerjisi ihtiyacı kıyaslanmıştır.
- İkinci aşamada daha önceki bölümlerde hesaplanan bina ısıtma enerjisi ihtiyacı kıyaslanmıştır.
- Üçüncü aşamada bina soğutma elektrik enerjisi karşılaştırılmıştır.
- Dördüncü aşamada ise tüm bu aşamaların çizelge ve grafikler aracılığıyla karşılaştırılması sağlanmıştır.

Birinci aşama

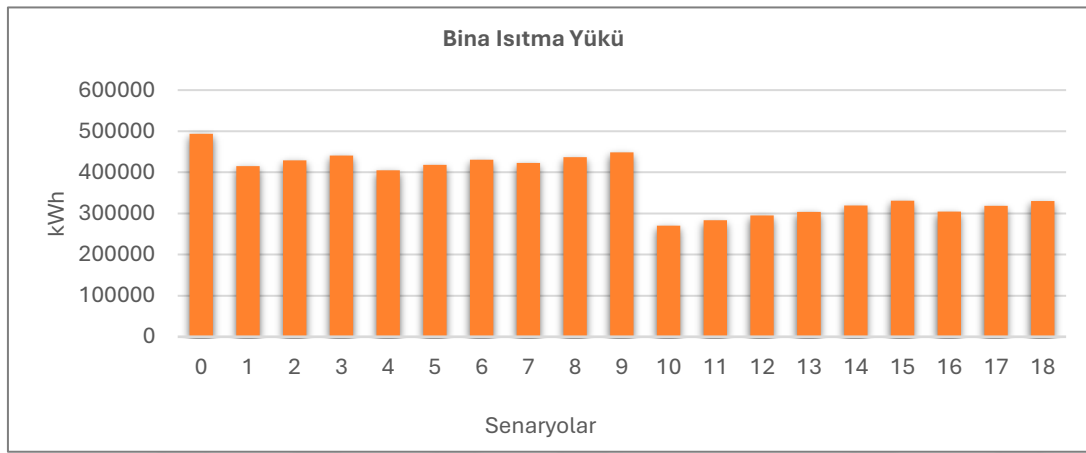
Bu kısımda bina kabuğunda yapılan tüm enerji etkin iyileştirmeler sonucu binanın tüketmekte olduğu aydınlatma elektrik enerjisi karşılaştırılmıştır (Şekil 5.1). Grafiğe göre bina aydınlatma enerjisi en yüksek Senaryo 0'da yani bina mevcut durumunda olup yıllık 906 007,75 kWh 'tır. Bina aydınlatma enerjisi en düşük senaryolar hepsinde eşit ve yıllık 805 412 kWh olup Senaryo 1,4,7,10,12,13,16'dır.



Şekil 5.1. Bina yıllık aydınlatma enerjisi ihtiyacı

İkinci aşama

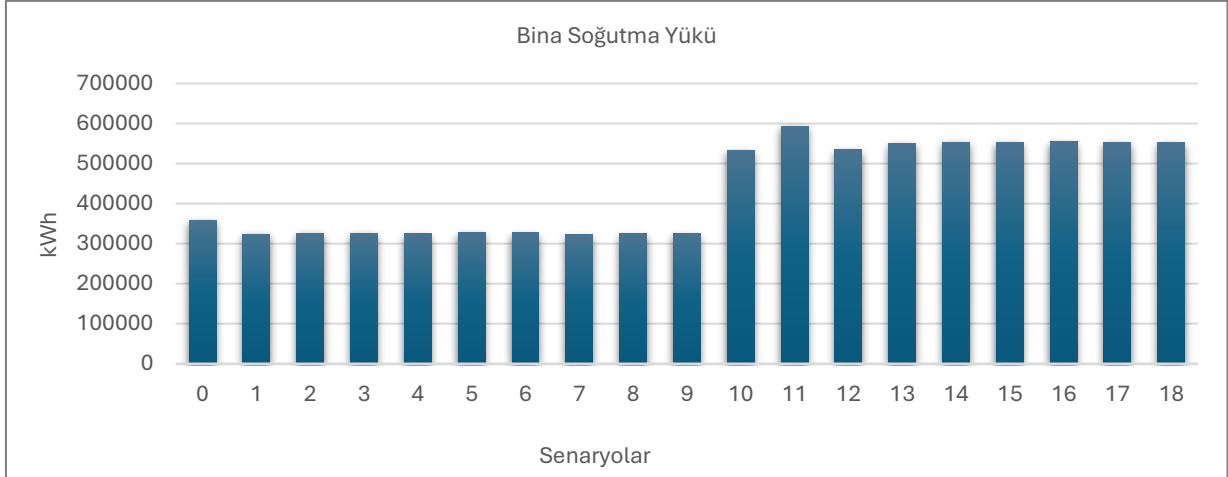
Bu kısımda bina kabuğunda yapılan tüm enerji etkin iyileştirmeler sonucu binanın tüketmekte olduğu ısıtma eneşisi (doğalgaz) karşılaştırılmıştır (Şekil 5.2). Grafiğe göre bina ısıtma yükü en fazla Senaryo 0’da olup yıllık 494 031 kWh’tir. Yani grafiğe göre Ankara ili için bina kabuğu U değerleri Senaryo 0; binanın duvar ısı geçirgenlik değeri 0,508 W/M²k, döşeme ısı geçirgenlik değeri 0,445 W/M²k, çatı için 0,327 W/M²k ve pencereler için 2,325 W/M²k verimli değildir sonucuna ulaşılabilir.



Şekil 5.2. Bina yıllık ısıtma enerşisi ihtiyacı

Üçüncü aşama

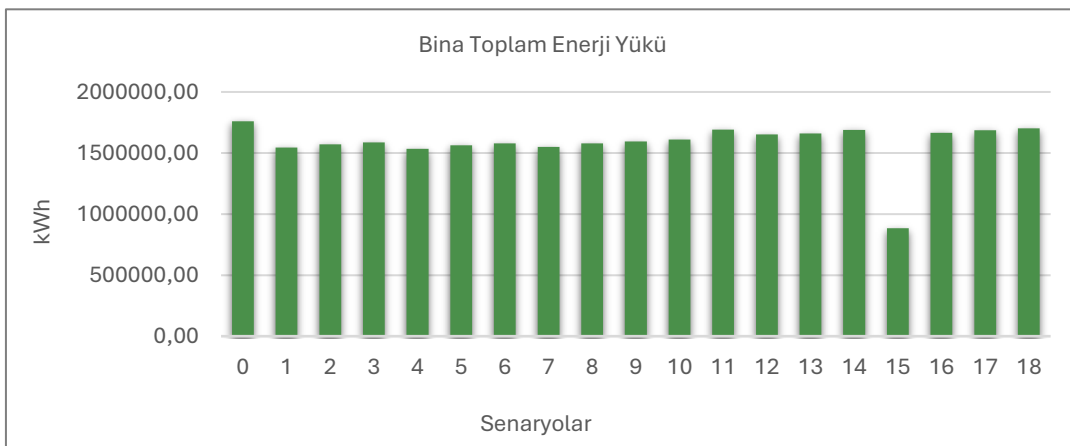
Bu kısımda bina kabuğunda yapılan tüm enerji etkin iyileştirmeler sonucu binanın tüketmekte olduğu soğutma eneşisi (elektrik) karşılaştırılmıştır (Şekil 5.3). Grafiğe göre bina soğutma yükü en fazla Senaryo 11’ de olup, yıllık 593 603 KWh ‘tir. Senaryo 11 için yapı kabuğu malzeme U değerleri ise; duvar 0,2 W/M²k, döşeme 0,445 W/M²k, çatı 0,5 W/M²k, pencere için ise 1,33 W/M²k ‘tir. Yine grafiğe göre yıllık soğutma yükü en düşük Senaryo 7’dir. Senaryo 7 için yapı mazlemesi U değerleri ise duvar 0,13 W/M²k, döşeme 0,445 W/M²k, çatı 0,5 W/M²k, pencere için ise 2,325 W/M²k ‘tir.



Şekil 5.3. Bina yıllık soğutma enerjisi ihtiyacı

Dördüncü aşama

Bu kısımda bina kabuğunda yapılan tüm enerji etkin iyileştirmeler sonucu binanın tüketmekte olduğu toplam enerji ihtiyacı karşılaştırılmıştır (Şekil 5.4). Grafığe göre bina enerji talebi en fazla Senaryo 0'da olup yıllık 1 758 887,28 kWh'tir. Yapılan malzeme iyileştirmeleri sonucu en verimli senaryo, Senaryo 15 olup yıllık enerji talebi toplam 883 667,03 kWh'tir. Senaryo 15'in yapı malzemesi U değerleri binanın duvar ısı geçirgenlik değeri 0,3 W/M²k, döşeme ısı geçirgenlik değeri 0,445 W/M²k, çatı için 0,5 W/M²k ve pencereler için 1,96 W/M²k olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.4. Bina tüm yıllık toplam enerji tüketim grafığı

Tüm karşılaştırmalı analizlerden hareketle bina enerji tasarrufu sağlanmasında yapı kabuğu ısı geçirgenlik değerlerinin doğru kombinasyonu, değerlerin analizi maliyet ve işletme

açısından oldukça önemlidir. Yapılan analizlerde, bu çalışmaya göre bina enerji etkin iyileştirme için en optimum senaryo, Senaryo 15 olarak değerlendirilirse Ankara ili ofis binaları için yapı kabuğunda kullanımı önerilen malzeme U değerleri değerleri binanın duvar ısı geçirgenlik değeri 0,3 W/M²k, döşeme ısı geçirgenlik değeri 0,445 W/M²k, çatı için 0,5 W/M²k ve pencereler için 1,96 W/M²k olarak belirlenmiştir. Tüm bunların yanı sıra senaryo 15 için bina çatısına fotovoltaik panel entegrasyonunu da değerlerirsek binada Senaryo 0 yani mevcut duruma göre (mevcut durum yıllık enerji talebi 1 758 887,28 kWh) toplamda yaklaşık %17 enerji tasarrufu sağlanması analiz edilmiştir.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde enerji, yaşadığımızın çevrenin en önemli sorunlarından biridir. Enerji kaynağına duyulan ihtiyaçları azaltmak, buna yakın önemlemler almak da bu soruna çözüm alternatiflerinden güçlülerinden bazılarıdır. İnşaat sektörü küresel enerji ve çevre açısından özellikle gelişmekte olan bölgelerde, artan nüfus ve altyapı gelişimi ile önemli bir paydaştır. Bu bağlamda gelecekte mevcut binaların önemi daha da artacaktır. Enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji önlemleri ile binalar önemli ölçüde, enerji açısından kendi kendine yeterli hale gelebilmekte ve aynı zamanda karbon ayak izi ve enerji tüketiminin azalmasını da sağlayabilmektedir. Binalarda düşük karbonlu, yenilenebilir ve enerji tasarruflu çözümlerin benimsenmesi son trendler arasında gösterilmektedir.

Etkinleştirme politikaları, bilgi sağlanması, eğitim ve kapasite geliştirme ve sanayi dahil, verimliliği artırmak için gönüllü taahhütlerde bulunmaktadır. Düzenlemeler, teşvikler, piyasaya dayalı önlemler gibi bir kombinasyonu araçlar ve kapasite geliştirme gibi inşaat sektöründeki sürdürülebilirlik standartlarını iyileştirebilmektedir.

Bu çalışma, enerji tüketiminde büyük payı olan mevcut bina stoğunun sorgulanması ile başlamıştır. Bu payda Ankara ilinde yoğunluğu oluşturan binalardan biri de ofis binalarıdır. Ankara ilinde mevcut bina stoğunu ağırlıklı olarak çok katlı ofis binaları oluşturmaktadır. Bu binaların büyük yoğunluğu enerji verimliliği açısından yeterli sertifikaya sahip değildir. Bu çalışmada mevcutta enerji tüketimi oldukça yüksek olan bu binalar için enerji verimliliği açısından neler yapılabileceği sorusuna yanıt aranmıştır. Bu yanıt sağlanırken çeşitli bilgisayar programlarından faydalanılmış ve oluşturulan iyileştirme denemeleri-senaryolar üzerinden sonuca ulaşılmıştır.

Akıllı, sürdürülebilir binalara ulaşmak için inşaat sektöründe önemli çalışmalar bulunmaktadır. Günümüze kadar inşaat sektörü bu temel teknolojileri entegre etmekte zorlanmıştır. Bu teknolojilerin kullanımının nasıl optimize edileceğine ilişkin bilgi azdır ve çok az tasarım kılavuzu mevcuttur. Teknik bilgiler hala zayıf ve yaygın olarak kullanılır değildir. Ayrıca uygulamalar alanında gerçek bina güçlendirme müdahaleleri hala çok az ve çok yenidir.

Gelecekteki araştırma ve geliştirmeler sadece bina ölçeğinde değil, daha büyük ölçek (örneğin, kentsel ve şebeke çapında) arasındaki karmaşık etkileşimleri tanımalıdır. Gelişmiş inşaat malzemelerinin kullanıma sunulması, binaların enerji ve çevre verimliliğinin bütünüyle iyileştirilmesi ile sağlanmaktadır. Yeni işlevler ve geliştirilmiş özellikler sunarak, gelişmiş malzemelerden üretilen ürünler sürdürülebilir bütünleşik bir yaklaşımla mevcut ürün ve süreçlere değer katmaktadır. Bu ileri teknoloji malzemeler ve enerji verimli olmayan mevcut binaların yapı kabuğundaki iyileştirme senaryolarının bilgisayar destekli ortamda çalışmalarının değerlendirilmesi son derece önemlidir.

Bu tez çalışması ofis binalarında yapı kabuğunda yapılabilecek enerji etkin iyileştirmelerin mimari açıdan neler olabileceği hakkında örnek bir model olma potansiyeline sahip olmasıyla birlikte, gelecekte yapı kabuğunda enerji verimliliği konusunda CO₂ emisyonu, gölgeleme elemanlarının etkisi, camlarda gelişen teknolojiler, nanoteknolojik malzemelerin yapıda kullanımı, akıllı sistemler gibi parametrelerin 3B modeller aracılığıyla simülasyonu ile verimli çözümler önermektedir. Binalarda yeşil enerjiler, çift cephe kullanımı, yapı malzemesinde kullanılan ısıl geçirgenlik değerlerinde optimizasyon için uygulamada pratik sağlaması amacıyla 3B modellerin kullanımı oldukça önemlidir.

KAYNAKLAR

- Abtar, A. N. (2021). A review of the development and applicability of double-skin facades in hot climates. *Scientific Journal of Koya University*, 9(2), 96–106.
- Ahriz, A., Bennadji, A., Bennadji, A., and Assaf, M. N. (2022). The use of double-skin facades to improve the energy consumption of high-rise office buildings in a Mediterranean climate (Csa). *Sustainability*, 14(10), 6004.
- Akdoğan, H., ve Güçer, G. (2023). Güçlendirme projelerinde karşılaşılan sorunlar ve çözüm önerileri. *Türkiye Mühendislik Araştırmaları ve Eğitimi Dergisi (TMAED)*, (2), 45–58.
- Alajmi, A. (2012). Energy audit of an educational building in a hot summer climate. *Energy and Buildings*, 47, 122–130.
- Aldawoud, A., Salameh, T., and Kim, Y. K. (2021). Double skin façade: Energy performance in the United Arab Emirates. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 16(4), 387–405.
- Altınsoy, Y. (2024). Ülkemizde enerji verimliliği kapsamında binalarda enerji tasarrufu ve bina enerji kimliklerine yönelik bir çalışma. *Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı*, 13-17.
- Apte, Michael G, and Apte, Joshua S (2010), A Pilot Study of the Effectiveness of Indoor Plants for Removal of Volatile Organic Compounds in Indoor Air in a Seven-Story Office Building. Lawrence Berkeley National Lab., Berkeley, CA (United States), 5-24.
- Atmaca, U. (2016). TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları standardındaki güncellemeler. *Tesisat Mühendisliği*, (154), 21–35.
- Ayhan, D., and Sağlam, Ş. (2012). A technical review of building-mounted wind power systems and a sample simulation model. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 1040-1049.
- Balocco, C., and Colombari, M. (2006). Thermal behaviour of interactive mechanically ventilated double glazed façade: Non-dimensional analysis. *Energy and Buildings*, 38(1), 1–7.
- Bielek, B., Klem, J., and Macák, M. (2019). Physical cavity of a double skin facade as a source of pre-heated air in the winter season for the heat recovery unit of a facade. *Slovak Journal of Civil Engineering*, 27(2), 7–10.
- Brás, A., and Gomes, V. (2015). LCA implementation in the selection of thermal enhanced mortars for energetic rehabilitation of school buildings. *Energy and Buildings*, 92, 1–9.
- Buildings Performance Institute Europe (BPIE). (2010). *Cost optimality: Discussing methodology and challenges within the recast Energy Performance Directive*. BPIE.

- Casini, M. (2016). *Smart buildings: Advanced materials and nanotechnology to improve energy-efficiency and environmental performance*. Cambridge: Woodhead Publishing.
- Casini, M. (2022). *Construction 4.0*. Woodhead Publishing, (2016), 221-260.
- Cheibas, I., Lloret-Fritschi, E., Rachele, C., Delbeke, M., Rust, R., Gramazio, F., and Kohler, M. (2025). Emerging building technologies and their impact on facade design. In *Construction Matters: Proceedings of the 8th International Congress on Construction History* (p. 371).
- Cotterell, J., and Dadeby, A. (2014). *The Passivhaus handbook* (pp. 44–46). Green Books.
- Cüce, M. A. P., Güçlü, T., Beşir, A. B., and Cüce, E. (2019). Enerji verimli binalar için sürdürülebilir ve çevre dostu pencere ve cam teknolojileri: Son gelişmeler ve uygulamalar. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(3), 503–522.
- Çengel, Y. A. (2011). Energy efficiency as an inexhaustible energy resource with perspectives from the US and Turkey. *International Journal of Energy Research*, 35(2), 153–161.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2013). *Enerji etkin binalara ulaşma yolunda temel tasarım prensipleri*. Ankara: T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Yayınları.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2020). *Kamu binalarının enerji verimli yenilenmesine yönelik rehber*.
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2022). *Binalarda enerji performansı yönetmeliğinde değişiklik yapılmasına dair yönetmelik* (No. 31755).
- Çolak, B. B., İlerisoy, Z. Y., and Soyluk, A. (2019). Ofis binaları üzerinden cephe tasarım parametrelerinin değerlendirilmesi: Ankara ili örneği. *Uluslararası Tasarım ve Mühendislik Sempozyumu - IDES 2019*.
- Danial, C., Mahmoud, A., and Tawfik, M. (2023). Methodology for retrofitting energy in existing office buildings using building information modelling programs. *Ain Shams Engineering Journal*, 14, 102175.
- Dardouri, S., Mankai, S., Almoneef, M. M., Mbarek, M., and Sghaier, J. (2023). Energy performance based optimization of building envelope containing PCM combined with insulation considering various configurations. *Energy Reports*, 10, 895–909.
- De Boeck, L., Verbeke, S., Audenaert, A., and De Mesmaeker, L. (2015). Improving the energy performance of residential buildings: A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 960–975.
- De Wilde, P. (2014). The gap between predicted and measured energy performance of buildings: A framework for investigation. *Automation in Construction*, 41, 40–49.
- De, B., and Mukherjee, M. (2014). Strategies and challenges for energy efficient retrofitting: Study of the Empire State Building. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, 94(4), 251–256.

- Deng, S. M., and Burnett, J. (2000). A study of energy performance of hotel buildings in Hong Kong. *Energy and Buildings*, 31(1), 7–12.
- Desogus, G., Di Pilla, L., Mura, S., Pisano, G. L., and Ricciu, R. (2013). Economic efficiency of social housing thermal upgrade in Mediterranean climate. *Energy and Buildings*, 57, 354–360.
- Douglas, J. (2006). *Building adaptation*. Routledge, Published March 15, 2006, 550-565.
- ECORYS. (2014). *Resource efficiency in the building sector*. Rotterdam: ECORYS.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. (2016). Bütünleşik bina tasarımı yaklaşımının Türkiye ortamı ve koşullarına uyarlama raporu.
- EPIA (European Photovoltaic Industry Association). (2011). *Solar generation 6: Solar photovoltaic electricity empowering the world*. Brussels: EPIA.
- European Commission. (2015, June 18). *Cleaner cooling: Meeting the rapid growth in transport and urban cooling demand*. Brussels: Committee of the Regions Building.
- European Committee for Standardization (CEN). (2017). *EN ISO 52000-1: Energy performance of buildings — Overarching EPB assessment — Part 1: General framework and procedures*. Brussels: CEN-CENELEC.
- European Parliament and Council. (2003). *Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings*. *Official Journal of the European Communities*, L 1/65.
- Fang, Y., and Cho, S. (2019). Design optimization of building geometry and fenestration for daylighting and energy performance. *Solar Energy*, 191, 7–18.
- Fatemi Abhari, S. (2022). *Impact of façade characteristics on energy and daylighting performance of medium office buildings in hot humid climates* (Master's thesis, The University of Texas at San Antonio).
- Vladyková, P., Rode, C., Nielsen, T. R., & Pedersen, S. (2008). Passive Houses for Arctic Climates. In *Passivhus Norden 2008 SINTEF*.
- Feist, W., Schnieders, J., Dorer, V., and Haas, A. (2005). Re-inventing air heating: Convenient and comfortable within the frame of the Passive House concept. *Energy and Buildings*, 37(11), 1186–1203.
- Ganguly, A., Chowdhury, D., and Neogi, S. (2016). Performance of building roofs on energy efficiency – A review. *Energy Procedia*, 90, 200-208.
- Gökgur, A. (2015). *Current and future use of BIM in renovation projects* (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). Chalmers University of Technology.
- Gratia, E., and De Herde, A. (2004). Optimal operation of a south double-skin facade. *Energy and Buildings*, 36(1), 41–60.

- Günay, K., ve Küçük, A. (2020). Dinamik kontrollü uyarlanabilir cephe ve gölgeleme sistemlerinin termal konfor ve enerji performansı üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi. *Journal of the Faculty of Architecture, Gazi University*, 37(2), 1039–1052.
- Hay, R., and Ostertag, C. P. (2018). Life cycle assessment (LCA) of double-skin façade (DSF) system with fibre-reinforced concrete for sustainable and energy-efficient buildings in the tropics. *Building and Environment*, 142, 327–341.
- Holechek, J. L., Geli, H. M. E., Sawalhah, M. N., and Valdez, R. (2022). A global assessment: Can renewable energy replace fossil fuels by 2050? *Sustainability*, 14(9), 4792.
- IDES'19 International Design and Engineering Symposium. (2019, October 10–12). *Sustainability, innovation, production*. Izmir Democracy University, İzmir, Turkey.
- IEA. (2013a). *Transition to sustainable buildings: Strategies and opportunities to 2050*. Paris: OECD/IEA.
- IEA. (2013b). *Technology roadmap: Energy efficient building envelopes*. Paris: OECD/IEA.
- IEA. (2013c). *Modernising building energy codes*. Paris: OECD/IEA.
- IEA. (2014). *Capturing the multiple benefits of energy efficiency*. Paris: OECD/IEA.
- IEA. (2015a). *Tracking clean energy progress 2015*. Paris: OECD/IEA.
- IEA. (2015b). *Energy Technology Perspective 2015*. Paris: OECD/IEA.
- IEA. (2015c). *Building energy performance metrics*. Paris: OECD/IEA.
- IEA. (2015d). *Energy efficiency market report 2015*. Paris: OECD/IEA.
- Irshad, K., Habib, K., Saidur, R., Kareem, M. W., and Saha, B. B. (2019). Study of thermoelectric and photovoltaic facade system for energy efficient building development: A review. *Journal of Cleaner Production*, 209, 1376–1395.
- İçel, Y., Mamiş, M. S., ve Buğutekin, A. (2016). Güneş bacası sisteminden elektrik üretim verimliliğinin incelenmesi. *EMO Bilimsel Dergi*, 5(10), 20–23.
- İlerisoy, Z. Y., and Başgöl, M. (2019). Yapılarda yükselme ve başkent Ankara örnekleri üzerinden tarihsel incelenmesi. *Online Journal of Art and Design*, 7(2).
- İsmiş, B. (2015). Gelişmekte olan ülkelerde elektrik tüketimi, ekonomik büyüme ve nüfus ilişkisi. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 5(1), 259–274.
- Jafari, A., Valentin, V., and Russell, M. (2016). Sensitivity analysis of factors affecting decision-making for a housing energy retrofit: A case study. In *Construction Research Congress 2016* (pp. 1254–1263). American Society of Civil Engineers.

- Joblot, L., Paviot, T., Deneux, D., and Lamouri, S. (2017). Literature review of Building Information Modeling (BIM) intended for the purpose of renovation projects. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 10518–10525.
- JRC Institute for Energy and Transport. (2015). *Energy renovation: The trump card for the new start for Europe*. Brussels: JRC.
- Kamal, M. A. (2020). Technological interventions in building facade system: Energy efficiency and environmental sustainability. *Architecture Research*, 10(2), 45–53.
- Katipamula, S., Underhill, R. M., Goddard, J. K., Taasevigen, D. J., Piette, M. A., Granderson, J., ... and Kuruganti, T. (2012). *Small-and medium-sized commercial building monitoring and controls needs: A scoping study* (No. PNNL-22169). Pacific Northwest National Laboratory.
- Liu, C., Xu, X., Zuo, J., and Chen, Z. (2022). Energy retrofitting assessment of public building envelopes in China's hot summer and cold winter climate region. *Buildings*, 12(11), 1866.
- Ma, W., Wang, X., Shou, W., and Wang, J. (2024). Energy-efficient façade design of residential buildings: A critical review. *Developments in the Built Environment*, 100393.
- Madushika, U. G. D., Jayasinghe, M. T. R., and Gunawardena, D. S. (2023). Energy retrofitting technologies of buildings: A review-based assessment. *Energies*, 16(13), 4924.
- Mahindra Towers. (2014). *Retrofitting Mahindra Towers: How an innovative ESCO model lowers energy bills with no upfront cost* (Case Study No. CS: 14-04-A). September.
- Marszal, A. J., Heiselberg, P., Bourrelle, J. S., Musall, E., Voss, K., Sartori, I., and Napolitano, A. (2011). Zero Energy Building—A review of definitions and calculation methodologies. *Energy and Buildings*, 43(4), 971–979.
- Mehaoued, K., ve Lartigue, B. (2019). Influence of a reflective glass façade on surrounding microclimate and building cooling load: Case of an office building in Algiers. *Sustainable Cities and Society*, 46, 101443.
- Mihlayanlar, E., ve Meral, S. (2023). Mevcut binalarda enerji verimli yenileme ve EKB uygulaması. *Kırklareli University Journal of Engineering and Science*, 9(2), 478–497.
- National Energy Policy Development Group. (2001). *National Energy Policy*. U.S. Government Printing Office.
- Nguyen, M. (2020). *Double skin facade (DSF): How is efficiency of thermal performance of DSF in hot weather condition?*, 5-7.
- Işık, S., & Yavuz, S. (2022). Biyokütleden Elde Edilen Biyoyakıtlara Genel Bir Bakış. *Avrupa Bilim Ve Teknoloji Dergisi*(34), 193-201.
- OECD. (2012). *OECD environmental outlook to 2050: The consequences of inaction*. OECD Publishing.

- Öner, D., and Arpacı, G. S. (2022). Effect of urban form on building performance and CO₂ emissions in hot and cold climates, VII. Congress on Urban Studies, May 2022.
- Balçık, S., Yamaçlı, R., Sürdürülebilir Bina Yenileme Yöntemleri Üzerine Bir İnceleme, Online Journal of Art & Design, 2024, Cilt:12 Sayı:3.
- Özgen, A. (1989). Çok katlı yüksek yapıların tarihsel gelişimi ve son aşama: tübüler sistemler, Yapı Dergisi, 89, Yem Yayınları, İstanbul, s.41-53.
- Pacheco, R., Ordóñez, J., and Martínez, G. (2012). Energy efficient design of building: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(6), 3559-3573.
- Pacheco-Torgal, F., Diamanti, M. V., Nazari, A., and Granqvist, C. G. (Eds.). (2013). *Nanotechnology in eco-efficient construction: Materials, processes and applications*. Cambridge: Woodhead Publishing.
- Pacheco-Torgal, F., Granqvist, C.-G., Jelle, B. P., Vanoli, G. P., Bianco, N., and Kurnitski, J. (2017). *Cost-effective energy-efficient building retrofitting* (pp. 1–20). Woodhead Publishing.
- Pacific Northwest National Laboratory. (2011, September). *Advanced Energy Retrofit Guides: Office Buildings*. U.S. Department of Energy.
- Pagliaro, M., Ciriminna, R., and Palmisano, G. (2010). BIPV: Merging the photovoltaic with the construction industry. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 18(1), 61–72.
- Pamir, N. (Aralık 2024). 2025'e girerken Türkiye enerji görünümü. *Bütün Dünya Dergisi*. Cilt:192297, 79-80.
- Patterson, M., Vaglio, J., and Noble, D. (2014). Incremental façade retrofits: Curtainwall technology as a strategy to step existing buildings toward zero net energy. *Energy Procedia*, 57, 3150–3159.
- Poirazis, H. (2006). *Double skin façades: A literature review* [Master's thesis, Lund University].
- Putinceva, N., Ivanova, M., Liubarskaia, M., and Ghosh, S. K. (2020). Implementation of renewable energy sources in the Russian energy system: Opportunities and threats.
- Qiang, Q., Tang, S., Hao, J., Di, L. S., Wu, G., and Ren, S. (2023). Building automation systems for energy and comfort management in green buildings: A critical review and future directions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 179, 113301.
- Retrofitting Mahindra Towers: How an Innovative ESCO Model Lowers Energy Bills With No Upfront Cost. (2014, September). CS: 14-04-A.
- Sadineni, S. B., Madala, S., and Boehm, R. F. (2011). Passive building energy savings: A review of building envelope components. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 3617-3631.

- Saidur, R., Abdelaziz, E. A., Demirbas, A., Hossain, M. S., and Mekhilef, S. (2011). A review on biomass as a fuel for boilers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(5), 2262-2289.
- Salata, F., de Lieto Vollaro, A., and Ferraro, A. (2014). An economic perspective on the reliability of lighting systems in building with highly efficient energy: A case study. *Energy Conversion and Management*, 84, 623–632.
- Sarioğlu, M. (2001). *Ankara bir modernleşme öyküsü (1919–1945)*. Ankara: Kültür Bakanlığı Yayını.
- Sözen, A., Menlik, T., & Anvari-moghaddam, A. (2020). Mapping of Turkey's District Heating/Cooling Requirements. *Politeknik Dergisi*, 23(3), 867-878.
- Şahin, C. (2016). *Ofis binalarının enerji-etkin yenilenmesi (retrofit) sürecinde kullanıcı memnuniyetinin değerlendirilmesi* [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi].
- Thiers, S., and Peuportier, B. (2012). Energy and environmental assessment of two high energy performance residential buildings. *Building and Environment*, 51, 276–284.
- Trubiano, F. (2013). Performance based envelopes: A theory of spatialized skins and the emergence of the integrated design professional. *Buildings*, 3(3), 689–712.
- U.S. Energy Information Administration (EIA). (2012). *Projection of world energy growth in consumption by fuel type with historical data up to 2013* (DOE/EIA-0484). U.S. Department of Energy.
- UNEP (United Nations Environment Programme). (2012). *Building design and construction: Forging resource efficiency and sustainable development*. Nairobi: UNEP.
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2013). *UNEP Annual Report 2013*. <https://www.unep.org/resources/unep-annual-report-2013>
- Urge-Vorsatz, D., and Novikova, A. (2008). Potentials and costs of carbon dioxide mitigation in the world's buildings. *Energy Policy*, 36(2), 642–661.
- İnternet:URL-1:*Total energy consumption by sectors*. Retrieved from <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/en/total-energy-consumption-by-sectors-i-86042>, Son Erişim Tarihi: 15.03.2025.
- İnternet:URL-2:<https://www.ndtvprofit.com/business/mahindra-mahindra-financial-services-q2-update-loan-disbursement-fell-in-september-quarter>, Son Erişim Tarihi: 15.03.2025.
- İnternet:URL-3: (n.d.). *Enhanced geothermal systems*. Climate Investment Coalition. Retrieved from <https://cic.earth/climate-change/climate-solutions/enhanced-geothermal/> Son Erişim Tarihi: 15.03.2025.
- İnternet:URL-2:<https://myhq.in/office-space-for-rent/paharpur-business-centre-nehruplace>, Son Erişim Tarihi: 15.03.2025.

İnternet:URL-3: <https://www.onepostofficesq.com/availabilities.html>, Son Erişim Tarihi: 15.03.2025.

İnternet:URL-4: https://tr.wikipedia.org/wiki/Empire_State_Binas%C4%B1, Son Erişim Tarihi: 15.03.2025.

İnternet:Pre retrofit design studies. URL-5:<http://facaderetrofit.org/projects/one-prudential-plaza>. Son Erişim Tarihi: 15.03.2025.

İnternet:4 Passive Strategies for Energy-Efficient Building Systems.URL-9: <https://cove.inc/blog/green-building-4-passive-strategies-energy-efficient-building-systems> Son Erişim Tarihi: 15.04.2025.

İnternet: EdgeProp Malaysia's Guidance Note for the improvement of indoor air quality and ventilation in buildings amid the Covid-19 pandemic and beyond URL-11: <https://www.edgeprop.my/content/1892110/edgeprop-malaysias-guidance-note-improvement-indoor-air-quality-and-ventilation-buildings-amid-covid-19-pandemic-and-beyond>, Son Erişim Tarihi: 15.04.2025.

İnternet:European Commission. (2020). *Cost-optimal levels of minimum energy performance requirements for buildings and building elements: Guidelines*. <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/45547>, Son Erişim Tarihi:01.02.2025.

İnternet: *Yapı Bilgisi Modelleme* URL-12: Autodesk. (t.y.). *BIM Nedir?* <https://www.autodesk.com/tr/solutions/bim>, Son Erişim Tarihi: 15.04.2025.

İnternet: ArchDaily. (2022, November 18). *The Decarbonization Challenge: 4 Passive Strategies for Energy-Efficient Building Systems*. URL: <https://www.archdaily.com/994391/the-decarbonization-challenge-4-passive-strategies-for-energy-efficient-building-systems>, Son Erişim Tarihi:17.04.2025.

İnternet:Adatech. (2023). HVAC sistemi nedir? Neden kullanılır? URL: <https://www.adatech.com.tr/hvac-nedir-hvac-sistemi-nasil-calisir/> Son Erişim Tarihi:15.03.2025.

İnternet:BiMteknoloji. (2020). BIM yazılımları hangileridir? URL: <https://www.bimteknoloji.com/fikir/bim-yazilimlari-hangileridir/>, Son Erişim Tarihi:10.04.2025.

İnternet:BioTR. (2024). Pasif iklimlendirme ve soğutma: Ev içi enerji yönetimi ile sürdürülebilir yaşam. URL:<http://biotr.org/index.php/2024/09/23/pasif-iklimlendirme-ve-sogutma-ev-ici-enerji-yonetimi-ile-surdurulebilir-yasam> Son Erişim Tarihi: 07.04.2025

İnternet:buildingSMART International. (2024). About buildingSMART. URL: <https://www.buildingsmart.org/about/> Son Erişim Tarihi:07.04.2025.

İnternet:buildingSMART International. (2024). What is openBIM? <https://www.buildingsmart.org/standards/what-is-openbim/> Son Erişim Tarihi:07.04.2025.

- İnternet:Camusaoglu, N. (2025). New York'un simgesi: Empire State binası. URL: <https://www.ekoyapidergisi.com>, Son Erişim Tarihi:07.04.2025.
- İnternet:Dogru, M. (2024). Mevcut binalarda enerji verimliliğini artırmak için mimari ve mühendislik çözümleri. Web: <https://www.ecobuild.com>, Son Erişim Tarihi:02.02.2025
- İnternet:Enerji Kimlik Belgesi. (n.d.). URL:<https://www.enerjikimlikbelgesi.com>, Son Erişim Tarihi:15.01.2025
- İnternet:European Commission. (2020). *Energy Performance of Buildings Directive (EPBD)*, URL: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en, Son Erişim Tarihi:03.05.2025
- İnternet: HOK. (2024). Greenway Self Park. URL: *ArchDaily*. <https://www.archdaily.com/74468/greenway-self-park-hok> Son Erişim Tarihi: 03.05.2025
- İnternet: Houses-Apartments. (t.y.). How does BIM support industrial plant design? URL:<https://houses-apartments.com/tr/architecture/building-information-modeling-bim/how-does-bim-support-industrial-plant-design?>, Son Erişim Tarihi:01.01.2025
- İnternet: Malzeme Bilimi ve Teknolojisi. (n.d.). Isı geri kazanımlı havalandırma sistemi (HRV). URL:<https://malzemebilimi.net/isi-geri-kazanimli-havalandirma-sistemi-hrv.html> Son Erişim tarihi: 15 Mart 2025.
- İnternet:Infurnia, *Active Design Approach for Energy Efficiency*. URL: <https://www.infurnia.com/blog/active-design-approach-for-energy-efficiency>, Son Erişim Tarihi:02.04.2025.
- İnternet:International Energy Agency (IEA). (2021). *Energy efficiency 2021 report*. URL: <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2021>, Son Erişim Tarihi:02.04.2025.
- İnternet:Ministry of Energy and Natural Resources. (2021). *Enerji işleri genel müdürlüğü denge tabloları*. Retrieved from URL: <https://enerji.gov.tr/enerji-isleri-genel-mudurlugu-denge-tablo-lari> Son Erişim Tarihi:15.02.2025.
- İnternet:Passive House Database. (n.d.). URL: <https://passivehouse-database.org/>, Son Erişim Tarihi:06.03.2025.
- İnternet:Propm. (2024). *Gün ışığı analizi ve modelleme*. Propm. URL: <https://www.propm.com.tr/product-gunisigi-analizi-ve-modelleme> , Son Erişim Tarihi: 15.03.2025.
- İnternet:Sarissa. BIM tabanlı proje planlama: 4D ve 5D BIM'in kullanım alanları, çakışma tespiti ve bakım süreçlerindeki avantajlar. URL: <https://www.sarissa.tr/bim-tabanlı-proje-planlama-4d-ve-5d-bimin-kullanim-alanlari-cakisma-tespiti-ve-bakim-sureclerindeki-avantajlar.html>, Son Erişim Tarihi: 10.03.2025.
- İnternet:Turkish State Meteorological Service. (2025). URL: <http://www.mgm.gov.tr>, Son Erişim Tarihi: 15.03.2025.

- İnternet:Turkish State Meteorological Service. (n.d.). *İl ve ilçe verileri*. URL:<https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx>, Son Erişim Tarihi: 15.03.2025.
- İnternet:U.S. Department of Energy. (2022). Building energy efficiency solutions. URL: <https://www.energycodes.gov/RECI>, Son Erişim Tarihi: 10.02.2025.
- İnternet:World Green Building Council. (2023). *The role of green buildings in a sustainable future*. URL: <https://worldgbc.org/wgbw23/>, Son Erişim Tarihi:10.01.2025.
- İnternet:Yeşil Bina. (2023). Gri su sistemleri enerji verimliliği için neden önemli? <https://yesilbina.net/gri-su-sistemleri-enerji-verimliliği-icin-neden-onemli/>, Son Erişim Tarihi:10.01.2025.
- US Department of Energy. (2014). *R and D roadmap for emerging window and building envelope technologies*. Washington.
- Ürge-Vorsatz, D., Cabeza, L. F., Serrano, S., Barreneche, C., and Petrichenko, K. (2015). Heating and cooling energy trends and drivers in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 85–98.
- Voss, K., Goetzberger, A., Bopp, G., Häberle, A., Heinzl, A., and Lehmberg, H. (1996). The self-sufficient solar house in Freiburg—Results of 3 years of operation. *Solar Energy*, 58(1–3), 17–23.
- Walle, A., Kim, M., Alam, W., Wang, X., Wu, D., Dash, S., Rabaey, K., and Kim, J. (2023). Greywater reuse as a key enabler for improving urban wastewater management. *Environmental Science and Ecotechnology*, 16, 100277.
- Woo, J. H., and Menassa, C. (2014). Virtual retrofit model for aging commercial buildings in a smart grid environment. *Energy and Buildings*, 80, 424–435.
- Yılmaz, Z., and Dündar, U. (2011). Türkiye’de bina enerji performansının belirlenmesinde kullanılan yönetmelik ve standartlar. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 124, 46–53.
- Zhang, X., Shi, W., Hu, Q., Yan, B., Malkawi, A., and Li, N. (2017). Distributed temperature control via geothermal heat pump systems in energy-efficient buildings. *American Control Conference, 2017, May 24-26*.



Gazili olmak ayrıcalıktır