



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**BİNA ENERJİ MODELLEMESİ
YÖNTEMİYLE KONUT YAPISI ENERJİ
ANALİZİ: ANKARA YEŞİLTEPE YAPI
KOOPERATİFİ ÖRNEĞİ**

Ali ÇAM

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mimarlık Anabilim Dalı

**Haziran-2023
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Ali ÇAM tarafından hazırlanan “Bina Enerji Modellemesi Yöntemiyle Konut Yapısı Enerji Analizi: Ankara Yeşiltepe Yapı Kooperatifi Örneği” adlı tez çalışması 22/06/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. S. Zerrin KORKMAZ

.....

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa DERELİ

.....

Üye

Doç. Dr. Süheyla BÜYÜKŞAHİN

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun .../.../20.. gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Şerife Yurdağül KUMCU
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Ali ÇAM

Tarih: 03.07.2023

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİNA ENERJİ MODELLEMESİ YÖNTEMİYLE KONUT YAPISI ENERJİ ANALİZİ: ANKARA YEŞİLTEPE YAPI KOOPERATİFİ ÖRNEĞİ

Ali ÇAM

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa DERELİ

2023, 98 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa DERELİ

Prof. Dr. S. Zerrin KORKMAZ

Doç. Dr. Süheyla BÜYÜKŞAHİN

Teknolojik gelişmeler, üretim hızını artırırken enerji kaynaklarının hızla tükenmesine ve çevresel etkilere yol açmaktadır. Bu nedenle enerji etkin yapı tasarımı, sürdürülebilir bir çevre için önemlidir. Enerji etkin yapı tasarımında yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek, iklime uygun ve pasif iklimlendirme prensiplerine uygun tasarım yapmak, dönüştürülebilir malzemeler kullanmak, yerel malzemeleri tercih etmek önemlidir. Nüfusun hızla artışıyla birlikte konut ihtiyacı da hızla artarken, konutlarda enerji etkin tasarım önlemleri almak gereklidir. Konut tasarımında güneş ışığından faydalanarak ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerji yükünü azaltacak kararlar alınmalıdır. Enerji etkin yapı tasarımında, yapı sektöründeki teknolojik gelişmelerden faydalanılmaktadır. Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) ile yapıların inşaat ve işletme süreçleri sanal ortamda simüle edilmektedir. Bina Enerji Modellemesi (BEM) ise BIM modeline enerji verilerini yükleyerek oluşturulmaktadır. BEM, bina geometrisi, iklim verileri, yapı malzemeleri ve mekanik-elektriksel sistemlerin analizini gerçekleştirerek enerji performansını en iyi şekilde değerlendirmektedir. Çalışmanın amacı, enerji etkin olmayan mevcut konut yapılarının enerji performansını analiz etmek ve enerji etkin iyileştirme yöntemleri önermek için BEM yöntemiyle simülasyon yazılımlarını kullanmaktır. Çalışma kapsamında seçilen Ankara Yeşiltepe Yapı Kooperatifi 1. bloka ait geometri, iklim, konum, aktivite, mekanik ve elektrikli sistemler gibi veriler BEM yöntemiyle modellenerek enerji analizi yapılmıştır. Güncel durumun enerji analizinde ortaya çıkan sonuçlar neticesinde enerji etkin iyileştirme senaryoları kurgulanarak teker teker bu senaryoların güncel durumla karşılaştırılması yapılmıştır. Son olarak ise bütün iyileştirme senaryoları uygulanarak yapıda ne kadarlık bir enerji verimliliği sağlandığı ortaya konmuştur. Yapılan çalışmada alınan önlemler ile ısı konfor koşullarının iyileştirilebileceği, ısıtma enerji tüketiminin büyük ölçüde azaltılabileceği, fotovoltaik panellerin kullanımıyla alternatif elektrik enerjisinin binaya entegre edilerek aydınlatma gibi enerji yüklerinin karşılanabileceği ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Bina enerji modellemesi, enerji etkinlik, enerji simülasyonu, yapı bilgi modellemesi, yapı kabuğu

ABSTRACT

MS THESIS

ENERGY ANALYSIS OF HOUSING STRUCTURE WITH BUILDING ENERGY MODELING METHOD: ANKARA YEŞİLTEPE BUILDING COOPERATIVE EXAMPLE

Ali ÇAM

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN ARCHITECTURE**

Advisor: Dr. Instructor Member Mustafa DERELİ

2023, 98 Pages

Jury

**Dr. Instructor Member Mustafa DERELİ
Prof. Dr. S. Zerrin KORKMAZ
Assoc. Dr. Süheyla BÜYÜKŞAHİN**

Technological advancements lead to increased production speed, but they also result in the rapid depletion of energy resources and environmental impacts. Therefore, energy-efficient building design is crucial for sustainable environments. In energy-efficient building design, it is important to focus on renewable energy sources, incorporate climate-appropriate and passive climate control principles, utilize recyclable materials, and prefer local materials. As the population rapidly grows, there is an increasing demand for housing, necessitating the implementation of energy-efficient design measures in residential buildings. When designing residential structures, decisions should be made to reduce heating, cooling, and artificial lighting loads by utilizing sunlight. Energy-efficient building design benefits from technological advancements in the construction sector. Building Information Modelling (BIM) allows for the simulation of construction and operation processes in a virtual environment. Building Energy Modelling (BEM) is created by incorporating energy data into the BIM model. BEM includes building geometry, climate data, building materials, and mechanical-electrical systems, enabling a comprehensive analysis of energy performance. The aim of this study is to analyze the energy performance of existing non-energy-efficient residential buildings and propose energy-efficient improvement methods using simulation software based on the BEM approach. The selected data such as geometry, climate, location, activities, mechanical, and electrical systems of Block 1 belonging to Ankara Yeşiltepe Building Cooperative were modelled using the BEM method to conduct an energy analysis. Based on the results obtained from the energy analysis of the current state, energy-efficient improvement scenarios were devised and each scenario was compared with the current state. Finally, the implementation of all improvement scenarios revealed the extent of energy efficiency achieved in the building. The study demonstrated that measures can improve thermal comfort conditions, significantly reduce heating energy consumption, and integrate alternative electrical energy into the building through the use of photovoltaic panels to meet energy loads such as lighting.

Keywords: Building energy modeling, energy efficiency, energy simulation, building information modelling, building facade

ÖNSÖZ

Çalışmam boyunca desteklerini esirgemeyen, sabırla bana yol gösteren değerli hocam, tez danışmanım sayın Dr. Öğr. Üyesi Mustafa DERELİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim ve iş hayatım boyunca her zaman yanımda olup maddi ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme sonsuz teşekkürlerimi ve sevgilerimi sunarım.

Ali ÇAM
KONYA-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Problemin Tanımlanması	2
1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	3
1.3. Çalışmanın Adımları	3
2. KAYNAK VE KAVRAM ARAŞTIRMASI	5
2.1. Enerji Etkin Yapı	5
2.1.1. Enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik	5
2.1.2. Enerji etkin yapı tasarımı	6
2.1.3. Enerji etkin yapı tasarım parametreleri	7
2.1.4. Mevcut yapıların enerji etkin iyileştirilmesi	8
2.1.5. Yeni yapılarda enerji etkin tasarım	14
2.1.6. Yapılarda enerji etkinliğinin ölçülmesi	20
2.2. Yapı Kabuğu - Enerji İlişkisi	27
2.2.1. Yapı kabuğunun termofiziksel özellikleri	28
2.2.2. Yapı kabuğunun optik özellikleri	29
2.3. Yapı Kabuğu Enerji Performansı ve Maliyetinin Değerlendirilmesi	32
2.3.1. Isıl yüklerin değerlendirilmesi	32
2.3.2. Yaşam döngüsünün değerlendirilmesi	33
2.3.3. Sürdürülebilirlik değerlendirmesi	33
2.3.4. Maliyetin değerlendirilmesi	34
2.4. Bina Enerji Modellemesi Yaklaşımı	35
2.4.1. Bina Enerji Modellemesinde Tasarım Süreci	35
2.4.2. Bina Enerji Simülasyon Yazılımları	38
3. MATERYAL VE YÖNTEM	49
3.1. Çalışma Alanı Hakkında Genel Bilgiler	49
3.1.1. Ankara iklim değerlerinin TS 825'e göre değerlendirilmesi	50
3.1.2. Ankara'da toplu konut tipi yapıların gelişimi	51
3.1.3. Örnek yapının seçilmesi (Yeşiltepe Yapı Kooperatifi)	53
3.2. Yapı Geometrisinin 3B Modellenmesi	58
3.3. Enerji Parametrelerinin 3B Modelde Tanımlanması	60
3.3.1. İklim	60

3.3.2. Aktivite	61
3.3.3. Yapı kabuğu malzemeleri	62
3.3.4. Mekanik ve elektrikli sistemler.....	64
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	66
4.1. Güncel durumun enerji analizi (S0).....	66
4.2. Opak yüzeylerde ısıl performans iyileştirmeleri (S1).....	70
4.3. Şeffaf yüzeylerde ısıl performans iyileştirmeleri (S2).....	75
4.4. Teras çatıya PV (fotovoltaik) panel kurulması (S3)	79
4.5. Bütün senaryoların uygulanması (S4).....	82
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	90
KAYNAKLAR	92

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

CO₂ : Karbondioksit
°C : Santigrat Derece
U : Isı Geçirgenlik Katsayısı (W/m²K)
R : Isı Geçirgenlik Direnci (m²K/W)
m² : Metrekare
λ : Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)
m : Metre
kWh : Kilowatt saat
MWh : Megawatt saat
kg : Kilogram

Kısaltmalar

BM : Birleşmiş Milletler
TS 825 : Türk Standardı, Binalarda Isı Yalıtım Kuralları
Low-e : Low Emissivity
UV : Ultraviolet
HVAC : Heating, Ventilation, and Air Conditioning
PV : Fotovoltaik
LEED : Leadership in Energy and Environmental Design
BREEAM : Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology
CASBEE : Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency
GBCI : The Green Business Certification Inc.
JSBC : Japan Sustainable Building Consortium
iiSBE : International Initiative for a Sustainable Built Environment
ANSI : American National Standards Institute
ISO : International Organization for Standardization
B.E.S.T. : Binalardaki Ekolojik ve Sürdürülebilir Tasarım
ÇEDBİK : Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği
DOE : Department of Energy
TRNSYS : Transient System Simulation Tool
EMCS : Energy Management Control System
BEM : Building Energy Modelling (Bina Enerji Modellemesi)
BIM : Building Information Modelling
CFD : Computational Fluid Dynamics
LCA : Life-Cycle Assessment
WMO : The World Meteorological Organization
XPS : Ekstrüde Polistiren

1. GİRİŞ

Endüstri devrimi sonrası yaşanan teknolojik gelişmeler hayatın her alanında üretim hızının artmasına neden olmuştur. Bu gelişmelerle birlikte yaşam koşullarımız tamamen değişmiştir. Yaşam koşullarımızın değişmesindeki en önemli faktör ise tüketim alışkanlıklarımızın, üretim hızının artmasıyla birlikte gün geçtikçe daha da fazla artmasından kaynaklanmaktadır. Bu artış ve seneler içerisinde artan nüfusla birlikte enerji gereksinimi bugün hiç olmadığı kadar yüksek seviyelere gelmiştir. Uluslararası Enerji Ajansı'nın yayınladığı Uluslararası Enerji Görünümü raporunda enerjiye olan ihtiyacın artması nedeniyle 2040 yılına gelindiğinde günümüzdeki enerji tüketim miktarının %28 daha fazla olacağı düşünülmektedir (URL-1, 2023). Enerji tüketiminin bu denli fazla olduğu bir ortamda doğal yaşam tehlike altına girmektedir. Tüketim sürecinde çevreye verilen geri dönüştürülemez zararlar ve kısıtlı kaynakların gitgide tükeniyor olması enerji konusunda her bireyin üzerine düşeni yapması gerekliliğini doğurmuştur. Bu nedenle insanlar yaşamın her alanında sürdürülebilir çözüm arayışlarına girmektedir.

Binalar ve inşaat sektörü, küresel enerji tüketiminin üçte birinden ve CO₂ emisyonlarının doğrudan veya dolaylı olarak yaklaşık %40'ından sorumludur (URL-2, 2023). Amerika Birleşik Devletleri'nde bu oran %47'ye kadar çıkmaktadır (URL-3, 2023). İnşaat sektöründeki bu enerji tüketimi nedeniyle enerjiyi daha verimli kullanabilme ve gereksiz enerji sarfiyatından kaçınma adına çalışmalar yapılmaktadır. Bu durum; enerji etkin yapı, sürdürülebilir yapı, ekolojik yapı, yeşil yapı gibi çevreci kavramların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu kavramlardaki yaklaşımların ortak hedefi, yapının tasarım sürecinden başlayıp kullanımı boyunca geçen süre dahil tüm aşamalarında çevreye en az zarar verecek şekilde enerjiyi en verimli şekilde kullanabilmektir.

Yapılarda enerji tüketimi en çok aydınlatma, ısıtma, soğutma, havalandırma gibi iç mekanı etkileyen konfor koşullarını sağlamak adına gerçekleşmektedir. Yapının yaşam döngüsünde yer alan inşa, bakım, hammadde temini gibi konularda da enerji tüketimi oldukça önemlidir. Yapıların enerji tüketimini artıran faktörlerin başında yapı kabuğunun tasarımı gelmektedir. Yapı kabuğu, yapının en fazla enerji kaybı yaşayabileceği ögesidir. Bu nedenle yapı kabuğu tasarımı yaparken binanın enerji performansını olumlu etkileyecek bir yöntem izlenmelidir (Çoban, 1999).

Yapı kabuğu tasarımı yaparken enerji etkin bir çözüm üretebilmek için yapının çevresel koşullara uyumunun optimum seviyede tutulması gerekmektedir ve yapının

bulunduğu çevrenin iklimsel koşullarına uygun olmalıdır. Yapı yüzeyine gelen güneş enerjisini en verimli şekilde kullanılmalıdır. Yapı kabuğu tasarımı yapılırken iç ortam ile dış ortam arasında tampon görevi göreceğ şekilde hava akışı kontrolü sağlanmalıdır. Kabuk tasarımı oluşturulurken yapının enerji kaybını azaltacak malzemeler seçilmelidir. Yapı yüzeyindeki cam-duvar oranı güneş ışığından en fazla şekilde faydalanırken güneş ışığının fazla gelebileceği yerlerde aşırı ısınma ve parlamayı önleyecek şekilde belirlenmelidir. Yıl içinde değişen güneş ışığı ve oranına optimum uyum sağlayabilmesi için yapı kabuğunda eğer gerekiyorsa ışık rafı, jaluzi veya hareketli saçak gibi yapısal elemanlar kullanılmalıdır (Utkutuğ, 1999).

1.1. Problemin Tanımlanması

Günümüzde önemli bir tehdit olarak kabul edilen küresel ısınma ve iklim değişikliğine karşı enerji tüketiminin kontrol altına alınması son derece önemlidir. Özellikle 1990'lı yıllarda dünya genelinde insanların çevre bilinci artmaya başlamış ve enerji verimliliği üzerine çalışmalar artmıştır (Erdal & Karakaya, 2012). Enerji tüketiminde ciddi pay sahibi olan bina yapımında ise enerji tüketimini kontrol altına almak adına yönetmelikler düzenlenerek birtakım standartlar oluşturulmuş ve enerji etkin binaların yaygınlaştırılmasına çalışılmıştır (Aydın, 2019). Enerji bilincinin gelişmediği dönemlerde yapılmış yapıların enerji kaybı ve buna bağlı olarak enerji tüketimi artmaktadır. Bu enerji kaybının nedenlerinden birisi geçmiş yıllarda yapı tekniklerinin günümüzdeki kadar gelişmemiş olmasıdır. Halen kullanımda olan bu yapılarda enerji etkin iyileştirmeler yapılması en az yeni yapıların enerji etkin inşa edilmesi kadar önemlidir. Mevcut yapıların enerji etkin hale getirilmesi için genellikle yapı kabuğunun enerji performansını yükseltilmesi gerekmektedir. Yapının bulunduğu konuma bağlı olarak yapı kabuğunun ısı performansını artırmak için yalıtım uygulanması, camların ve doğramalarının verimliliği artıracak şekilde gerekiyorsa değiştirilmesi, mekanik sistemlerinin (ısıtma, soğutma, havalandırma vb.) iyileştirilmesi gibi yöntemler uygulanmaktadır (Yılmaz, 2006).

Çalışma alanı olarak belirlenen Ankara ilinde 1950'lerden sonra, dünya ülkeleriyle olan ilişkilerin artması ve modern bir toplumun yaratılma çabaları, tekil konutlardan toplu konutlara geçişe neden olmuştur. Bu yıllarda yap-sat, kooperatif ve toplu konutlar şeklinde apartmanlaşma yaygın hale gelmiştir. Apartmanlaşma, yasal düzenlemeler sayesinde yaygınlaşmıştır. Bu doğrultuda yapılan ön araştırmada 1980'li yıllara kadar yapılan yapıların enerji etkinliğinin düşük olduğu görülmüştür. Seçilecek olan yapı

tipolojisi belirlenirken konut yapısı olması, toplumun geniş bir kesimi tarafından aktif olarak kullanılıyor olması, dönemin mimari özelliklerini yansıtan değerinin bulunması ve literatürde erişiminin mümkün olması gibi nedenlerle kooperatif yapıları belirlenmiştir. Bu yapıların önemli bir çoğunluğunun rayiç bedellerinin yüksek olması nedeniyle kentsel dönüşüm kapsamında olmayacağı ve bu nedenle enerji etkin önlemlerin alınması gerektiği düşünülmektedir. Bu yapıların enerji etkin olmaması, enerjide dışa bağımlılık ve enerji tüketiminden kaynaklanan yüksek maliyetin milli gelire getirdiği yükler gibi nedenler bu çalışmanın problemi olarak görülmektedir. Çalışmada enerji modellemesi yöntemiyle enerji tüketim performansı analiz edilerek ortaya konan sonuçların yapılan literatür araştırması kapsamında değerlendirilerek enerji ile ilişkisi bağlamında yapı kabuğunda iyileştirmeler önerilmesinin ve öncesi-sonrası olacak şekilde enerji tüketim performanslarının kıyaslanmasının binanın enerji potansiyelinin görülmesi için işlevsel olacağı düşünülmektedir.

1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

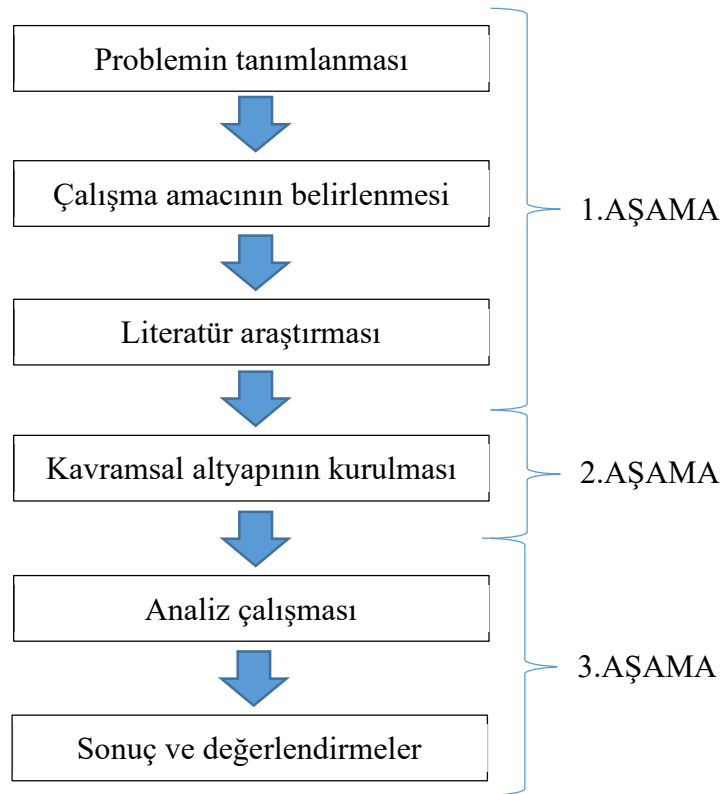
Çalışmanın amacı güncel durumda kullanımda olan, enerji etkin olmayan konut yapılarının enerji simülasyon yazılımları yardımıyla enerji performansının analiz edilip enerji etkin iyileştirme yöntemlerinin önerilmesidir. Çalışmanın amacı aynı zamanda güncel teknolojideki enerji simülasyon yazılımlarının yapılarda enerji kaybının azaltılarak gerek yapının doğal çevreye zararlı etkisinin gerekse kullanım maliyetlerinin düşürülmesinde ne kadar önemli 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 halen kullanımda olan 1980 öncesi kooperatif yapılarında enerji kaybının yeni yapılan konut yapılarındakine oranla çok daha fazla olduğu düşünülmektedir. Enerji etkin yapı tasarım parametreleri göz önünde bulundurularak olası enerji kayıplarının nedenleri araştırılarak seçilen örnek yapının enerji analizi için bina enerji modellemesi üzerinden bu kayıpları en aza indirgeyecek iyileştirme çalışmaları önerilecektir.

1.3. Çalışmanın Adımları

Çalışma üç temel aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak problem tanımlanmış, çalışmanın amacı belirlendikten sonra da konu hakkında literatür araştırması yapılmıştır. İkinci aşamada literatür araştırmasından elde edilen bilgiler ışığında enerji etkin yapı

tasarım kavramı üzerinde durularak yapı kabuğunun enerji ile olan ilişkisini etkileyen faktörler aktarılmıştır. Bu aşamada kavramsal altyapı oluşturularak son aşamada yapılacak olan analiz çalışması için yol haritası oluşturulmuştur. Son aşamada yapılacak analiz çalışmasının adımları, kapsamı ve sınırları belirlenmiştir. Çalışma alanı incelenerek bir yapı profili belirlenmiş ve bu profile uygun bir yapı örneği seçilmiştir. Seçilen yapının enerji modellemesi yöntemi ile enerji tüketim performansı yapı kabuğu – enerji ilişkisi göz önünde bulundurularak enerji etkin iyileştirmeler yapılabilmesi için farklı senaryolarda analizler yapılmıştır. Analizlerin sonuçları değerlendirilerek enerji etkinliği için en uygun senaryo belirlenmiştir. Çalışma yönteminin adımları Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Çalışmanın adımları

2. KAYNAK VE KAVRAM ARAŞTIRMASI

Bu bölümde çalışmanın amacına uygun olarak enerji etkin yapı, yapı kabuğu ile enerji ilişkisi, bina enerji modellemesi gibi konularda literatür araştırması yapılmış ve yapılacak olan analiz çalışması için kavramsal bir altyapı oluşturulmuştur.

2.1. Enerji Etkin Yapı

Enerji etkin yapı kavramı, mevcut ya da yeni yapılacak bir yapının enerji performansının ölçülerek enerji verimliliğinin artırıldığı ve çevreye zararının azaldığı bir yapı tasarlama anlayışıdır (Elbi, 2019). Bu başlık altında enerji verimliliği, sürdürülebilirlik, enerji etkin yapı tasarım parametreleri, mevcut binaların enerji etkin iyileştirmesi, yeni tasarlanacak yapılarda enerji etkin tasarım kararları gibi konular incelenmektedir.

2.1.1. Enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik

Enerji, devlet ölçeğinde sosyal gelişmişliğin göstergesi olmakla birlikte insanların birey olarak da temel ihtiyaçlarını karşılamasını sağlayan en önemli araçtır. Günümüz şartlarında ekonomik anlamda önemli bir güç unsuru olan enerji, ülkelerin birbirleri arasındaki iletişimlerini doğrudan etkilemektedir. Ekonomik olarak kalkınma, enerjinin sürdürülebilir bir şekilde kullanılabilmesinden geçmektedir. Bu nedenle artan enerji talebini kısıtlı kaynaklardan karşılayabilmek adına sürdürülebilir yaklaşımlar ele alınmaktadır (Bayrak & Esen, 2014).

1973 yılında tüm dünyada kendini gösteren enerji krizi ortaya çıktığı sırada Modernizm ile ortaya çıkan ‘‘az çoktur (less is more)’’ anlayışı mimari üslup olarak hakim olmuştur. Bu anlayışta genel olarak teknolojinin tüm imkanları kullanılarak mekanik ve elektrikli sistemler yardımıyla yapının iç konforunun sağlandığı, iklimsel verilere dayanmadan giydirmeye cephe şeklinde yapı kabuğu tasarımlarının yapıldığı, enerji tüketiminin yükseldiği görülmektedir. 1980’li yıllarda etkisini gösteren Post Modernizm döneminde de yapıların enerji etkinliğini sağlayacak kararların yapının kabuğunu veya formunu belirlemesine karşı çıkmıştır. Ancak bu yıllarda enerji korunumunun sağlanması için ısı yalıtım kullanımı, saydam yüzeylerin oranının azalması gibi uygulamalar görülmektedir (Utkutuğ, 1999).

1980'li yıllarda Birleşmiş Milletler'in Norveç Başkanı Bruntland'ı görevlendirmesi sonucu ortaya çıkan "Ortak Geleceğimiz" (1987) adlı raporla 'sürdürülebilir kalkınma' kavramı gündeme gelmiştir. Bruntland Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Genel Kurulunda günümüz ihtiyaçlarını gelecek nesillerin ihtiyaçları duyacaklarından azaltmadan yapılan kalkınma olarak bu tanımı ifade etmiştir (URL-4, 2002). Buna göre sürdürülebilir bir gelecek hedefi için öncelikli olarak yapının tüm girdi ve çıktıları ile ekolojik duyarlılığa uygun çözümler üreten, tasarruflu, tekrar kullanıma ve çevreye zarar vermemeye özen gösteren ekolojik yaklaşımlar olmasının gerekliliği belirtilmiştir. Yapıların tasarlanma, yapım, işletme, bakım ve onarım olmak üzere tüm safhalarında enerji tüketimini azaltmaya özen gösteren enerji etkin yapı tasarımı yaklaşımı belirtilmiştir. Bu yaklaşıma göre iklim verilerinden yararlanılarak yapı kullanıcılarının konfor koşullarını optimumda sağlayacak eko-teknolojiye sahip sistemlerin iklimlendirme, aydınlatma gibi alanlarda kullanılması gerektiği belirtilmiştir (Güleç, 2007).

2.1.2. Enerji etkin yapı tasarımı

Yapılarda ekolojik çevreyle uyumlu olmak üzere yapının inşası için kullanılacak malzemelerin kullanım, bakım, işletme ve imha süreçlerinde minimum enerji sarfıyatı olacak malzeme seçimi, yapının kullanımı süresince iç mekan konfor koşullarını optimum düzeyde tutacak pasif iklimlendirme yöntemlerinin kullanılması gibi yöntemler enerjiyi etkin bir şekilde kullanabilecek bir tasarım yapma yaklaşımının ana hedeflerindedir. Bu yaklaşıma göre enerji bilinci, artan enerji gereksinimi ve azalan petrol kaynakları nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimi vurgulamaktadır. İklimsel uyumluluk, yapı tasarımında iklim koşullarının dikkate alınmasını ve enerji verimliliğinin artırılmasını hedeflemektedir. Malzemenin dönüşümü, ekonomik kullanım ve geri dönüşümü teşvik etmektedir. İnsan etkeni ve kültürüne saygı, yerel öğelerin tasarımlara dahil edilmesini vurgulamakta ve sürdürülebilir kentlerin oluşturulmasını hedeflemektedir. Zarar vermeden tasarlamayı, doğaya en az zarar verecek çözümleri tercih etmeyi amaçlamaktadır. Bütünsel değerlendirme ise farklı disiplinlerin iş birliğiyle tasarımın ekolojik ve sürdürülebilir yönlerini göz önünde bulundurmaktadır (Güleç, 2007; Seddon, 1993).

Enerji etkin tasarım yaklaşımının diğer yaklaşımlardan farkı yapıyı meydana getiren bütün bileşenlerin hayat döngüsünde enerji girdilerinin yapının kalite standardını düşürmeden en düşük seviyede tutulmasının hedeflenmesidir. Hedeflenen bu yaklaşımda

bütün yapılar için enerji etkinliğini artıracak genel bir yöntem belirlenememekle birlikte sadece ortak temel ilkeler belirlenebilmektedir. Yapı özelliklerine göre her yapının fonksiyonu, iklimsel koşulları, bulunduğu kültürel ortam, mimari ve mühendislik sistemlerine göre alınan malzeme ve tasarım kararları göz önünde bulundurularak tasarım yaklaşımı her yapı için ayrı ele alınmalıdır. Enerji etkin yapı tasarımında hedeflenen enerji performansının elde edilmesi için tasarımın ilk aşamasından yaşam döngüsündeki son aşamaya kadar bilinçli bir yaklaşım izlenmelidir.

Enerji etkin yapı tasarımında üç temel aşama birbirini bütünlemektedir:

1. Birinci aşamada mevcut enerjinin korunumu hedeflenmektedir. Güneş ışığını en uygun seviyede kullanacak şekilde kış aylarında ısıtma, yaz aylarında ise soğutma yükü en düşük seviyede olacak şekilde bir yapı tasarlanmalıdır. Isıtma ve soğutma yüklerinin yanı sıra yapının iç mekanını olabildiğince doğal aydınlatıp yapay aydınlatmadan kaçınılmalıdır. Bu aşamada alınan tasarım kararları yapının enerji yükü miktarını belirlemektedir. Bu yaklaşım ele alınmadan alınan tasarım kararları yapının enerji sarfiyatını katlamakla birlikte kullanılan elektrikli ve mekanik sistemlerin büyümesine de neden olabilmektedir.

2. İkinci aşamada yapının tipine ve çevresel koşullarına göre en uygun pasif iklimlendirme yöntemlerinin uygulanması ve güneş, rüzgar vb. gibi doğal enerji kaynaklarının kullanımına öncelik verilmesidir.

3. İlk iki aşamadaki tasarım kararları enerji verimliliği sağlasa da halen enerji tüketilmesi gerekmektedir. Bu tüketim aktif iklimlendirme sürecinde kullanılan mekanik ve elektrikli sistemlerden kaynaklanmaktadır. İç mekan konfor koşulları bakımından gereklilikler veya değişken kullanıcı tercihiyle bağlı olarak bu aktif sistemler ile konfor koşulları sağlanmaktadır (Utkutuğ, 1999).

2.1.3. Enerji etkin yapı tasarım parametreleri

Enerji etkin yapı tasarımı için kullanılacak parametreler aktif ve pasif sistemler olmak üzere iki başlık altında incelenebilir. Pasif sistemler tasarlanan yapıda enerjiyi koruyabilmek ve enerji gereksinimini azaltabilmek adına geliştirilen sistemlerdir. Aktif sistemler ise binada enerji etkinliğini artırmak için de uygulanan sistemler olarak tanımlanmaktadır. Buna bağlı olarak yeni tasarlanan yapılarda enerji etkinliğini artıracak tasarım kararları alınması gerekmektedir. Bunun yanı sıra mevcut yapılarda da enerji tüketimini azaltacak iyileştirmeler yapmak önem arz etmektedir (Bozdoğan, 2003).

2.1.4. Mevcut yapıların enerji etkin iyileştirilmesi

Uzun süredir kullanımda olan mevcut yapıların inşa edildiği yıllarda gerek yapı tekniklerinin günümüzdeki kadar gelişmemiş olması gerekse enerji verimliliği konusunda bugünkü bilince sahip olunmaması nedeniyle bu yapıların enerji kayıpları yeni inşa edilen yapılara oranla daha fazla olmaktadır. Bu nedenle mevcut yapıların enerji etkinliğinin iyileştirilmesi de yeni yapıların enerji etkin parametrelere uygun tasarlanması kadar önemlidir. Yapı ve kullanıcılarının ihtiyaçları için gerekli olan enerjinin mevcut kullanımdan daha verimli bir şekilde sağlanması ve enerji kayıplarına yol açan durumların tespit edilip bu durumların giderilmesi gibi yaklaşımlar ile enerji etkinliği artırılabilmektedir. Bu yaklaşımlar pasif ve aktif sistemler olarak ikiye ayrılmaktadır (Elbi, 2019).

2.1.4.1. Pasif sistemler

Yapının fiziksel özelliklerinden yola çıkarak güneşten gelen enerjinin yapının içine alınarak ısı enerjisi elde edilmesine dayanan pasif sistemler için yapının mimari tasarımı önemli bir faktördür. Yapının bulunduğu konuma göre güneşin gelme açısı değişmekte ve yapının tasarımını etkilemektedir. Sıcak iklim bölgesinde yer alan yapılar için yazın güneş ışığından korunmak birincil etken olurken, soğuk iklim bölgesinde bulunan yapılar için kışın güneş ışığından olabildiğince faydalanmak birincil etken olmaktadır. Bu durum farklı pasif sistem yaklaşımlarını beraberinde getirmektedir (Özdemir, 2005).

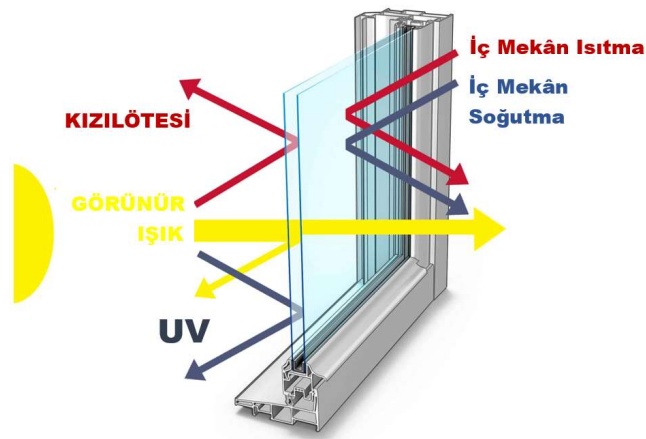
- **Isı yalıtımı**

Isının korunumu yapıların enerji tüketimini azaltmada en önemli yaklaşımlardan birisidir. Ülkemizin özellikle soğuk iklim bölgelerinde yapı kabuğunda ısı yalıtım uygulamalarının yapılmasıyla (Şekil 2) ısıtma yükleri ciddi oranda azaltılabilmektedir. İç ve dış mekân arasında ayırıcı görev üstlenen dış cephe duvarları, pencereler ve çatı gibi yapı kabuğu elemanları ısı geçişlerinin en yoğun olduğu yerlerdir. Bu yapı kabuğu elemanlarının ısı geçirgenliğinin düşük olması gerekmektedir. Ülkemizde binalarda ısı yalıtım kuralları için TS 825 standardı geçerli kabul edilmektedir.



Şekil 2. Dış cephe ısı yalıtımı uygulaması (URL-5, 2023)

Mevcut yapılarda ısı kayıplarını azaltmak için yapı kabuğunun soğuk yüzeyine uygulanan yalıtım kaplaması uygulaması en yaygın kullanımlardan birisidir. Aynı zamanda yapıların çatı katında da yalıtım uygulanması yapıların ısı kayıplarını oldukça azaltmaktadır. Isı kayıplarının oldukça fazla olduğu bir diğer yapı elemanı olan pencerelerde ise cam türünün değişmesi ile ısı kaybı azaltılabilmektedir. Tek katmanlı camlar yüksek ısı geçirgenliğine sahiptir ve bunun yerine hava boşluklu çift ya da üçlü camlar ya da düşük emisyonlu (low-e) cam türleri tercih edilmelidir. Üçlü camlar ağırlığı nedeniyle kullanışlı değildir. Bu sebeple Şekil 3'te örneği gösterilen çift tabakalı cam kullanımı ülkemizde yaygındır (Elbi, 2019).



Şekil 3. Işığa karşı çift camlı pencerenin davranışı (URL-6, 2023)

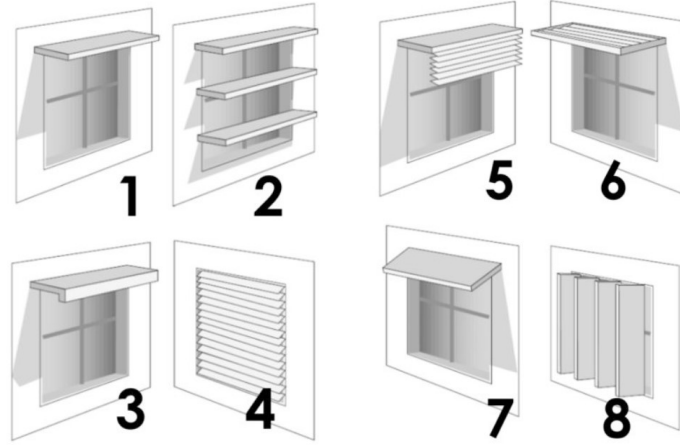
- **Gün ışığından faydalanma**

Pencereler, yapının içine gün ışığının alınmasını sağlayan ve yapının dış mekan ile görsel iletişim kurmasına imkan veren yapı kabuğu elemanlarıdır. Özellikle soğuk iklim bölgelerinde yapılan yapılarda yapının güneş ışığından verimli bir şekilde faydalanacağı şekilde pencere tasarımı yapılmalıdır. Aynı zamanda çatı açıklıkları açmak da yapıların gün ışığından faydalanması için kullanılan tasarım yöntemlerinden birisidir.

Gün ışığı yapılara sadece ısı enerjisi kazandırmakla kalmayıp aynı zamanda yapıların doğal aydınlatmasını da sağlamaktadır. Yapılarda doğal aydınlatmanın yeterli olması, yapay aydınlatma için harcanan elektrik enerjisini azaltmaktadır. Doğal aydınlatma yapı kullanıcılarının görsel konforu için de önemlidir. Örneğin ofis çalışanları için yapılan bir çalışmada doğal aydınlatmanın iyi olduğu ortamlarda çalışma veriminin arttığı gözlemlenmiştir (Arat & Çam, 2021).

- **Güneş kontrol elemanları**

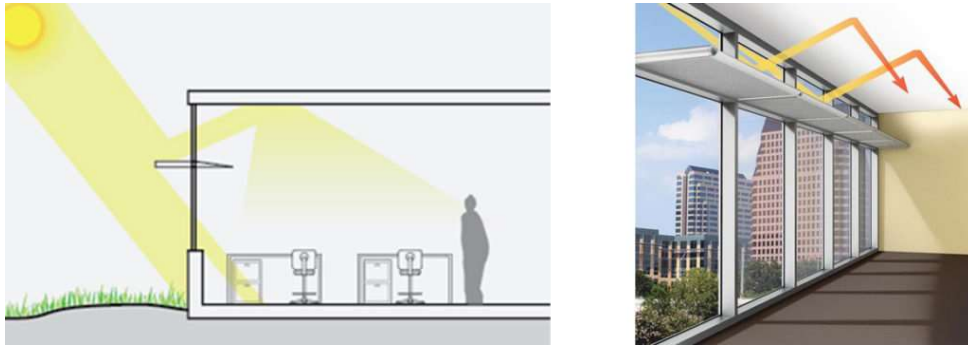
Yapılarda gün ışığından faydalanılacak şekilde tasarım yapılırken gün ışığının olumsuz olabilecek etkileri de göz önünde bulundurulmalıdır. Sıcak iklim bölgelerinde yazın gün ışığına fazla maruz kalınması soğutma için harcanacak olan elektrik enerjisini artırmaktadır. Aynı zamanda yapının batı cephesinde gün batımına yakın saatlerde gün ışığı kullanıcıları rahatsız edebilmektedir. Gün ışığına fazla maruz kalınması kamaşmaya neden olacağından yapı kullanıcılarının görsel konforunu olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle istenmeyen güneş ışınları için yapı cephelerinde çeşitli güneş kontrol elemanları kullanılabilir. Güneş kontrol elemanları yapıların enerji kullanımındaki soğutma yükünü güneş kontrol elemanı kullanılmayan yapılara göre yarı yarıya azalttığı yapılan çalışmalarda görülmüştür. Güneş kontrolü için perdeler, jaluziler, yarı saydam camlar, yatay veya düşey lameller gibi sistemler kullanılmaktadır (Schittich, 2001). Bu sistemlerin yanı sıra yapı tasarımı ile ilgili olarak derin balkonlar, yatay saçaklar, kanat duvarları gibi yapı elemanları da güneş kontrolü sağlamaktadır. Güneş kontrolü için sabit elemanlar belirli bir miktarda verim sağlarken manuel ya da otomatik hareket edebilen sistemlerin verimliliği daha fazladır (Soysal, 2008). Şekil 4'te yaygın kullanılmakta olan güneş kontrol elemanları gösterilmektedir.



Şekil 4. Güneş kontrol eleman çeşitleri (URL-7, 2023)

- **Işık rafları**

Işık rafları yapıların içine gün ışığı alınmasına yardımcı olan aydınlatma sistemleridir. Pencere yüksekliğinin genellikle üstten 1/3 oranındaki hizaya yerleştirilen ve üst yüzeyi güneşi yansıtan elemanlardır. Dış mekandan gelen ışığı iç mekânın tavanına doğru yansıtarak mekânın derinliklerinin doğal aydınlatmasını sağlamaktadır. Pencere diplerinde yaptığı gölge ile cepheye yakın kısımlardaki kamaşma sorununa da çözüm olmaktadır (Elbi, 2019). Şekil 5'te ışık rafının iç mekana etkisi gösterilmiştir.



Şekil 5. Işık rafının iç mekana etkisi (URL-7, 2023)

2.1.4.2. Aktif sistemler

Yapılar pasif sistemler yardımıyla enerji korunumu sağlasa da yapı içerisinde kullanıcılar için gerekli konfor koşullarını sağlamak için her zaman yeterli olmamaktadır. Bu nedenle enerji harcayan aktif sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Yapı için aktif

sistemler seçilirken yapının özellikleri dikkate alınarak en verimli sistem seçilmelidir (Bozdoğan, 2003).

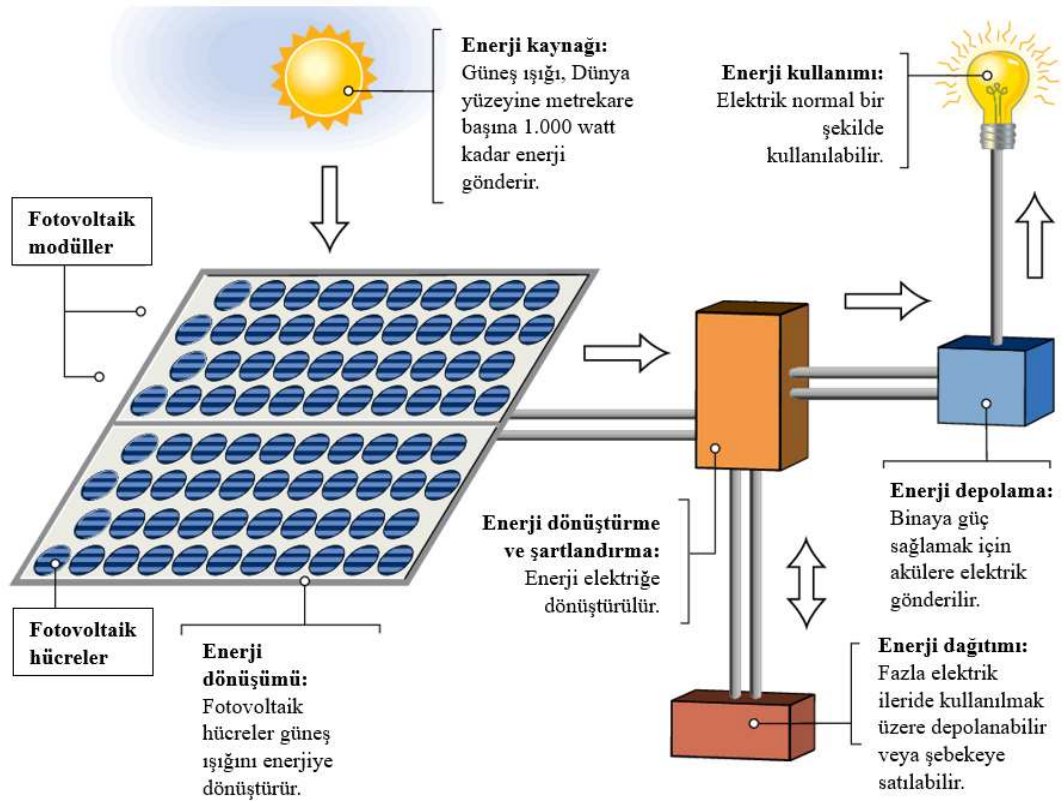
- **Mekanik sistemler**

Yapıların iç mekânında gerekli konfor koşullarının sağlanması, sadece enerji tüketimi açısından değil, aynı zamanda insan sağlığı açısından da son derece önemlidir. Bu amaçla, mekanik sistemler (HVAC) genellikle tercih edilen aktif sistemlerdir. HVAC sistemleri, yapı içindeki havanın ısıtılması, soğutulması ve havalandırılması işlemlerini gerçekleştirir. HVAC sistemleri, yapının bulunduğu iklim şartlarına uygun olarak tasarlanmalıdır. Böylece, yüksek verimlilik sağlanabilir ve enerji tüketimi minimize edilebilir. HVAC sistemleri ve pasif sistemlerin birlikte kullanımı, yapıya uygun enerji tüketimi sağlayarak sürdürülebilirliği artırabilmektedir. Bu nedenle, yapıya uygun HVAC sistemleri ve pasif sistemlerin doğru bir şekilde seçilmesi, yapının enerji tüketiminin azaltılması için önem arz etmektedir (Elbi, 2019).

- **Yenilenebilir sistemler**

Yapı için gerekli enerjinin sağlanmasında yenilenebilir enerji sistemleri fosil yakıtların yerine tercih edilmelidir. Güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir kaynakların kullanılması doğaya verilen zararlı etkinin azalmasını sağlamaktadır. Güneş kolektörü kullanılarak sıcak su veya PV (fotovoltaik) sistemi kullanılarak elektrik enerjisi elde edilmektedir (Tıkır, 2009).

PV sistemleri güneş ışığından gelen enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Enerji kaynağı (güneş) kesildiğinde elektriğin kullanılmaya devam edilebilmesi için sisteme elektrik depolayıcı (akü) dahil edilmelidir. Yapı için gerekli enerji yükü miktarına göre akü sayısı hesaplanmaktadır (Elbi, 2019). Şekil 6'da fotovoltaik panellerin çalışma şeması gösterilmiştir.



Şekil 6. Fotovoltaik panellerin çalışma şeması (URL-8, 2023)

- **Kinetik cephe sistemleri**

Yapıların enerji etkin olarak iyileştirilebilmesi için güneş ışığı, sıcaklık, rüzgar gibi değişen çevresel koşullara göre uyum sağlayarak hareket etme kapasitesine sahip kinetik cephe sistemleri kullanılabilir. Otomatik veya kullanıcı kontrolünde çalışabilen bu sistemler adaptif (uyarlı) cephe, dinamik cephe ya da akıllı cephe sistemleri olarak da tanımlanmaktadır. Çevresel koşullarına yapı cephesinin uyum sağlaması yapının ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma gibi enerji yüklerini azaltmaktadır (Ayçam & Güner, 2018; Elbi, 2019). Şekil 7’de kinetik cephe sistemi örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 7. Kinetik cephe sistemi örnekleri (URL-9, 2023)

2.1.5. Yeni yapılarda enerji etkin tasarım

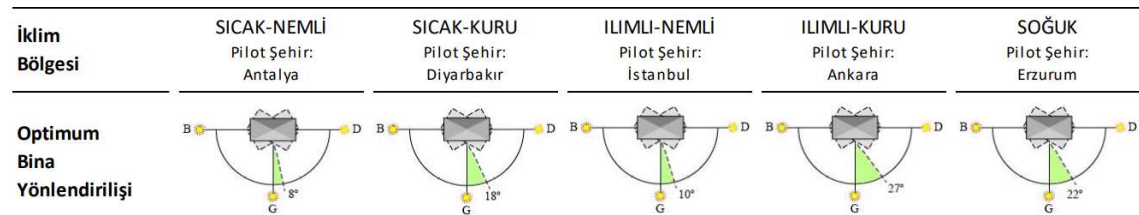
Günümüzde enerji tüketimi, çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir konudur ve buna yönelik çözümler aranmaktadır. Bu nedenle, yeni yapılacak binalarda enerji etkin tasarım yaklaşımları benimsenmeli ve uygulanmalıdır. Yapının tasarım aşamasında, enerji tüketimini etkileyen faktörler göz önünde bulundurulmalıdır. Bu faktörler, yapının konumu, yönelmesi, komşu yapılarla ilişkisi, formu, kabuğu ve malzemeleri gibi pek çok unsuru içermektedir. Yapının bulunduğu yerin iklimi enerji tüketimini doğrudan etkilemektedir. Yapının konumu, özellikle güneş ışınlarının kullanımı açısından güneş ışınlarının optimum kullanımını sağlayacak şekilde konumlandırılmalıdır. Bunun yanı sıra doğru bir şekilde yönlenen yapılarda, doğal aydınlatma ve havalandırma sistemleri daha etkin bir şekilde kullanılabilir. Yapının etrafındaki yapılar, güneş ışınlarının kullanımını etkilemektedir ve yapıdaki enerji tüketimini artırabilir veya azaltabilir. Yapının formu ve kabuğu ise iç mekan sıcaklığını ve ısıtma ve soğutma sistemlerinin verimliliğini doğrudan etkileyebilmektedir. Bu nedenle, bu faktörlerin tasarım aşamasında dikkate alınması önem arz etmektedir.

2.1.5.1. Yapının konumu ve yönlenmesi

Yapıların bulunduğu konumun iklimi ve bulunduğu topografyaya göre yönlenmesi enerji tüketim performansları ile doğrudan ilişkilidir. Yapıların tasarım kararları aşamasında içinde bulunduğu iklim bölgesine göre en uygun çözümler üretilmelidir. Bu sayede yapılarda doğrudan ya da dolaylı olarak enerji verimi sağlanabilmektedir. Örneğin soğuk iklim bölgesindeki bir yapıda ısı kaybının azaltılması ve güneş ışığından faydalanmak daha önemliyken sıcak iklim bölgesindeki bir yapıda güneş ışığının aşırı etkisinden korunmak ve yapının rüzgar alarak doğal havalandırmasının sağlanması daha önemlidir (Kılıç, 2021). Çizelge 1’de iklim bölgelerine göre korunulması ve sağlanması gereken öğeler belirtilmiştir. Şekil 8’de ise Türkiye iklim bölgeleri için optimum yönlendiriliş açıları gösterilmiştir.

Çizelge 1. İklim bölgelerine göre korunulması ve sağlanması gereken öğeler (Sevim, 2017)

İklim Bölgesi	Korunulması Gereken Öğeler	Sağlanması Gereken Öğeler
Soğuk İklim	Kar yükü, Kar yığıntısı Soğuk, Rüzgar	Minimum ısı kaybı
Ilıman İklim	Yaz sıcağı, Kış soğuğu Yağmur, Kar, Nem Soğuk rüzgarlar	Minimum ısı kaybı Kışın güneş ışınımından yararlanma Yazın gölgeleme ve havalandırma
Sıcak – Kuru İklim	Kum ve toz, Kuruluk, Rüzgar Fazla güneş ışınimleri	Yararlı yağmur etkisi
Sıcak – Nemli İklim	Sıcaklık, Yağmur ve nem Fazla güneş ışınimleri	Havalandırma Gölgelendirme

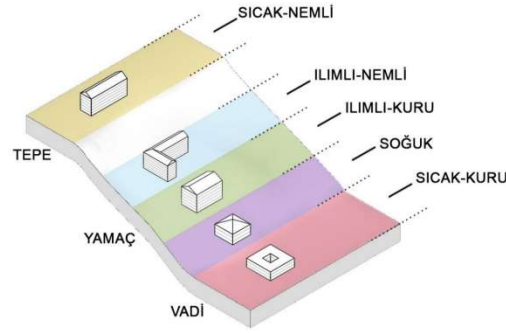


Şekil 8. Türkiye iklim bölgeleri için optimum yönlendiriliş açıları (Zeren ve diğ., 1987)

Yeni yapılacak olan yapılarda yerleşimin yapılacağı arazinin topografyası yapının rüzgar almasını ve güneş ışığından faydalanmasını etkilemektedir. Bu nedenle topografik duruma göre yapının en uygun yerleşimi yapması gerekmektedir (Şekil 9). Farklı iklim bölgelerin topografik özelliklerine göre uygun yerleşim bölgeleri şu şekildedir:

- Soğuk iklim bölgelerinde yamaçların altında bulunan eğimli yerey bölgeler

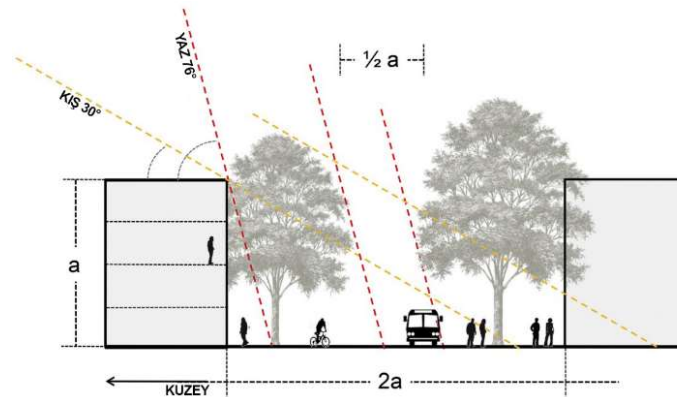
- Ilıman iklim bölgelerinde güneşten ve rüzgardan faydalanılabilecek eğimli bölgeler
 - Sıcak-kuru iklim bölgelerinde vadi tabanı bölgeleri
 - Sıcak-nemli iklim bölgelerinde hakim rüzgardan faydalanmak için tepe bölgeler
- (Akşit, 2005; Koçlar Oral, 2007)



Şekil 9. Farklı iklim bölgeleri için arazi kesitinde yerleşmeye uygun alanlar (Zeren ve diğ., 1987)

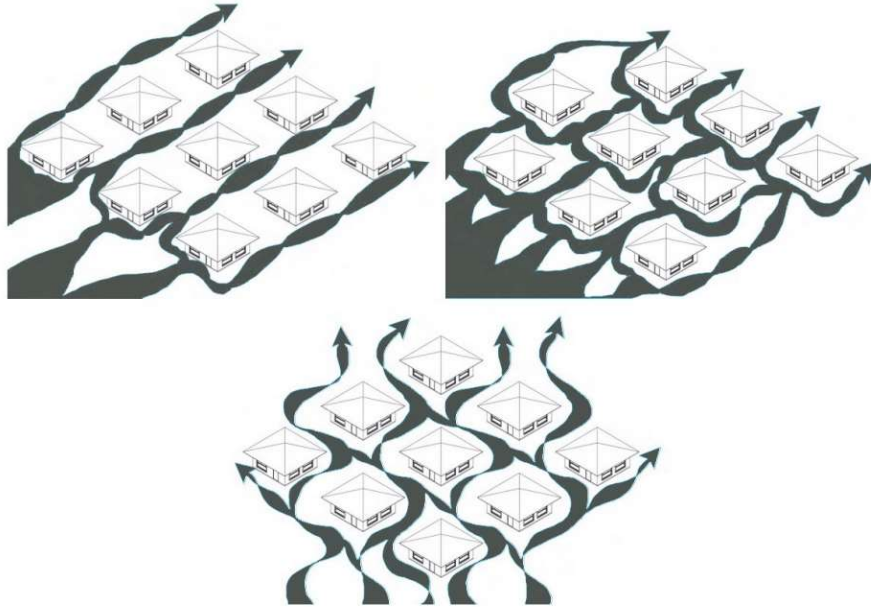
2.1.5.2. Yapı aralıkları ve yükseklikleri

Yapılar, komşuları ile ilişkisi düşünüldüğünde birbirlerinin güneş ışığını ya da rüzgar hareketlerini engelleyen birer kütle olarak davranmaktadır. Bu nedenle yeni bir bina tasarlanırken çevresindeki yapıların kütleleri de tasarım kriteri olarak göz önünde bulundurulmalıdır. Yapılar birbirlerinin faydalı güneş ışığını ve rüzgar almasını önlemeyecek aralıklarda yerleştirilmelidir. Yapı aralıkları belirlenirken güneşin doğuşu ve batışı arasında kalan saatler, yapının yerleştiği arazinin eğimi, yapının yönelmesi ve arazideki yapı yoğunluğu dikkate alınmalıdır (Özdemir, 2005). Şekil 10'da uygun yapı aralığı ve güneş ışığı ilişkisi gösterilmektedir.



Şekil 10. Uygun yapı aralığı ve güneş ışığı ilişkisi (Lamarca ve diğ., 2016)

Yapıyı etkileyen dış etkenler arasında güneş radyasyonu ve hava hızı gibi unsurlar yer almaktadır. Bu etkenler, yapının çevresindeki diğer yapıların ve engellerin mesafesine, yüksekliğine ve konumuna göre değişiklik göstermektedir. Örneğin, bir yapıyı çevreleyen diğer yapıların veya engellerin gölgelediği alanlar, doğrudan güneş ışığından ısı kazanımını önler ve bu bölgeler sadece dağınık güneş radyasyonundan etkilenir. Yapı, güneş radyasyonundan elde ettiği ısı miktarına bağlı olarak oda havası sıcaklığı ve ortalama radyan sıcaklığı gibi iç iklim unsurlarını etkiler (Manioğlu, 2002). Bu bağlamda enerji tasarrufu açısından, yapıların konumlandırılması güneş ışınımı kazanımlarını ve faydalı rüzgâr etkilerini engellemeyecek şekilde olmalıdır. Bu nedenle, yapılar arasındaki boşluğun, bitişik yapıların ve diğer engellerin en uzun gölge boyundan daha büyük veya eşit olması gerekmektedir (Bayazıt, 1992; Koca, 2006). Yapılar arasındaki mesafelerin rüzgâr etkisi Şekil 11’de gösterilmiştir (Kılıç, 2021).

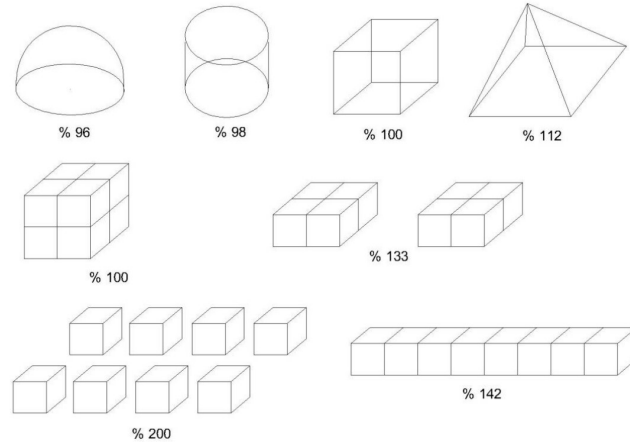


Şekil 11. Yapı aralıklarının rüzgâra etkisi (Kılıç, 2021)

2.1.5.3. Yapının formu

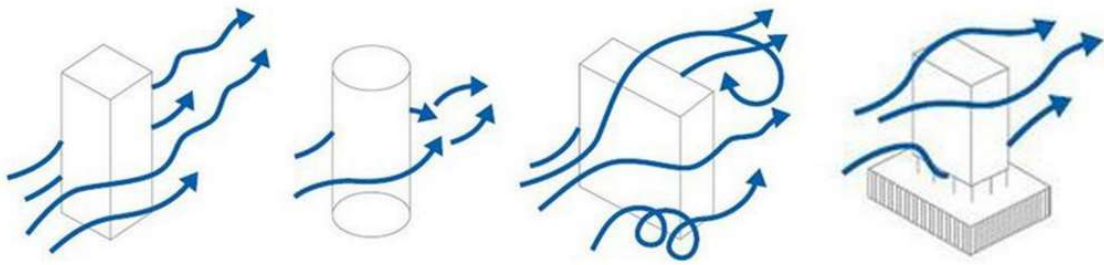
Yapının geometrisini oluşturan uzunluk, yükseklik, derinlik, eğim gibi bütün değişken değerleri yapının formunu ortaya çıkarır. Yapıların enerji kayıpları yüzey alanları ile ilişkili olduğundan yüzeyin hacme olan oranına bağlı olarak yapının formu

enerji kayıp ya da kazancı etkilemektedir. Aynı hacme sahip birbirinden farklı geometrik formların yüzey alanlarına olan oranları Şekil 12’de gösterilmiştir (Soysal, 2008).



Şekil 12. Yapı formu yüzey ilişkisi (Daniels, 1979)

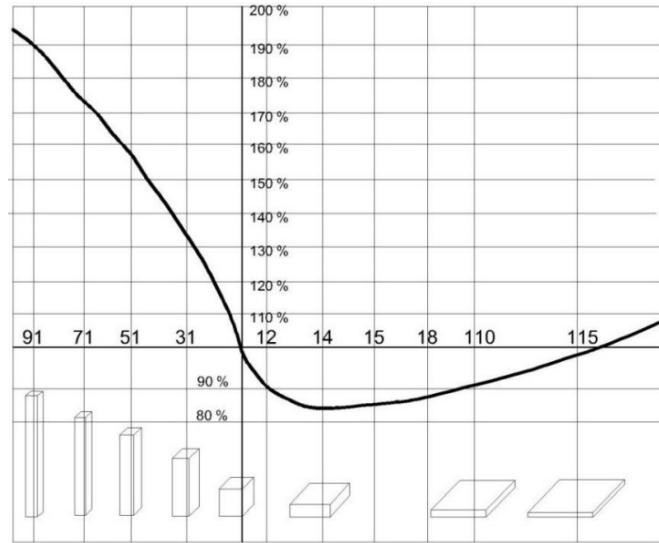
Soğuk, sıcak ve kuru iklimlerde dar cepheli yapılar rüzgarı etkin bir şekilde karşılayabilirken, sıcak ve nemli iklimlerde ise rüzgarı içeriye alarak serinlik sağlayacak geniş açıklıklara sahip yapı formları tercih edilmelidir. Ilıman ve nemli iklimlerde ise rüzgarı içeriye alarak serinlik sağlamak için geniş açıklıklı yapı formları tercih edilebilir (Koçlar Oral, 2010). Şekil 13’te yapı formunun rüzgar hareketleri üzerindeki etkisi gösterilmektedir (Kılıç, 2021).



Şekil 13. Yapı formunun rüzgara etkisi

Enerji bakımından optimum yapı formunu bulabilmek için çeşitli çalışmalar sonucunda birçok diyagram ortaya çıkmıştır. Kare taban alanlı ve aynı hacme sahip farklı yapı kütlelerinin ısı kayıplarını gösteren Şekil 14’te görüldüğü gibi yapının yüksekliği arttıkça ısı kaybı artarken belirli bir orandan sonra derinliğin artıp yüksekliğin azalması

da ısı kaybını artırmaktadır. Buna göre en uygun yükseklik – derinlik oranı yaklaşık 1/4 ‘tür (Soysal, 2008).



Şekil 14. Yapı formuna göre ısı kaybı grafiği (Beytekin, 2016)

Yapının farklı iklim bölgelerine göre enerji verimliliğini artıracak form ve yönelme halleri Şekil 15’te gösterilmektedir.

<p>SICAK NEMLİ</p> <p>Rüzgara açık yüzeyli, uzun dikdörtgene yakın</p>		
<p>SICAK KURU</p> <p>Avlulu, kare tabanlı, avlulu mekana açık yüzeyli</p>		
<p>ILIMLI KURU</p> <p>Isıtmanın istendiği dönemde rüzgara kapalı, kareye yakın kompakt</p>		
<p>ILIMLI NEMLİ</p> <p>Isıtmanın istenmediği dönemdeki rüzgara geniş yüzeyli, dikdörtgen ya da serbest planlı</p>		
<p>SOĞUK</p> <p>Rüzgara az yüzey veren, dış yüzeyi minimize eden, kompakt, kare vb. tabanlı</p>		

Şekil 15. İklim bölgelerinin farklılıklarına göre yapı formları ve yapıların yönlendiriliş durumları (Koçlar Oral, 2010)

2.1.6. Yapılarda enerji etkinliğinin ölçülmesi

Yapılarda enerji etkinliği kavramı önem kazandıkça yapının enerji etkinliğinin doğru bir şekilde hesaplanması ve denetlenmesi için birtakım yöntemler geliştirilmiştir. Bu kapsamda oluşturulan sertifika sistemleri yapının enerji performansını sınıflandırarak olası alınacak önlemler için bir yol haritası ortaya koyabilmektedir. Enerji sertifika sistemlerine uygunluğu denetlemek için de çeşitli yönetmelikler geçmişten günümüze düzenlenmektedir. Aşağıda yapıların enerji etkinliğini denetleyen sertifika sistemleri ve bazı yönetmelikler ele alınmaktadır.

2.1.6.1. Enerji performansı değerlendirme sistemleri

Yapılarda enerji performansının denetlenmesi ve değerlendirilebilmesi için birtakım yönetmelikler ve sertifika sistemleri geliştirilmiştir. Pek çok ÷lke enerji yönetmelikleri ve standartları oluşturarak enerji verimliliği hedeflerini belirlemede ve enerji tüketimini azaltmaya çalışmaktadır. Bu yönetmelikler, binaların enerji performansını artırmayı, endüstriyel enerji tüketimini azaltmayı ve kamu sektöründe enerji verimliliğini sağlamayı amaçlamaktadır. Sertifika sistemleri ise yapıların enerji performanslarının kriterlere dayalı olarak geniş kapsamlı ve objektif bir şekilde değerlendirilmesini, kolay uygulanabilmesini ve sonuçların daha rahat anlaşılabilmesini sağlamaktadır (Beytekin, 2016). Bu sistemler ile değişen koşullarda doğru değerlendirme yapılabilmesi için yapının bulunduğu çevresel veriler ve standartlar göz önünde bulundurularak bir adet ölçüt yapı oluşturulmakta ve yapılar bu ölçüt doğrultusunda değerlendirilmektedir (Elbi, 2019). Yapıların enerji performanslarını değerlendirmek için ortaya çıkan sertifika sistemlerinden bazıları ‘‘Leadership in Energy and Enviromental Design’’ (LEED), ‘‘ Building Research Establishment Environmental Assessment Method’’ (BREEAM), ‘‘Sustainable Building Tool’’ (SBTOOL), ‘‘American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers’’ (ASHRAE) ve ‘‘ Comprehensive Assesment System for Built Environment Efficiency’’ (CASBEE) gibi sistemlerdir (Erdede & Bektaş, 2014).

- **Uluslararası enerji performansı değerlendirme sistemleri**

Bu bölümde yaygın bir şekilde kullanılan uluslararası sistemler açıklanmıştır. Bunlar;

LEED: Amerikan Yeşil Binalar Konseyi (U.S. Green Building Council) tarafından geliştirilen LEED 1998 yılında oluşturulmuştur. Türkiye’de yeşil binalar için en yaygın

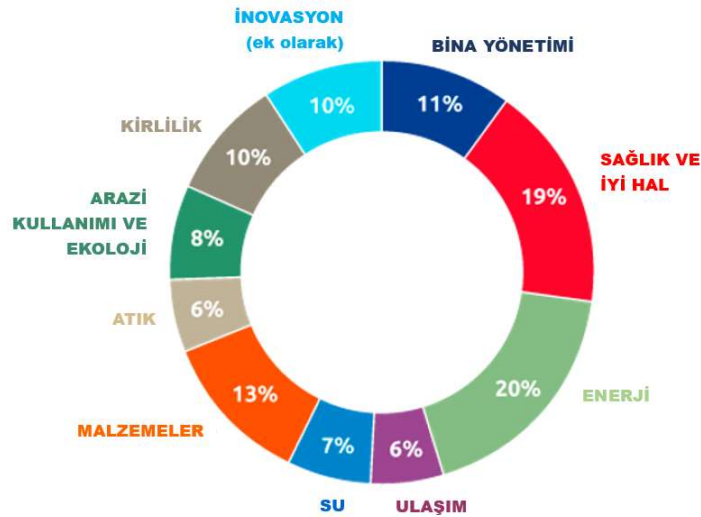
kullanıma sahip sertifika sistemlerinden birisidir. Mevcut yapılar, tadilat görmüş yapılar, tasarım aşamasındaki projeler gibi farklı fazlarda ve özel konuttan şehir boyutuna kadar farklı ölçeklerde değerlendirmeler yapılabilmektedir (Sev & Canbay, 2009). LEED sertifikası binalarda para tasarrufu sağlama, verimliliği artırma, karbon emisyonlarını düşürme ve kullanıcılar için sağlıklı yaşam alanları yaratmayı hedefler. LEED sertifikası kazanmak için bir projenin enerji, karbon, atık su, ulaşım, malzeme, sağlık ve iç mekan kalitesini ele alan ön koşullara ve kredilere bağlı kalınarak puan kazanılabilmektedir. Sertifikalı (40-49 puan), Gümüş (60-79 puan), Altın (60-79 puan) ve Platin (80+ puan) olmak üzere 4 farklı seviyede sertifika verilmektedir (Şekil 16). Projeler sertifika kazanmak için GBCI tarafından denetlenmektedir (URL-10, 2023).



Şekil 16. LEED Sertifika Dereceleri

BREEAM: İngiltere’de Yapı Araştırma Kurumu (BRE) tarafından geliştirilip 1990 yılında uygulamaya konulan BREEAM ile konutlar, apartmanlar, okullar, hastaneler, kamu yapıları, endüstri yapıları, ofisler, alışveriş merkezleri gibi birçok farklı yapı türü değerlendirilmektedir. BREEAM sertifika süreci lisanslı bir uzman tarafından yürütülmekte ve uzman tarafından proje incelendikten sonra değerlendirme için BREEAM takımının bir üyesine sunulmaktadır. Yapılar çeşitli kategorilerde tanımlanan kriterlere göre değerlendirilerek sağladığı kriterlerden puan toplanmaktadır. Toplanan puanlar kategorilerin ağırlıklı katsayıları ile çarpılarak değerlendirme sonucu bir puan ortaya çıkar. BREEAM’e göre puanlama kategorileri ile katsayı ağırlıkları şu şekildedir: Bina Yönetimi %11, Sağlık ve İyi Hal %19, Enerji %20, Ulaşım %6, Su %7, Malzeme %13, Atıklar %6, Arazi Kullanımı ve Ekoloji %8, Kirlilik %10. Bu katsayılarla ilave olarak da İnovasyon için %10 ağırlığında puan eklenmektedir (Şekil 17). Puanlama sonucuna göre yapılar farklı derecelerde sertifikalara sahip olabilmektedir. Bunlar: BREEAM Pass (geçer), BREEAM Good (iyi), BREEAM Very Good (çok iyi), BREEAM

Excellent (mükemmel), BREEAM Outstanding (sıra dışı). Son yapılan araştırmalara göre BREEAM'ın uygulanmaya başlandığı 1990 yılından itibaren 4,5 milyon ton CO₂ emisyon kazancı sağlanmıştır (Beytekin, 2016; URL-11, 2023).



Şekil 17. BREEAM puanlama kategorileri

CASBEE: Binaların Çevresel Etkinliği için Detaylı Değerlendirme Sistemi anlamına gelen CASBEE, 2001 yılında Japonya'da "Japan GreenBuild Council" (Yeşil Bina Konseyi) ve "Japan Sustainable Building Consortium" (Japonya Sürdürülebilir Yapı Konsorsiyumu) tarafından geliştirilmiştir. Ön tasarım, mevcut yapı, yeni yapı ve renovasyon gibi farklı kategoriler için birbirinden farklı değerlendirmeler yapılabilmektedir. Değerlendirme sonucuna göre C (zayıf), B- (biraz zayıf), B+ (iyi), A (çok iyi) ve S (mükemmel) derecelerinde sertifikalar verilmektedir (URL-12, 2023).

SBTool: "International Initiative for a Sustainable Built Environment" (iiSBE) adlı bir organizasyon tarafından geliştirilen bir bina performans değerlendirme sistemi olan SBTool, bütün yerel koşullara ve bina tiplerine uyum sağlayabilen ve excel üzerinden çalışan esnek bir değerlendirme sistemidir. iiSBE'nin temel amacı küresel çapta sürdürülebilir bir çevre için gerekli politikaların, yöntemlerin ve araçların benimsenmesinde aktif bir rol oynamaktır. iiSBE'nin her kıtadan uluslararası bir yönetim kurulu bulunmaktadır. iiSBE'nin güncel SBTool sürümü 2016 yılında çıkmıştır (URL-13, 2023).

ASHRAE: 130'dan fazla ülkeden 50.000'den fazla üyesi olan ASHRAE sürdürülebilir bir dünyayı teşvik etmek amacıyla endüstride ısıtma, soğutma,

havalandırma ve iklimlendirme gibi alanlara odaklanan çalışmalar yapmaktadır. “American National Standards Institute” (ANSI) ve “International Organization for Standardization” (ISO) akreditasyon standartları ile binaların enerji performanslarını değerlendirmektedir. 2013 yılından bu yana Türkiye’de de çalışmalarını sürdürmektedir. ASHRAE tarafından geliştirilen Standard 90.1, neredeyse yarım yüzyıldır Amerika Birleşik Devletleri’nde ticari bina enerji kodlarının bir ölçütü ve dünya çapındaki kodlar ve standartların temel bir dayanağı olmuştur. Bu standart, düşük katlı konut binaları dışındaki çoğu alan ve bina için enerji verimli tasarımın minimum gereksinimlerini detaylı bir şekilde sunmaktadır. Yeni siteler ve binalar ile sistemlerinin, binaların yeni kısımlarının ve sistemlerinin ve mevcut binalardaki yeni sistemlerin ve ekipmanların tasarım ve inşaatı için minimum enerji verimliliği gereksinimlerini ve bu gereksinimlere uygunluğun belirlenmesi için kriterleri belirler (URL-14, 2023).

GREEN STAR: Avustralya Yeşil Bina Konseyi tarafından 2003 yılında geliştirilen Green Star enerji performans değerlendirme sisteminde LEED ve BREEAM sistemlerindeki gibi enerji ve kaynak korunumu ile iç mekan hava kalitesi kategorileri öne çıkmaktadır. Yapıların değerlendirilmesi sonucunda bir yıldızdan altı yıldıza kadar değerlendirilmektedir. Yapılar puanların en az %31’ini toplamasıyla dört yıldız kazanarak “Yeşil Yapı” olarak nitelenebilmektedir (Sev & Canbay, 2009).

- **Ulusal enerji performansı değerlendirme sistemleri**

Dünya’da olduğu gibi ülkemizde de sertifika sistemleri ve yönetmelikler üzerine çalışmalar devam etmektedir. Bu bölümde ülkemizde geliştirilen bazı çalışmalar açıklanmıştır. Bunlar;

Yes-TR: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından hazırlanan ve Resmi Gazete’de yayımlanan yönetmelik ile yürürlüğe giren Yeşil Sertifika’ya (YeS-TR) göre “Yeşil Yapı”; tasarım, inşa, işletme, bakım, tadilat, yıkım, atık suların atılmasını kapsayan sürdürülebilir yaşam döngüsü, enerji verimli, doğayla uyumlu ve düşük emisyonlu olarak tanımlanmıştır. Yapılar “Türkiye Çevre Ajansı” tarafından değerlendirilerek Geçer, iyi, çok iyi ve ulusal üstünlük gibi sertifika dereceleri ile derecelendirilmektedir (URL-15, 2023).

B.E.S.T.-Konut Sertifikası: Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği (ÇEDBİK) tarafından geliştirilen Binalarda Ekolojik ve Sürdürülebilir Tasarım (B.E.S.T.) Konut Sertifikası; bütünleşik yeşil proje yönetimi, arazi kullanımı, su kullanımı, enerji kullanımı, sağlık ve konfor, malzeme ve kaynak kullanımı, konutta yaşam, işletme ve bakım, yenilikçilik olmak üzere 9 kategoride değerlendirme yapmaktadır. Toplum için

sağlıklı, yaşanabilir bir çevre oluşturmayı amaçlamaktadır. Değerlendirmeye tabi tutulan projeler 110 puan üzerinden değerlendirilir ve 4 farklı sertifika derecesine sahiptir (Şekil 18). Bunlar; onaylı (46-64 puan), iyi (65-79 puan), çok iyi (80-99 puan) ve mükemmel (100-110 puan)'dir (URL-16, 2023).



Şekil 18. ÇEDBİK – B.E.S.T. Konut sertifika dereceleri

TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları: Ülkemizde yalıtım konusunda yayınlanan ilk mevzuattır ve 1970 yılında yürürlüğe girmiştir. Bu standart, yapıların ısıtılması için kullanılan enerji miktarını sınırlamayı ve enerji tasarrufunu artırmayı amaçlamaktadır. Ayrıca, standart yapıların enerji ihtiyacının hesaplanmasında kullanılacak standart hesap metodu ve değerlerini belirlemektedir. Bu standardın diğer amaçları arasında, ideal enerji performansını sağlayacak tasarım seçeneğinin belirlenmesi, mevcut binaların net ısıtma enerjisi tüketimlerinin belirlenmesi, uygulanabilecek enerji tasarruf tedbirlerinin sağlayacağı tasarruf miktarlarının belirlenmesi ve bina sektöründe gelecekteki enerji ihtiyacının tahmin edilmesi yer almaktadır (URL-17, 2023).

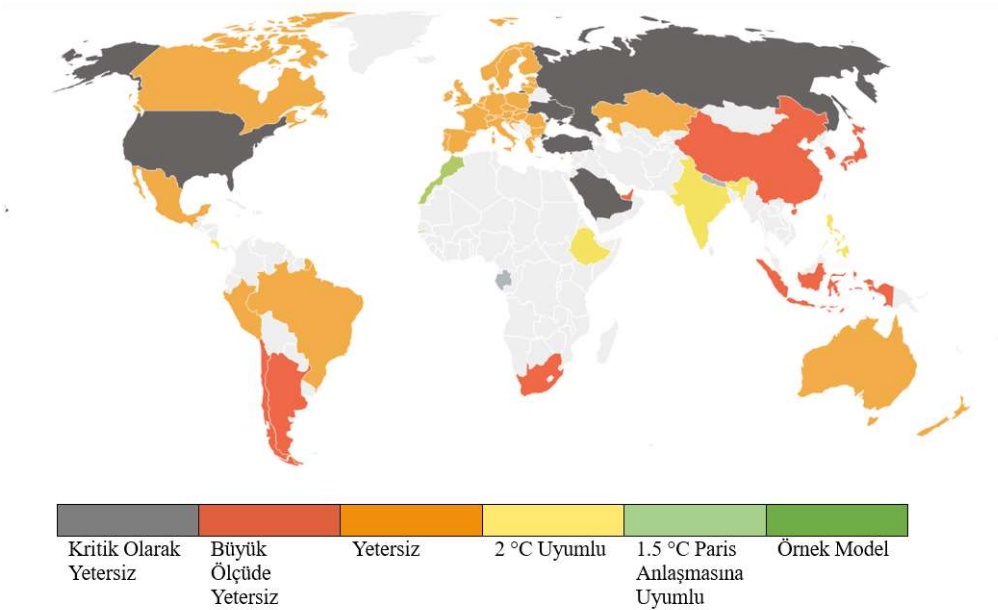
Enerji Verimliliği Denetim Yönetmeliği: 2018'de yürürlüğe giren bu yönetmeliğin temel amacı, enerjinin etkin kullanımını sağlamak, enerji israfını önlemek, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünü hafifletmek ve çevreyi korumak için gerçek veya tüzel kişilerin enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılması için yapması gereken yükümlülükleri ve sorumlulukları belirlemektir. Bu yönetmelik ayrıca, denetim usul ve esaslarını da düzenlemektedir (URL-18, 2023).

2.1.6.2. Enerji hedefleri

Günümüzde enerji verimliliği ve sürdürülebilir enerji kullanımı, çevresel faktörlerin yanı sıra sınırlı enerji kaynakları nedeniyle giderek artan bir önem kazanmaktadır. Bu nedenle, birçok kuruluş tarafından enerji tüketimini azaltmak ve

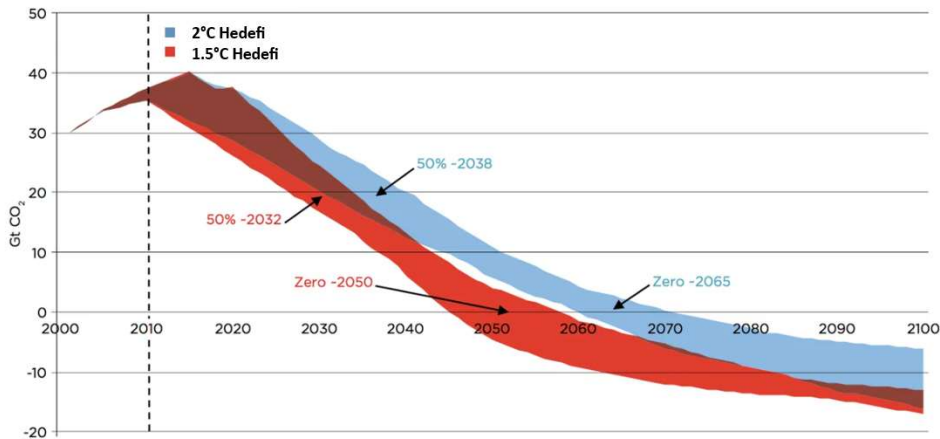
karbon salınımını düşürmek için enerji hedefleri belirlenmektedir. Bu bölümde dünya genelinde yürütülen çalışmalar neticesinde ortaya konan hedefler ele alınmaktadır.

Paris İklim Anlaşması: 2020 sonrası iklim değişikliği rejimi için belirleyici bir çerçeve oluşturulmaktadır. 2015'te düzenlenen Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi 21. Taraflar Konferansı'nda onaylanan anlaşma, küresel ölçekte tüm ülkelerin sera gazı emisyonunu azaltacağı taahhüdünde bulunmasını ilk kez sağladı. Anlaşma, küresel sera gazı emisyonlarının en az %55'ine sebep olan en az 55 taraf tarafından onaylanması ile, 4 Kasım 2016 tarihinden itibaren yürürlüğe girmiştir. Anlaşmanın amacı, sera gazı salımlarından kaynaklanan küresel sıcaklık artışını sanayileşme döneminin öncesinden 2 santigrat derece daha altta tutmaktır. Ayrıca, ülkelerin iklim değişikliğiyle mücadelede "ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluklar ve göreceli kabiliyetler" ilkesi çerçevesinde katkıda bulunmaları gerektiği vurgulanmıştır. Anlaşma, iklim değişikliğinden olumsuz etkilenen ülkelerin bu zararlı etkilere dirençlerinin artırılması ve sera gazı emisyonlarını azaltması amacıyla mali güç, teknoloji ve kapasitelerini artırmanın sağlanması gerektiğini öngörmektedir. Türkiye, 2030'dan itibaren hedeflenen "Niyet Edilen Ulusal Katkı" beyanını açıklayarak, sera gazı emisyonlarını %21'e varan bir oranda azaltacağını belirtmiştir. Türkiye, anlaşmayı geliştirmekte olan bir ülke olarak imzalamıştır (URL-19, 2023). Eylül 2019'daki güncellemeye göre ülkelerin yeterlilik durumları Şekil 19'daki haritada gösterilmiştir (URL-20, 2019).



Şekil 19. Ülkelerin sera gazı emisyonu yeterlilikleri

Net Zero by 2050 (2050'ye Kadar Net Sıfır): Dünya genelinde, gelecek on yıllarda net sıfır emisyon hedefi koyma sözü veren ülkelerin sayısı artmaktadır. Ancak, hükümetlerin şimdiye kadar verdiği sözlerin tamamının bile gerçekleştirilmesi, küresel enerji kaynaklı karbondioksit emisyonlarını 2050'ye kadar net sıfıra getirmek ve küresel sıcaklık artışını 1,5°C ile sınırlandırmak için gerekenin çok altında kalmaktadır. Net Zero by 2050 hedefi için hazırlanan çalışma, enerji kaynaklarının istikrarlı ve uygun maliyetli olmasını sağlayarak, evrensel enerji erişimini sağlayarak ve güçlü ekonomik büyümeyi mümkün kılarak 2050'ye kadar net sıfır enerji sistemine geçişin nasıl yapılacağına ilişkin dünya genelinde hazırlanan ilk kapsamlı çalışmadır. Bu çalışma, fosil yakıtların yerine güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir kaynakların hakim olduğu, temiz, dinamik ve dirençli bir enerji ekonomisi ortaya çıkaracak maliyet etkin ve ekonomik olarak verimli bir yol haritasını belirlemektedir. Çalışma ayrıca biyoenerjinin, karbon yakalamanın ve davranış değişikliklerinin net sıfıra ulaşmada oynadığı roller gibi ana belirsizlikleri de ele almaktadır (URL-21, 2023). Şekil 20'de Net Zero hareketinin sıcaklık artışının 1,5°C ve 2°C düşürüldüğü durumlarda net sıfır hedefinin zaman aralıkları gösterilmiştir (URL-20, 2019).

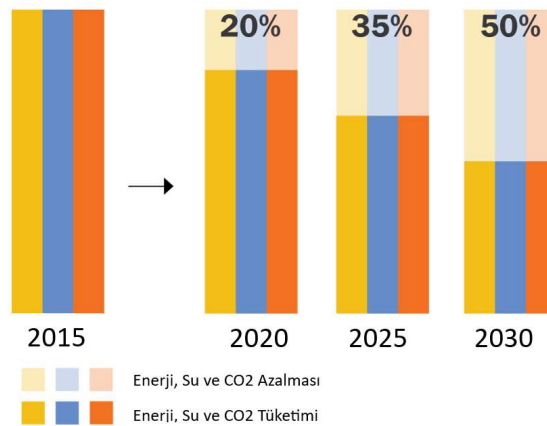


Şekil 20. Net sıfır hedefi 1,5°C ve 2°C düşüş zaman aralıkları

The 2030 Challenge (2030 Hedefi): Yapı sektörünün neden olduğu küresel sera gazı emisyonların ortadan kaldırılması, iklim değişikliği ile mücadele etmek ve Paris İklim Anlaşması hedeflerine ulaşmak için anahtardır. Bunun için, Architecture 2030, küresel mimarlık ve yapı topluluğuna aşağıdaki hedefleri benimsemelerini isteyen "The 2030 Challenge" adlı bir girişim başlatmıştır. Buna göre:

- Tüm yeni yapılar ve önemli yenilemeler, o yapı tipinin bölgesel (veya ülke) ortalamasının %70 altında bir fosil yakıt, sera gazı salınımı yaratan enerji tüketim performans standardını karşılayacak şekilde tasarlanmalıdır.
- En azından, mevcut yapı alanının eşit bir miktarı, o yapı tipinin bölgesel (veya ülke) ortalamasının %70'ine karşı fosil yakıt, sera gazı salınımı yaratan enerji tüketim performans standardını karşılamak için her yıl yenilenmelidir.
- Tüm yeni yapılar ve önemli yenilemeler için fosil yakıt azaltma standardı şu şekilde artırılmalıdır: 2020'de %80, 2025'te %90, 2030'da karbon nötr (işletmek için fosil yakıt sera gazı salınımı yaratmayacak şekilde).

Bu hedeflere, yenilikçi sürdürülebilir tasarım stratejilerinin uygulanması, yerinde yenilenebilir enerji üretimi ve/veya (maksimum %20) dış kaynaklı yenilenebilir enerji satın alarak ulaşılmaktadır (URL-3, 2023). 2030 Hedefi hareketinin enerji, su ve CO₂ tüketimi için de 2030 yılına kadar %50 azaltmaya gitmesi beklenmektedir (Şekil 21).



Şekil 21. 2030 Hedefi enerji, su ve CO₂ tüketimi hedefleri

2.2. Yapı Kabuğu - Enerji İlişkisi

Yapı kabuğu; yapının iç ve dış çevresini birbirinden ayıran dış duvar, çatı, kapı, pencere, döşeme gibi elemanlar bütünüdür. Yapı kabuğunun yapı için fiziksel çevre kontrolünün sağlanması, yapısal destek olması, iç mekan enerjisinin korunması, yangın güvenliğini sağlaması ve tasarım estetiğine sahip olması gibi fonksiyonları bulunmaktadır (Şenyurt, 2018).

Yapı kabuğu, yapının dış mekandaki iklimsel şartların olumsuz etkilerinden korunmasında ve iç mekanda konforlu bir ortam sağlanmasında önemli rol oynamaktadır.

Bu bakımdan yapı kabuğu tasarlanırken enerji etkinliği mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Yapı kabuğu, enerji etkinliği bakımından termofiziksel ve optik özellikler olmak üzere iki başlıkta incelenebilir (Tıkır, 2009).

2.2.1. Yapı kabuğunun termofiziksel özellikleri

Yapı kabuğunun termofiziksel özellikleri; ısı geçirgenlik katsayısı, genlik küçültme faktörü, zaman gecikmesi ve sönüm oranı gibi özellikler olarak tanımlanabilir.

2.2.1.1. Isı geçirgenlik katsayısı (U)

Yapının iç ve dış mekandaki sıcaklık farkından dolayı yapı kabuğunda ısı geçişi meydana gelmektedir. Isının geçiş yönüne göre yapı kabuğunda ısı kazanç ya da kayıplar gerçekleşmektedir (Yılmaz, 2006). Yapının ısı kaybı yaşamaması için ısı geçişini azaltması gerekmektedir. Bunun için yapı kabuğunun ısı geçişine gösterdiği direncin (R) artması gerekmektedir. Isıl geçirgenlik katsayısı (U) ise R değeri ile ters orantılıdır. U değeri, iki taraf arasında 1 °C fark bulunduğu durumda 1 m²'lik alandan 1 saatte geçen toplam ısı miktarı olarak tanımlanmaktadır. Buna göre yapı kabuğunda U değerinin azalması, ısıl direnci artırarak yapıda ısı kayıplarının yaşanmasını önleyecektir (Givoni, 1976).

2.2.1.2. Zaman gecikmesi ve genlik küçültme faktörü

Yapı kabuğundaki opak yüzeylerin zaman gecikmesi ve genlik küçültme faktörü gibi termofiziksel özellikleri sayesinde yapı kabuğunda ısı depolanabilmektedir. Bu özellikler yapı malzemelerinin ısı iletkenlik katsayıları, kalınlıkları, yoğunlukları, özgül ısıları ve ısıl kapasiteleriyle doğrudan ilişkilidir. Dış mekandaki ısı değişimi yapı kabuğunda ısı geçişini yavaşlatmakta ve sıcaklık salınımlarının genliğini (ortalamadan sapma değeri) azaltmaktadır. Genlik küçültme faktörü, iç mekan sıcaklığının ortalama sıcaklıktan sapma değerinin dış mekan sıcaklığının ortalama sıcaklıktan sapma değerine oranı olarak tanımlanabilir. Zaman gecikmesi ise yapı kabuğunun dış yüzeyindeki en yüksek sıcaklığın, kabuğun iç yüzeyindeki en yüksek sıcaklığı oluşturuncaya kadar geçen süreyi tanımlamaktadır. Yapı kabuğunun ısıl kütlesine bağlı olarak değişim gösterebilmektedir (Beytekin, 2016; Tıkır, 2009).

2.2.1.3. Sönüm oranı

Sönüm oranı, yapı kabuğunun iç ve dış yüzeylerde en düşük ve en yüksek sıcaklık farklarının oranı olarak tanımlanmaktadır (Beytekin, 2016).

2.2.1.4. Saydırlık oranı

Yapı kabuğundaki şeffaf yüzeyli alanların toplam yüzey alanına oranı saydırlık oranı olarak tanımlanmaktadır. Şeffaf yüzeyler, dış mekanda güneşten gelen ısı ve ışık miktarını etkilediği için ısıtma, soğutma, aydınlatma gibi enerji tüketimlerini ve görsel konfor koşulları bakımından önem arz etmektedir. Yapı kabuğundaki ideal saydırlık oranı, yapının enerji tüketimi ve kullanım işlevine göre değişkenlik göstermektedir. İç mekanda görsel hoşluk için ideal oran %30, doğal aydınlatma için en az %20, aşırı ısınabilecek mekanda en fazla %40 şeklinde sınıflandırılmıştır (Zorer, 1992). Yapı kabuğunda yer alan pencere boyutları belirlenirken mekanın ısınma ve yapay aydınlatma enerji yüklerinin artmayacağı kadar büyük ancak görsel kamaşma ve soğutma enerji yükünün artmayacağı kadar da küçük olacak şekilde en uygun boyutlar belirlenmelidir.

2.2.2. Yapı kabuğunun optik özellikleri

Yapı kabuğunun optik özellikleri yapı kabuğundaki duvar, pencere, çatı, döşeme gibi elemanların güneş ışınımı ile olan ilişkisi olarak tanımlanmaktadır. Yapı kabuğundaki malzemelerin geçirgenlik (transmittance), yansıtıcılık (reflectance) ve yutuculuk (absorbance) özellikleri yapı kabuğunun enerjiyle olan ilişkisini etkilemektedir. Opak yüzeyler; malzemenin rengi, malzemenin dokusu, ışının dalga boyu, ışının geliş açısı ve yüzey sıcaklığı gibi özelliklere bağlı olarak gelen ışının bir kısmını yansıtarak ve kalan kısmını ise yutarak ısı enerjisine çevirmektedir. Şeffaf yüzeyler ise kısa dalga boyuna sahip ışını geçirirken uzun dalga boyuna sahip ışına karşı opak yüzey gibi davranarak iç mekanda ısı enerjisi oluşturmaktadır (Soysal, 2008).

2.2.2.1. Cam tipleri

Pencerelerin ısı performansını, kullanılan cam tipi ve özellikleriyle belirlenmektedir. Bu performans, pencerenin iç ve dış ortam sıcaklık farkından doğan ısı transferinin hesaplanması ile ortaya çıkmaktadır. İç-dış ortam sıcaklık farkından kaynaklanan bu ısı, sıcak ortamdaki soğuk ortama doğru hareket eder. Şeffaf yüzeylerin ısıyı geçirme direnci opak yüzeylere göre daha az olduğu için yapı kabuğunda ısı kazanç ve kayıplarının yükselmesine sebep olmaktadır (Ayçam & Utkutuğ, 1999).

Işıma yolu ile ısı transferi ise yapı malzemesinin optik özelliklerine ve güneş ışığının cepheye geliş açısına göre değişir. Isıyı soğuran camlar, yansıtıcı camlar, düşük yayılıma sahip camlar, film kaplamalı camlar, ısı aynası cam, iki cam arasındaki boşlukta asal gazın kullanılması ve akıllı camlar güneş kontrolü ve ısı korunumu için kullanılmaktadır (Ayçam, 1998).

Akıllı camlar; fotokromik, elektrokromik, termokromik, holografik gibi camlara verilen bir isimdir. Bu camlar, çevresel faktörlere göre dış ortam koşullarına uyum sağlayabilecek şekilde tepki vererek kendilerini değiştirebilmektedirler (Şekil 22). Dış mekandan gelen güneş ışığı, elektrik akımı, sıcaklık ve elektrik alanı gibi uyaranlarla karşılaştıklarında geri dönüşümlü olarak renk ve saydamlık değiştirirler. Bu durum da ışık geçirgenliklerinin değişmesine yol açmaktadır (Soysal, 2008).

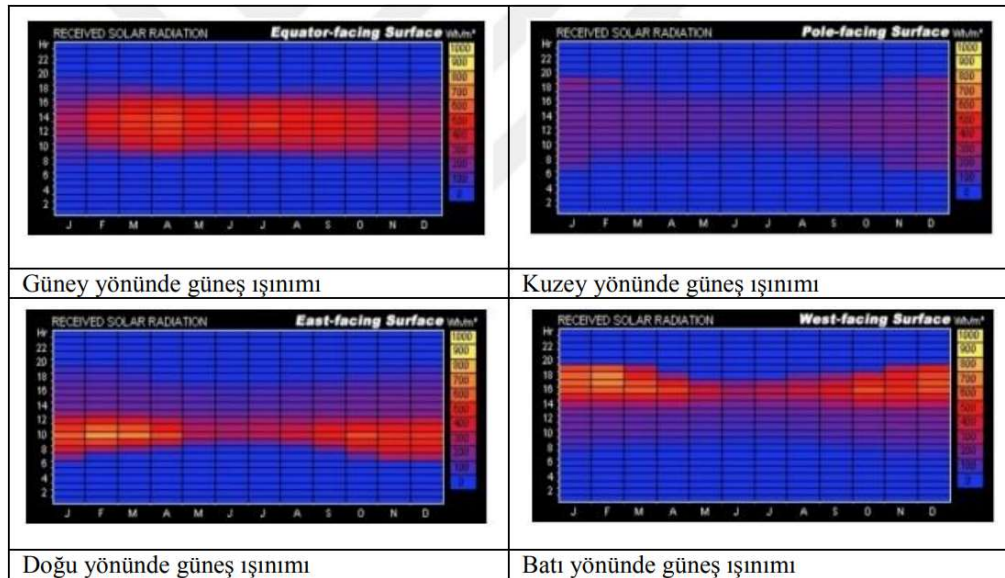


Şekil 22. Termokromik (solda) ve elektrokromik (sağda) cam örnekleri (Kazanasmaz & Diler, 2011)

2.2.2.2. Uygun yönlenme

Yapı tasarımında uygun yönlenme enerji tüketimini kontrol altına almak ve konfor koşullarını uygun hale getirmek için çok önemlidir. Uygun yönlenme; mekânların organizasyonunu, güneş kontrolünü ve gölgelenmeyi içermektedir. Güneş kontrolü bakımından pencere yönü ve alanı enerji korunumunu etkilemektedir. Kış aylarında bile, uygun pencere yönü ve alanı %12'ye kadar enerji artışı sağlayabilmektedir. Ekim ve Mart aylarında ölçülen enerji verimliliği, pencerenin konumu, boyutu, çerçeve malzemesi, cam yansıtma etkeni ve hava koşulları gibi etkenlere bağlı olarak %15-20'ye kadar değişebilmektedir (Beytekin, 2016).

Yapıların en uygun yönünün belirlenmesi, yapıdaki enlem, iklim şartları ve fonksiyona bağlı olarak gerçekleştirilmektedir. Güneşin yaz döneminde dik açıyla, kışın ise yatık açıyla cepheye gelmesi, kuzey yarım kürede güney yönüne dönük cephelerin güneş enerjisinden kışın daha fazla yararlanmasını sağlamaktadır. Binanın farklı cephelerindeki yıllık güneş ışıını, yapının konumlandığı yöne göre değişiklik göstermektedir. Güneşin batı ve doğu cephelerine gelen ışıını daha hareketli olduğu için oldukça değişkendir. Ancak, kuzey ve güney yönlerindeki ışıını daha tutarlı olmaktadır. Güneş ışıını yoğunluğu en fazla olan yönler sırasıyla güney, batı, doğu ve kuzey olarak sıralanmaktadır (Demircan & Gültekin, 2017). Görsel konfor ve ısı konfor için binanın uzun cephe aksının batı-doğu ekseninde olması istenmektedir. Bu eksen yönü, günışığının doğru bir şekilde iç mekâna alınması ve uzun cephe yönünde kamaşma sorunlarını kontrol edebilme imkânı sağlamaktadır. Pasif tasarım kriterlerinden biri olan yapıların uygun yönlendirilmesi, yapıların çevresel etkilerini minimize ederken konforlu bir iç mekan sağlamak için de önem arz etmektedir. Şekil 23'te yönler ile ilgili olarak güneş ışıını yoğunluğu gösterilmektedir (Ofloğlu, 2018).



Şekil 23. Yönler ile ilgili olarak güneş ışıını yoğunluğu

2.2.2.3. Güneş kontrol elemanları

Güneş ışınlarının yapılarda oluşturduğu ısı etkilerden korunmak için güneş kontrol elemanlarının tasarımı oldukça önemlidir. Güneş kontrol elemanları, bina yeri, konumu, enlemi ve yönlendirilmesi gibi faktörlere bağlı olarak tasarlanmalıdır. Yapının içinde veya dışında konumlandırılan elemanlar, güneş kontrol performanslarını

etkilemektedir. Yapı kabuğunun içerisinde konumlandırılanların bakım süreçleri ve kullanım kolaylığı açısından avantaja sahiptir. Dışarısında yerleştirilmiş olanlar ise yüksek performans sağlarlar ancak düzenli bakım gerektirirler. Kullanılan elemanlar arasında güneş kırıcılar, kepenkler, tenteler, jaluziler, perdeler, derin balkonlar, yatay saçaklar, dikey güneş kırıcıları ve kanat duvarları yer almaktadır (Soysal, 2008).

Güneş kontrol elemanları tasarlanırken ana ilke, iç mekanlarda kullanıcı konforu sağlanırken enerji verimliliğinin de sağlanmasıdır. Yapının gereğinden fazla ısınmasını önlemek, pencerelerde parlamayı azaltmak ve mahremiyeti sağlamak başlıca amaçlardandır (Bülow-Hübe, 2000). Gölgeleme elemanları, soğutma için gerekli olan enerji yükünü %50-79 oranında azaltabilmektedir (Sciuto, 1998).

Güneş kontrol elemanı tasarım süreci, mekâna ve yapıya ait parametrelere göre güneş ışığının kontrolü ihtiyacının belirlenmesi, tasarım özelliklerinin saptanması, deneme tasarımının geliştirilmesi, performansın ölçülmesi ve beklentilerin karşılanması gibi aşamalardan oluşmaktadır. Bu süreçte gölgeleme elemanının kabuktaki yeri, kullanım şekli gibi özellikler maliyet, cephe tasarımı, doğal aydınlatma ve manzara gibi etkenler dikkate alınarak belirlenmektedir. Gölgeleme elemanı örnekleri ve uygulamaları, gölgeleme maskesi, bilgisayar simülasyon programları veya ölçekli modeller performansın ölçülmesinde yardımcı olabilmektedir. Tasarım, doğal aydınlatma, estetik, doğal havalandırma gibi tasarımsal değişkenler ve performans beklentileri açısından kabul edilebilir hale gelene kadar değiştirilebilmektedir (Kwok & Grondzik, 2007).

2.3. Yapı Kabuğu Enerji Performansı ve Maliyetinin Değerlendirilmesi

Bu bölümde yapı kabuğu enerji ilişkisi çerçevesinde ısı yükleri, yaşam döngüsü, sürdürülebilirlik ve maliyet değerlendirilmesi konuları ele alınmıştır.

2.3.1. Isıl yüklerin değerlendirilmesi

Yapı kabuğunun ısı performansının değerlendirilmesi sırasında, yapı kabuğundan geçen ısı miktarı kadar ısının geçtiği süre de önem taşımaktadır. Yapı kabuğu hafif olan yapılar, düşük ısı kapasiteleri nedeniyle dışarıdaki sıcaklık değişikliklerini hemen içeriye hissettirmektedirler. Bu durum, binanın içindeki ısıtma ya da soğutma cihazının bu değişikliklere cevap vermesini gerektirmektedir. Öte yandan, yapı kabuğu daha ağır olan yapılar, yüksek ısı kütleye sahip oldukları için dışarıdaki sıcaklık değişimlerinin binaya olan etkisini geciktirmektedirler. Bu da mekanik sistemlerin kapasitesini düşürmekte ve yanıt verme hızını yavaşlatmaktadır (Elder & Vandenberg, 1974). Simülasyon

yazılımları, yapı kabuğunu, mekanik sistemlerini, aydınlatmayı ve enerji tüketimi ile ilgili ısı enerjisi tabanlı etkileşimi hesaplamak için kullanılır ve genellikle saatlik olarak ve her bölge için ayrı enerji yükü hesapları yapmaktadırlar (Hong ve diğ., 2000). Enerji yükü hesaplaması, bir binada mekanik sistem için gerekli yıllık ısı yüklerinin hesaplanmasını içermekte, böylece en doğru ekipmanın kurulması ve toplam enerji tüketiminin önceden belirlenmesi mümkün olmaktadır (Hui, 1998).

2.3.2. Yaşam döngüsünün değerlendirilmesi

Yaşam döngüsünün analizi, bir ürünün veya malzemenin tüm hayatını ele alarak çevresel etkilerinin değerlendirilmesini içermektedir. Bu yöntem, ürünün ham madde halinden fabrikaya taşınması, işlenmesi, kullanılacağı yere taşınması, kullanımı ve nihai atık haline gelmesini kapsamaktadır. Bu süreç boyunca doğal kaynak kullanımı ve çevre kirliliğine neden olan emisyonlar da dahil olmak üzere çevresel etkileri ölçmektedir. Yaşam döngüsü analizi, bir yapının inşasından yıkımına kadar olan herhangi bir süreçte de yapılabilir. Bu süreçte, üretim, inşa, bakım, tamir, yeniden yapım, yıkım ve geri dönüşüm katılım aşamaları da değerlendirilebilir (Tıkrır, 2009). Yaşam döngüsünde işletim enerjisi, enerji kullanım döngüsünün en önemli unsurudur. Ayrıca, konut tasarımında çevresel faktörler öncelikli olarak ele alınmakta ve bu konuda standartlar geliştirilmesi için maliyet artışı bile göz önünde bulundurulmaktadır (Raymond & Kernan, 1996).

Aşağıdaki adımları takip ederek gerçekleştirilen bir teknik olan yaşam döngüsü değerlendirmesi, malzemenin ya da sistemin tüm hayatı boyunca potansiyel etkilerini belirlemek ve çevresel durumu değerlendirmek için kullanılmaktadır. Bu adımlar:

- İlgili girdilerin ve çıktıların özetinin çıkarılması
- Bu girdi ve çıktıların çevreyle olan etkileşim potansiyelinin değerlendirilmesi
- Analiz sonuçlarının ve etkileşim değerlendirmelerinin amaçlarına göre yorumlanması (Ahmed & Tsavdaridis, 2018)

2.3.3. Sürdürülebilirlik değerlendirmesi

Sürdürülebilirlik değerlendirme araçları, yaşam döngüsü değerlendirme araçlarından farklı olarak yapının çevresel etkilerini ve aynı zamanda iç ve dış koşulları da ölçerek daha geniş bir perspektife sahiptir. Bu nedenle, çevresel düşünceleri eşzamanlı olarak değerlendirmek için açıkça belirtilmiş ölçütlere dayalı nesnel ve kapsamlı araçlar oluşturmaktadırlar. Konutların çevreye etki performanslarını değerlendirme metotları,

konut kullanıcılarına daha çevreci performans elde etmek için alınabilecek önlemlere temel oluşturmaktadır. Bu değerlendirmeler, iklim değişikliği, fosil yakıt tükenmesi, su tüketimi, kirlilik, sağlık, biyolojik çeşitlilik, peyzaj ve diğer faktörleri içerir. Sürdürülebilir değerlendirme, bir konutun çevresel performansını değerlendirmenin yanı sıra, bu performansı iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Enerji tüketimi ve kaynakları, su tüketimi, malzeme türü ve miktarı, geri dönüşüm, atık yönetimi, bina yönetimi ve altyapı sistemleri gibi faktörler, bir konutun sürdürülebilirliğini değerlendirmek için önemli faktörlerdir (Tıkır, 2009).

2.3.4. Maliyetin değerlendirilmesi

Yaşam döngüsü maliyeti, yatırımcıların farklı seçeneklerin ilk yatırım maliyetleri ve işletim bakım maliyetleri arasında karşılaştırma yapabilmelerini sağlayan bir yöntemdir. Bu maliyeti belirlemenin amacı, en uygun performansa sahip kararlar arasında seçim yapabilmektir. Gelecekteki bakım işletim maliyetleri ve yatırımın kabul edilebilirliği, çeşitli yatırım senaryoları incelenerek tahmin edilmektedir (Tıkır, 2009). Yaşam boyu maliyeti, maliyet-fayda analizleri, çok faktörlü analizler ve çevresel analizler gibi diğer karar verme yöntemlerine bir seçenek olarak değerlendirilebilmektedir (Verbeeck, 2007). Enerji verimliliği faydalarının net değerini belirlemek için, enerji verimliliği faydalarının, bu faydayı oluşturan maliyetle birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir (Hunn, 1996).

Maliyet değerlendirmesi için, karar verici kişi kim olacaksa maliyet tanımı ona bağlı olmaktadır. Karar veren ev sahibi ise vergiler, market değerini ve devlet yardımlarını da içermektedir. Küçük bir grubun finansal davranışını ilgilendiriyorsa, mikro ekonomi olarak değerlendirilmektedir. Ancak karar verici olan devlet ise, para transferi, işsizlik, fiyat değerleri, endüstriyel üretimdeki değişimler ve enflasyon gibi makro ekonomik faktörleri de hesaba katmak gerekmektedir (Tıkır, 2009). Bina enerji performansı yönetmeliği zorunlu hale gelirken, enerji tasarrufu tedbirleri yatırımları güçlendirmeyi amaçlayan enerji politikaları da makro ekonomik analizin odak noktasını oluşturmaktadır. Konutlardaki enerji tasarrufu araçlarına karar veren mülk sahibi, ilk yatırım maliyeti ve enerji tasarruflarından sağlanacak finansal kazancı dikkate alırken, sosyal maliyet ve vergi dağılımını genellikle göz ardı etmektedir (Verbeeck, 2007).

Maliyet-fayda analizleri, projenin sadece finansal maliyetlerini değil, finansal olmayan etkileri de hesaba katarak değerlendirmektedir. Maliyet-fayda dengesini doğru değerlendirebilmek için:

- Projeyi ve proje yerine ait nüfusu tanımlama
- İlgili parametrelerin belirlenmesi
- İlgili maliyet ve faydaların parasal olarak değerlendirilmesi
- Faydaların ve maliyetlerin zamanla indirgenmesi ve bütünleştirilmesi
- Toplam indirgenmiş faydaların toplam indirgenmiş maliyetlerle kıyaslanması ve bugünkü net değerin hesaplanması
- Projenin yaşam döngüsü ve iskonto oranı gibi önemli etkenler üzerinde duyarlılık analizleri (Moons, 2003) olmak üzere bu altı adıma dikkat edilmesi gerekmektedir.

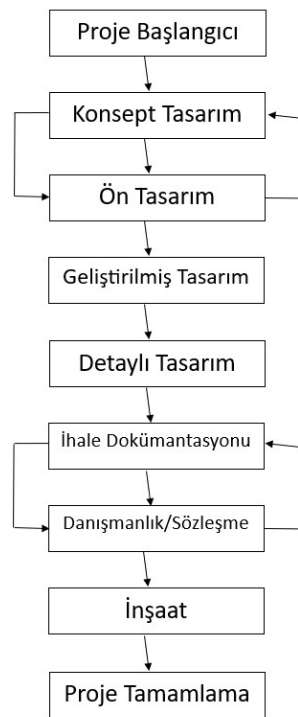
2.4. Bina Enerji Modellemesi Yaklaşımı

Endüstri devrimi sonrası yaşanan teknolojik gelişmeler neticesinde dünya üzerinde enerji kaynaklarının hızla tükeniyor olması, inşaat teknolojilerinin sürdürülebilirlik ve enerji etkin yapılar üretme üzerine yoğunlaşmasını gerekli kılmıştır. Bu nedenle bilgisayar yazılımı modelleri geliştirerek yapıların inşaat ve işletme süreçlerini simüle etmek için “Building Information Modelling” (Yapı Bilgi Modellemesi) yöntemi kullanılmaya başlanmıştır. Kısaca BIM olarak adlandırılan bu yöntemle dayanarak son yıllarda, bina enerji verimliliği hedeflerini gerçekleştirmek için “Building Energy Modelling” (Bina Enerji Modellemesi) adlı bir yaklaşım benimsenmektedir. Kısaca BEM olarak adlandırılan bu yaklaşımda ise tasarlanmış BIM modelini (mimari tasarım ve mekanik yük bilgileri, malzeme özellikleri ve mekanik sistemler dahil) kullanarak BEM araçları için girdi oluşturulmaktadır. Böylece BEM, zaman tasarruflu, maliyeti düşük, kullanımı kolay, daha pratik ve uyumlu bir süreç haline gelmektedir. Tasarımcılar, bina tasarım sürecinde BIM tabanlı BEM yaklaşımını kullanarak tasarım seçeneklerini değerlendirebilirler ve tasarım kararları alabilmektedirler. Bu sayede bina enerji verimliliği hedefi daha kolay bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir (Ernstrom, 2006).

2.4.1. Bina Enerji Modellemesinde Tasarım Süreci

Binanın tasarım süreci genellikle dört aşamadan oluşmaktadır: kavram tasarımı, ön tasarım, geliştirilmiş tasarım ve detaylı tasarım. Öncelikle, binanın ihtiyaçları belirlenmek üzere paydaşlarla bir proje başlangıç toplantısı düzenlenir. Proje hedefleri ve tasarım gereksinimleri kavram tasarımı aşamasında belirlenir. Ön tasarım aşamasında,

kavram tasarımının detayları geliştirilir ve bina kabuğu, yapı sistemleri, aydınlatma, akustik ve termal konfor tasarımı gibi unsurlar göz önünde bulundurulur. Geliştirilmiş tasarım aşamasında ise kavram tasarımı daha da geliştirilir ve bina kabuğu ayrıntılandırması, alan düzeni, klima ve havalandırma sistemi entegrasyonu, yapısal tasarım entegrasyonu, elektrik sistemleri entegrasyonu, hidrolik sistemler entegrasyonu ve son malzeme seçimi belirlenir. Bu aşamada, ayrıntılı bir termal, gün ışığı ve enerji modellenmesi uygulanmalıdır. Geliştirilmiş tasarımda, inşaat belgeleri için gereksinimler ve protokoller hazırlanmalıdır. Belgeler, tüm disiplinler arasında koordine edilmelidir. Aksi takdirde ihale ve inşaat süreci olumsuz etkilenebilmektedir (Gao ve diğ., 2019).



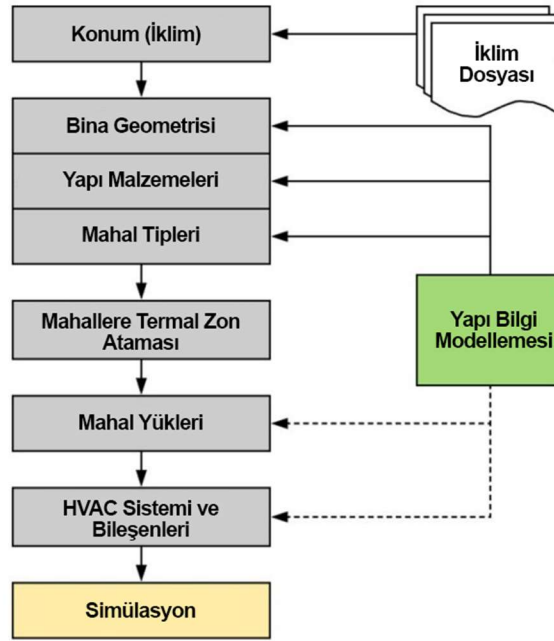
Şekil 24. Geleneksel bina tasarım süreci

Şekil 24'te gösterilen geleneksel bina tasarım sürecinin birçok dezavantajı mevcuttur. Bu süreç, tasarım ekibi üyeleri arasında az etkileşim ve ayrı çalışma şekline yol açmaktadır. Bu nedenle, mühendislerin enerji verimliliği açısından gerekli olan önerilerini sunmaları güçleşmektedir. Ayrıca, enerji modelleri gibi bina simülasyonları genellikle tasarım sürecinin erken aşamalarında yer almamaktadır. Bu durum, binanın yüksek enerji tüketim performansına ve yüksek işletme maliyetlerine yol açabilmektedir. Tasarım sürecinde ileri ve yüksek performanslı sistemler önermek mümkün olsa da, bu

sistemlerin sürece geç dahil edilmesi, başlangıçta alınan yanlış tasarım kararlarının neden olduğu sorunları çözmeye yeterli olmamaktadır (Larsson, 2009).

Geleneksel bina tasarım sürecinin getirdiği dezavantajlar nedeniyle bina tasarım sürecinin daha entegre yürütülmesi zorunluluğu doğmuştur. Bu süreç, multidisipliner bir tasarım ekibinin erken aşamalardan itibaren iş birliği yaparak bina tasarım kararlarını bir dizi geri bildirim döngüsü aracılığıyla belirlediği bir toplam süreçtir (Serginson ve diğ., 2013). Bu süreçte, performans hedefleri dikkate alınır ve tüm disiplinlerden görevliler iş birliği yaparak optimize edilmiş kararlar alır. Mimarlar takım lideri haline gelirken, mühendisler erken tasarım aşamasında binanın performansına dair tasarım fikirlerini sunmaktadır. Keşif-metrajdan sorumlu takım üyelerinin inşaat maliyetini erkenden daha sağlıklı bir şekilde hesaplamalarının yanı sıra malzeme ömrü analizleri ve diğer teknolojik sistemleri de tasarıma dahil etme imkanı doğmaktadır (Zimmerman & Eng, 2006).

Bina enerji modellemesi yapabilmek için binaya ait bazı girdiler oluşturmak gerekmektedir. Bu girdilerin başında ise binanın bulunduğu konuma ait iklim dosyası gelmektedir. Bu dosyada binanın hangi iklim bölgesine ait olduğu, koordinat ve deniz seviyesinden yükseklik bilgileri, yıllık sıcaklık-yağış miktarları gibi enerji tüketimini etkileyen veriler yer almaktadır. Bu dosya için genellikle .epw uzantılı DOE tarafından geliştirilmiş dosya formatı kullanılmaktadır. Binaya ait diğer girdiler ise tamamen BEM tabanlı yazılımlarla oluşturulabilirken, arayüz kolaylığı sebebiyle BIM tabanlı modelleme yazılımlarından da destek alınabilmektedir. Bina geometrisi, yapı malzemeleri ve mahal tipleri temel olarak BIM yazılımları aracılığıyla sağlanabilmektedir. Kimi BIM yazılımları ile mahal enerji yükleri ve mekanik sistemlere ait girdiler de modellenebilmektedir. Gerekli bütün girdiler oluşturulduktan sonra ise enerji analizi için simülasyon yapılabilir. Bina enerji modellemesi şeması genel hatlarıyla Şekil 25'teki gibidir (Gao ve diğ., 2019).



Şekil 25. Bina enerji modellemesi şeması

2.4.2. Bina Enerji Simülasyon Yazılımları

Yapıların inşa süreçlerinde bilgisayarların kullanılmasıyla birlikte yapıların enerji performanslarını ölçmek amacıyla bilgisayar tabanlı enerji simülasyon yazılımları ilk olarak 1960'larda kullanılmaya başlanmıştır. Bu dönemde araştırmalar neticesinde enerji yükü hesaplamada derece-gün (degree-day), tam denk yük saat (equivalent full load hour), depo metodu (bin method) gibi bazı metotlar ortaya çıkmıştır. Bu dönemde ortaya çıkan enerji krizi dünya üzerinde enerjinin korunumuna dair farkındalığı artırmış ve bu tür çalışmalar için teşvikler verilmiştir. Birleşmiş Milletler Enerji Departmanı (DOE), önemli bir bütçe ayırarak TRNSYS ve DOE-2 gibi yapı simülasyon yazılımlarını geliştirmiştir. 1990'lı yıllara kadar laboratuvarlarda kullanılan bu tür yazılımlar küresel enerji tehdidinin artmasıyla birlikte zorunluluk haline gelmiş ve yapı tasarımı sırasında kullanılan rutin araçlardan olmuştur (Hong ve diğ., 2000).

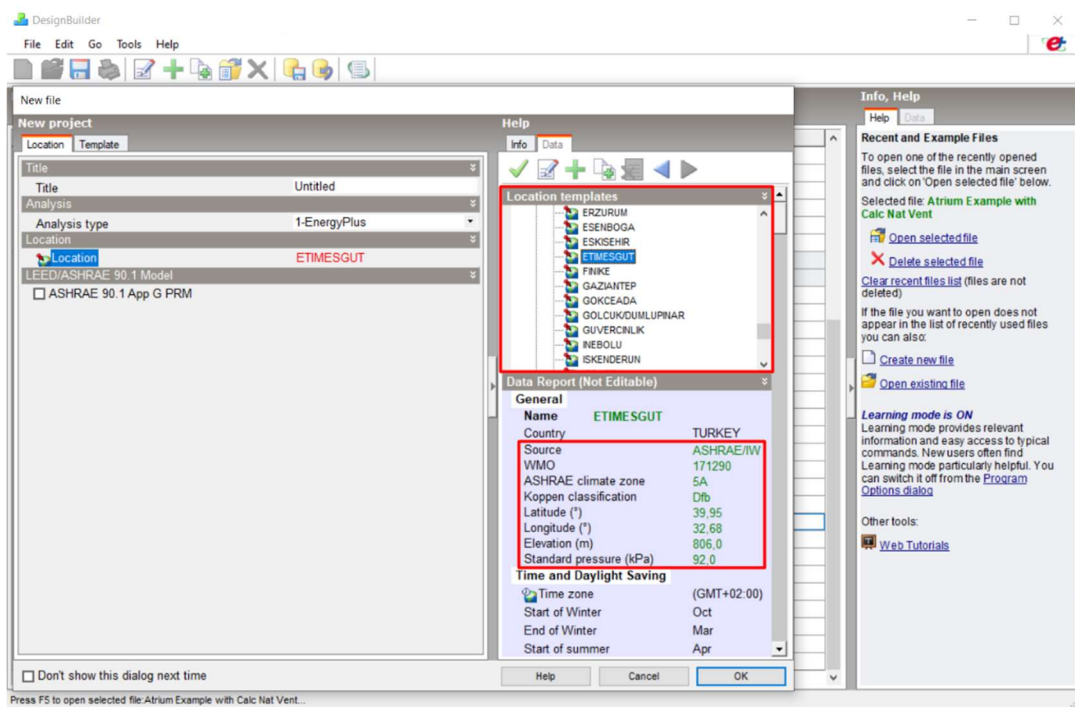
Simülasyon yazılımları yapıların enerji performansını etkileyebilecek parametreleri göz önünde bulundurarak çeşitli hesaplama yöntemleri çerçevesinde yapının enerji performansını daha yapı inşa edilmeden ortaya koyabilmektedir. Bu durumda yapının tasarım kararları alınırken enerji performansı da göz önünde bulundurularak yapının daha çevreci bir şekilde inşa edilmesine yardımcı olmaktadır. Yeni yapılacak olan yapıların yanı sıra mevcut yapılarda da enerji etkin önlemler alınmak istendiğinde enerji simülasyon yazılımları kullanılarak yapının enerji modellemesi yapılır

ve enerji etkin önlem alınabilecek parametreler ortaya konabilir. Bu simülasyon yazılımları aynı zamanda mimarlar ile yapının enerji performansından sorumlu mühendisler arasındaki iletişimi artırarak multidisipliner bir ortamda yapının enerji etkin bir yapı olarak tasarlanmasına yardımcı olmaktadır (Yılmaz, 2012). Enerji simülasyon programları; ısıtma/soğutma yük hesabı, enerji performans analizi, Enerji Yönetim ve Kontrol Sistemi (EMCS) tasarımı, yapı yönetmeliklerine ve standartlarına uymak, maliyet analizi ve pasif enerji tasarrufu alternatiflerinin incelenmesi gibi amaçlarla kullanılmaktadır (Hong ve diğ., 2000).

Bina enerji modellemesi için literatürdeki çalışmalarda en yaygın kullanıma sahip yazılımlar, bir arayüz yazılımı olan DesignBuilder ve bir simülasyon motoru olan EnergyPlus'tır. DesignBuilder, kullanıcı dostu bir arayüz ile sanal yapı modelleriyle çalışmayı sağlayan bir modelleme aracıdır. Bu araç, enerji tüketimi, karbon emisyonu, konfor koşulları, gün ışığı aydınlatması, maksimum yaz sıcaklığı ve HVAC bileşen boyutları gibi çeşitli çevresel performans verilerini sunmaktadır. DesignBuilder, performans verileri üretmek için EnergyPlus dinamik simülasyon motorunu kullanmaktadır. DesignBuilder'ın genel kullanım alanları arasında şunlar bulunmaktadır:

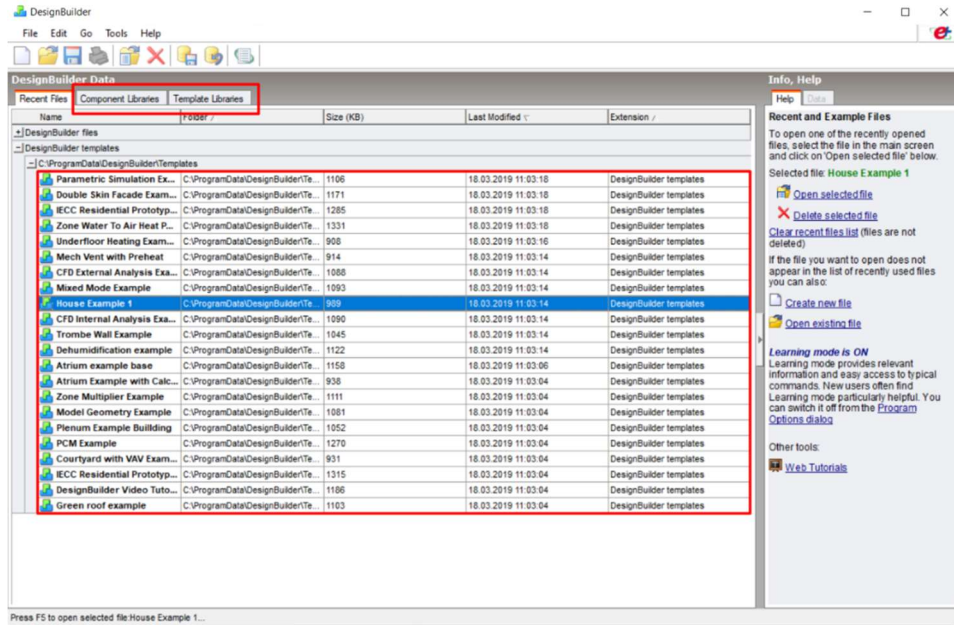
- Bina enerji tüketimini farklı tasarım seçeneklerinin etkisiyle hesaplamak.
- Aşırı ısınma ve görsel görünüm için cephe seçeneklerini değerlendirmek.
- Doğal havalandırmalı binaların termal simülasyonunu gerçekleştirmek.
- Doğal gün ışığı kullanımının elektrik aydınlatma tasarruflarına etkisini raporlamak.
- Gün ışığı performansını Radiance simülasyonlarıyla tahmin etmek.
- Arazi düzenlemeleri ve güneş gölgelenmesini görselleştirmek.
- Isıtma ve soğutma ekipmanı boyutlarını hesaplamak.
- HVAC ve doğal havalandırma sistemlerinin tasarımında hava dağıtımının etkisini CFD kullanarak ayrıntılı bir şekilde simüle etmek.
- ASHRAE 90.1 ve LEED enerji modelleri oluşturmak.
- İnşaat maliyetleri, enerji maliyetleri ve yaşam döngüsü maliyetleri üzerine ekonomik analizler yapmak.
- Çoklu amaçlar, kısıtlamalar ve tasarım değişkenleriyle tasarım optimizasyonu yapmak.
- Yaşam döngüsü analizi (LCA) yapmak. (URL-22, 2023).

Bu bölümde DesignBuilder programının arayüzü tanıtılacaktır. DesignBuilder programı ile yeni bir dosya açıldığında Şekil 26'da görüldüğü gibi bir iklim bilgisinin girilmesi gerekmektedir. ASHRAE tarafından temin edilen bu iklim verilerinde ASHRAE iklim zonu, WMO (Dünya Meteoroloji Örgütü) istasyon numarası, Köppen iklim sınıflandırması, koordinat ve deniz seviyesinden yükseklik bilgileri yer almaktadır. Türkiye için hemen hemen bütün şehirlerin bilgileri yer alırken Ankara gibi büyük şehirlerin Esenboğa, Etimesgut, Keçiören gibi birden fazla istasyon noktası bulunmaktadır.



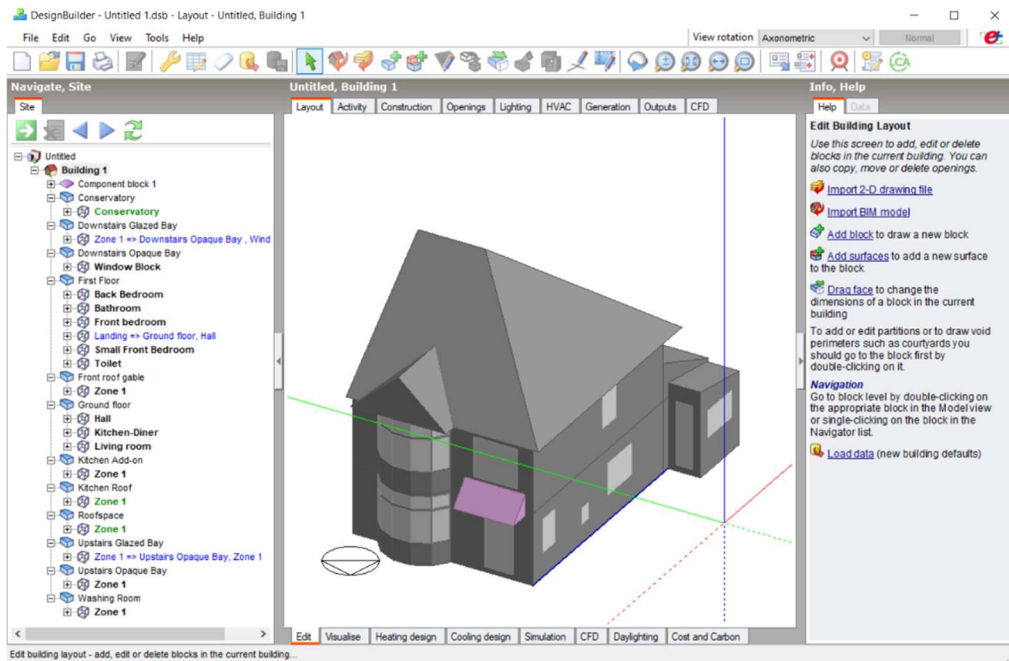
Şekil 26. DesignBuilder programı konum seçme ekranı

Programda aynı zamanda hazır kullanılabilecek proje şablonları yer almaktadır. Üst menüden ise bileşen ve şablon kütüphanesine erişilebilmektedir (Şekil 27).



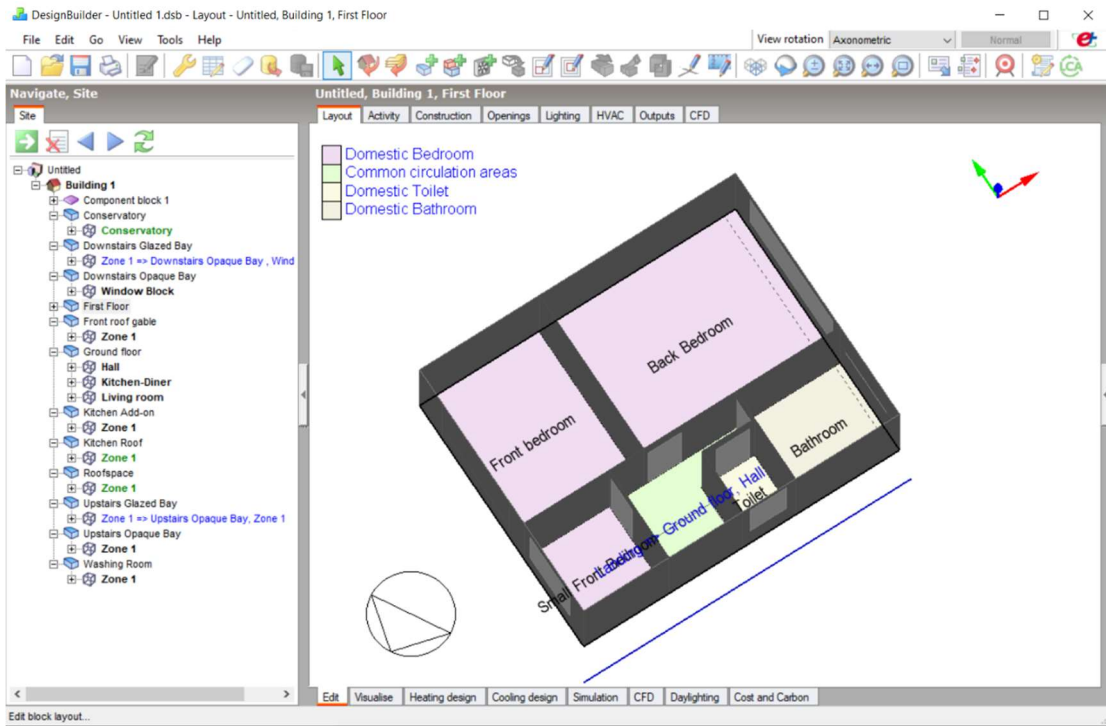
Şekil 27. DesignBuilder programı bileşen ve şablon kütüphaneleri

Program arayüzü genel hatlarıyla üst menüde tasarım araçları, sol menüde navigasyon paneli, sağ menüde yardım bölümü ve altta ise düzenleme menülerinden oluşmaktadır. Ortadaki bölümden ise yapıya dair girdiler oluşturulmaktadır. ‘Layout’ bölümünden ilk olarak yapının geometrisi oluşturulmaya başlanmaktadır (Şekil 28).



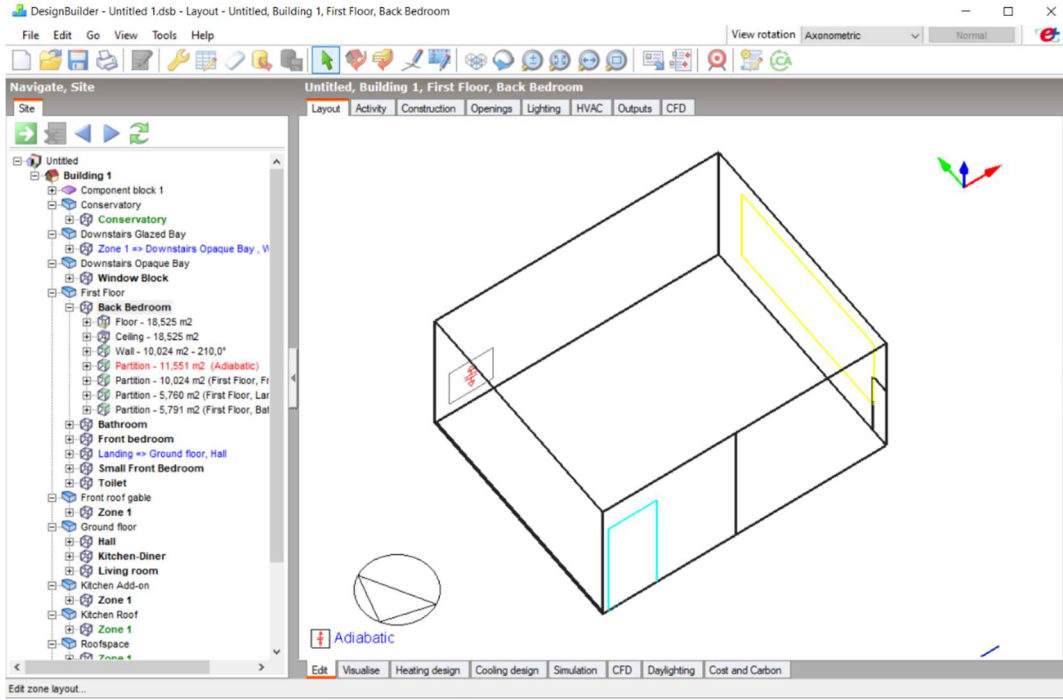
Şekil 28. DesignBuilder programı bina geometrisi oluşturma ekranı

Programda yapının geometrisini oluştururken bütünden parçaya doğru sırasıyla bina, blok, zon, yüzey, açıklık şeklinde bir hiyerarşi izlenmektedir. Yapıya dair girdiler hiyerarşinin üst kademelerinden oluşturulmaya başlanır. Şekil 29’da binaya ait bir blokun görünümü yer almaktadır.



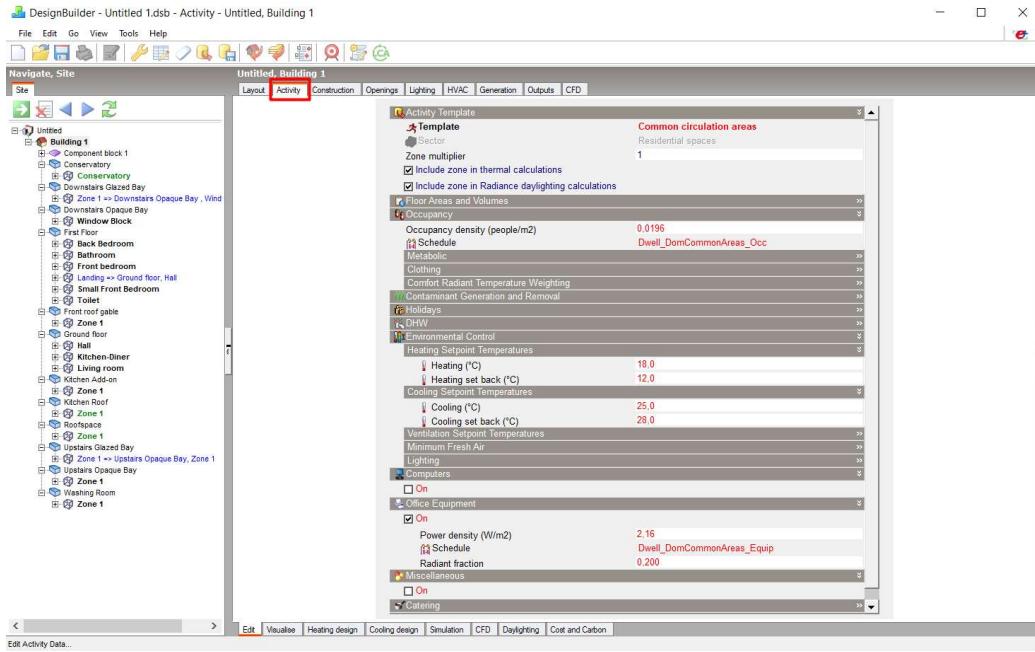
Şekil 29. DesignBuilder programı blok görünümü

Şekil 30’da ise bu bloktaki bir zonun görünümü yer almaktadır. Bir apartman binası için her bir daireyi bir blok, her bir mahali de bir zon olarak ele almak mümkündür.



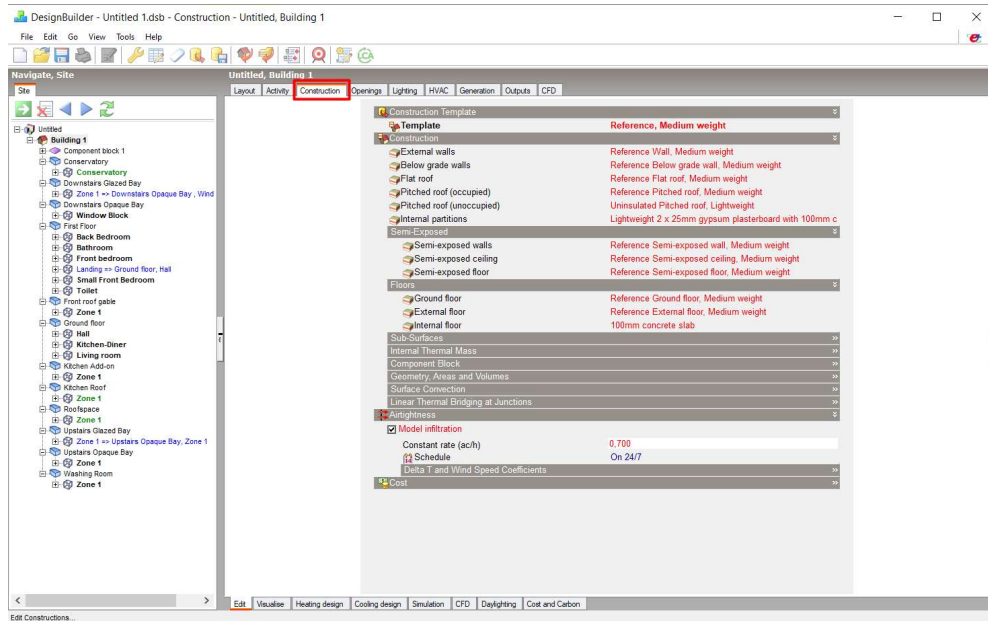
Şekil 30. DesignBuilder programı zon görünümü

Bir yapının enerji modelini oluştururken dikkate alınması gereken bir parametre de yapının kullanıcılarının yapmayı kullanma biçimi ve sıklığıdır. Şekil 31’de görüldüğü gibi ‘Activity’ bölümünden bu ayarlamalar yapılabilmektedir. Örneğin bir konut binası için kullanım sıklığı 24/7, kullanıcı sayısı kısıtlı ve kullanılan ekipmanlar ev eşyalarından ibarettir. Ancak bir okul binası için kullanım sıklığı 12/5, kullanıcı sayısı daha fazla ve okul için daha farklı ekipmanlar kullanılmaktadır. Bu parametreler yapının kullandığı enerji miktarını etkilemektedir.



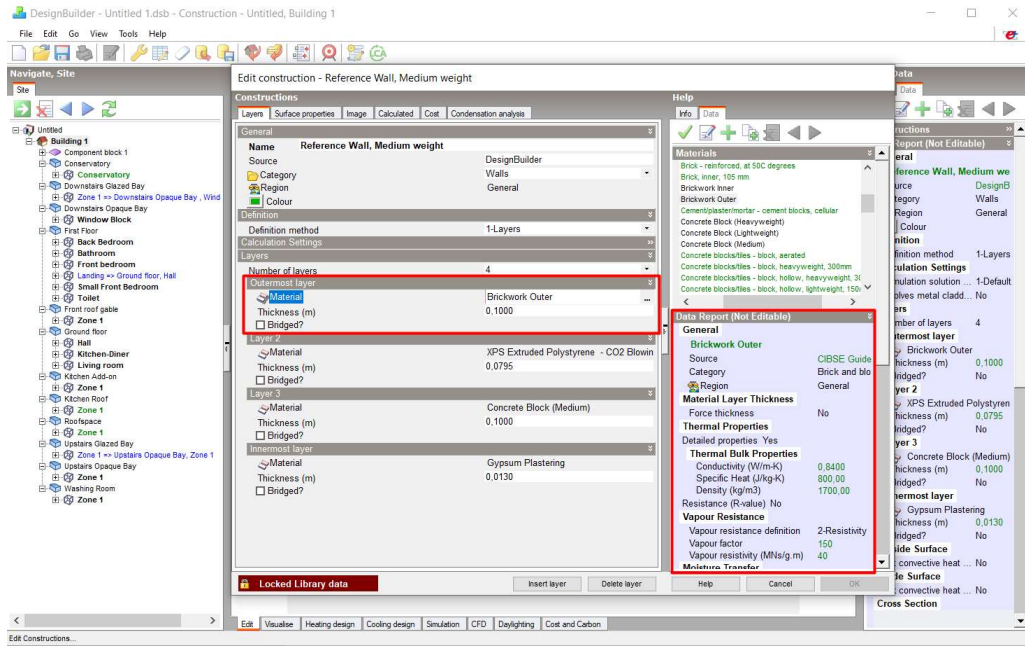
Şekil 31. DesignBuilder programı Activity sekmesi

‘Construction’ bölümünden yapı kabuğuna ait girdiler oluşturulmaktadır (Şekil 32). Bu bölümde dış duvarlar, toprak altı duvarlar, çatılar, iç bölücü duvarlar, zemine oturan döşemeler, iç ve dış döşemeler, ısıtılmayan bölgelere ait döşeme-duvar-tavan gibi birçok başlık altında yapı kabuğu malzeme bilgileri katmanlı bir şekilde oluşturulabilmektedir.



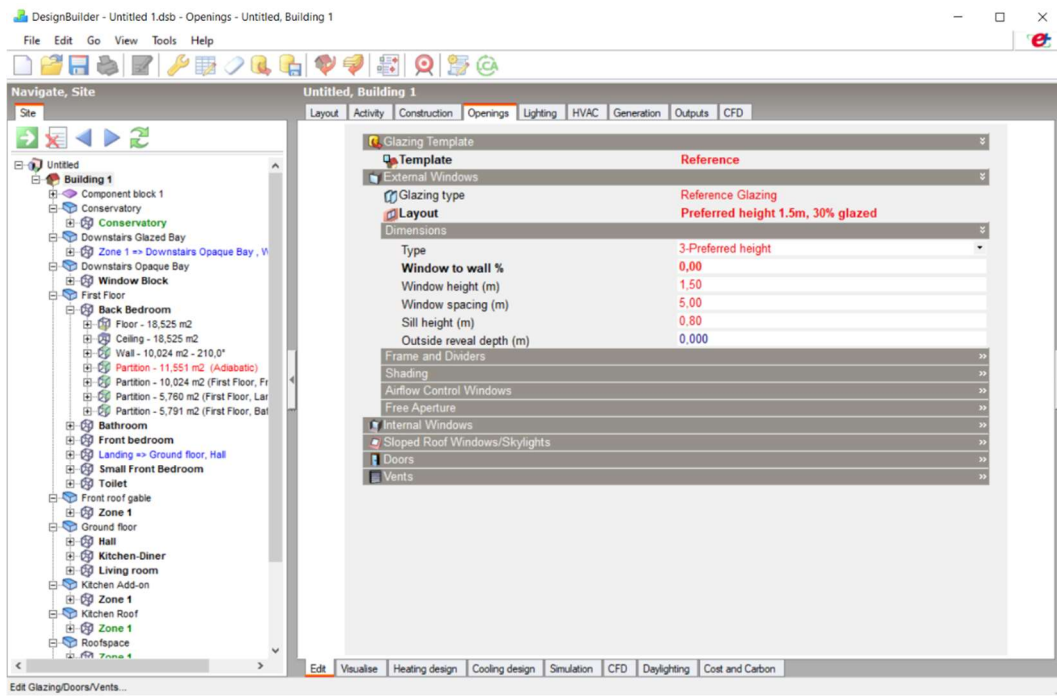
Şekil 32. DesignBuilder programı Construction sekmesi

Bir yapı kabuğu oluşturulurken kabuğun kaç katmandan oluşacağı ve bu katmanların malzemeleri Şekil 33'teki ekrandan ayarlanmaktadır. Bu malzemelerin termal bilgileri de görüntülenip ihtiyaç duyulması halinde düzenlenebilmektedir. Malzemelerin W/m-K değerleri yapı kabuğunun ısı geçirgenliğini belirlediği için yapının enerji tüketimini de doğrudan etkilemektedir.



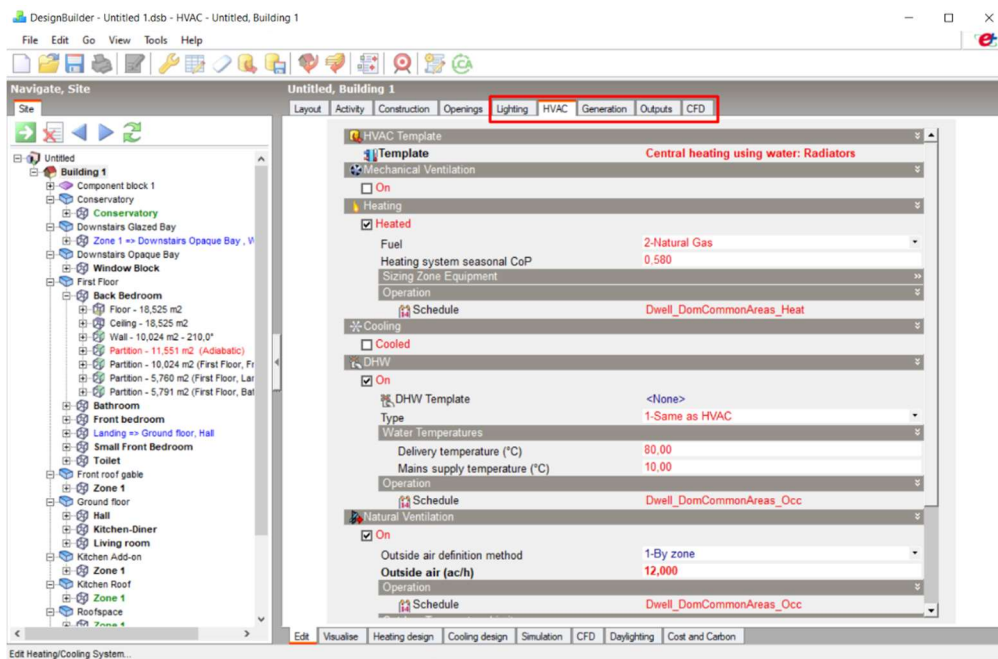
Şekil 33. DesignBuilder programı katman belirleme ekranı

Programın üst menüdeki 'Openings' bölümünden yapının pencere, kapı, menfez gibi açıklıkları modellenip malzeme düzenlemeleri yapılabilmektedir (Şekil 34). Aynı zamanda yeni tasarlanan bir yapının erken tasarım aşamasında, belirlenen pencere-duvar oranına göre pencerelerin otomatik olarak modellenmesi de bu ekrandan mümkündür.



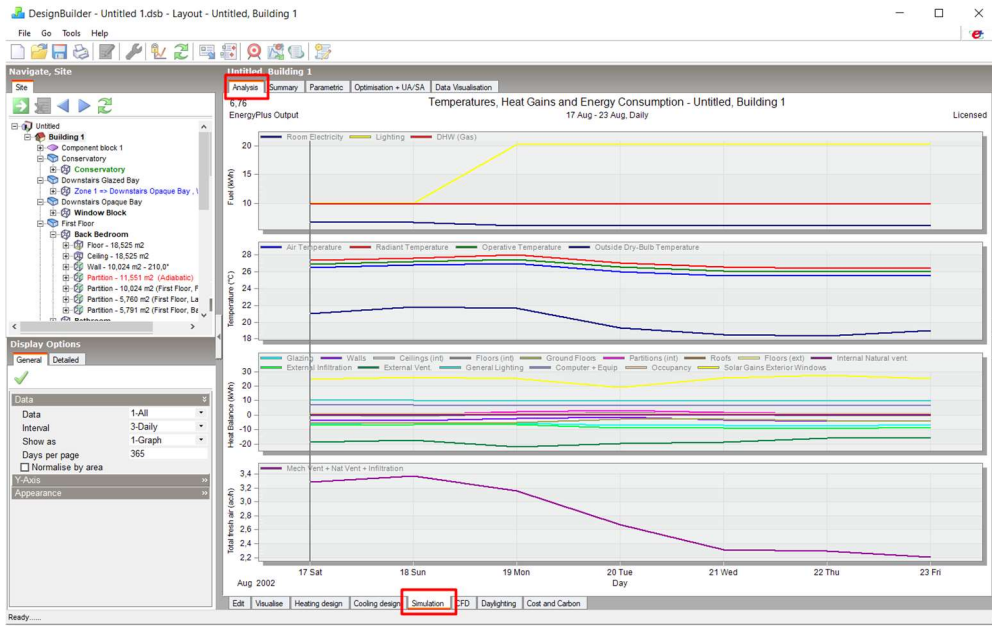
Şekil 34. DesignBuilder programı Openings sekmesi

‘Lighting’ bölümünden binanın aydınlatma ayarları, ‘HVAC’ bölümünden binaya ait mekanik proje girdileri, ‘Generation’ bölümünden binaya ait elektrik santrali düzenlenebilmektedir (Şekil 35).

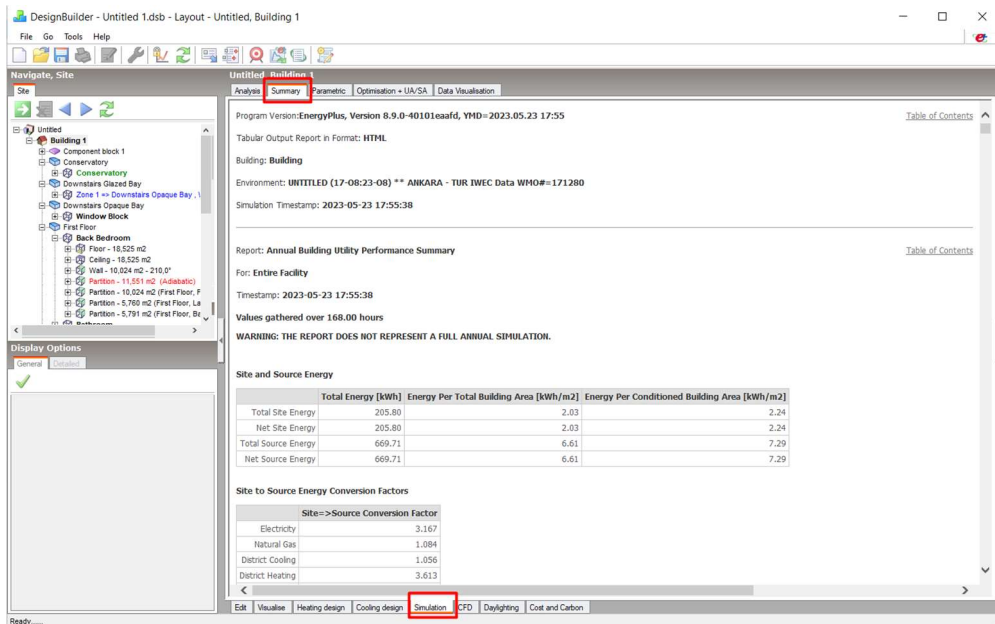


Şekil 35. DesignBuilder programı mekanik-elektrik sistemler sekmeleri

Binanın enerji modellenmesi tamamlandıktan sonra ise alt menüdeki ‘Simulation’ bölümünden enerji analizi yapılmaktadır. ‘Analysis’ bölümü grafiksel olarak analiz sonuçlarını gösterirken (Şekil 36), ‘Summary’ bölümünde ise enerji analiz sonuçları detaylı bir doküman olarak elde edilmektedir (Şekil 37).

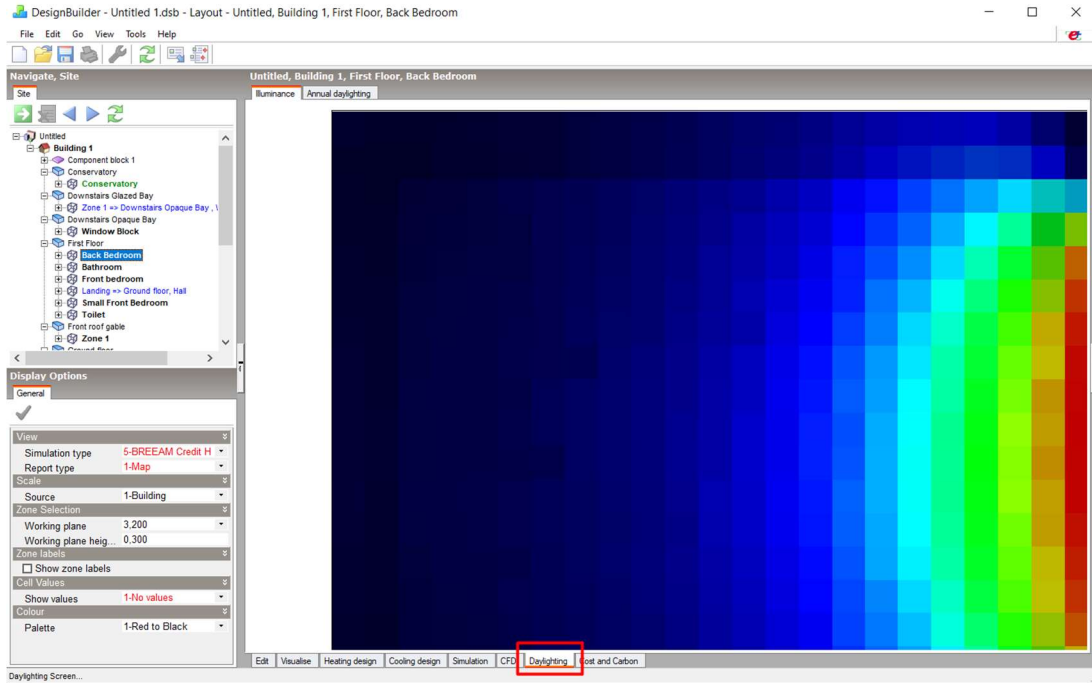


Şekil 36. DesignBuilder programı simülasyon analiz sekmesi



Şekil 37. DesignBuilder programı simülasyon özeti sekmesi

Herhangi bir blok ya da zona ait gün ışığı analizi ise alt menüdeki ‘Daylighting’ bölümünden elde edilmektedir (Şekil 38).



Şekil 38. DesignBuilder programı günışığı analizi sekmesi

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Tez çalışmasının bu bölümünde literatürdeki kaynak ve kavram araştırmasından oluşturulan kavramsal altyapı üzerine tez çalışmasının yöntemi belirlenmiştir. İlk olarak çalışma alanı hakkında genel bilgiler ve seçilen binanın özellikleri aktarıldıktan sonra BEM yaklaşımı benimsenerek seçilen binanın enerji modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan enerji modeli üzerinden yapılan güncel durum analiz çalışmasına göre enerji etkin iyileştirme senaryoları oluşturulmuştur. Bunlar yapının opak yüzeylerinin ısı performansının iyileştirildiği Senaryo 1 (S1), şeffaf yüzeylerinin ısı performansının iyileştirildiği Senaryo 2 (S2), teras çatıya fotovoltaik panellerin yerleştirilerek alternatif elektrik enerjisinin üretildiği Senaryo 3 (S3) ve bütün senaryoların uygulandığı son senaryo olan Senaryo 4 (S4)'tür. Senaryolarda yıl içinde değişen enerji tüketimlerinin tutarlı bir şekilde takip edilmesi için aylık periyotlarla enerji analizleri yapılmıştır. İklimlendirme için gerekli enerji tüketimleri ısıtma, soğutma ve aydınlatma olmak üzere üç grupta incelenmiştir. Tez çalışmasının son adımında senaryoların enerji analiz bulguları karşılaştırılarak elde edilen enerji verimliliğine ait sonuç değerlendirmesi neticesinde çeşitli önerilerde bulunulmuştur.

3.1. Çalışma Alanı Hakkında Genel Bilgiler

Ankara, Türkiye Cumhuriyeti'nin genç başkenti olarak ilan edildikten sonra idari organların teşkilatlanması ve sanayinin gelişmesi nedeniyle hızla nüfus artışı yaşamıştır. Özellikle 1927-1935 ve 1950-1955 yılları arasında iç göçlerle birlikte küçük bir kasabadan modern bir başkente dönüşmüştür. Ankara, yaklaşık 26.897 km²'lik bir alana sahip ve 39.57 K enlemi ile 32.53 D boylamları arasında konumlanmaktadır. Şehrin deniz seviyesinden yüksekliği yaklaşık 890 metre olup, doğusunda Kırşehir ve Kırıkkale, batısında Eskişehir, kuzeyinde Çankırı, kuzeybatısında Bolu, güneyinde ise Konya ve Aksaray illeri ile çevrilidir (URL-23, 2023). İlin geniş arazisinde, Kuzey ve Güney kesimlerinde farklı iklim özellikleri görülmektedir. Kuzeyde Karadeniz ikliminin ılıman ve yağışlı halleri, Güneyde ise İç Anadolu Bölgesine özgü iklim karakteri hakimdir (URL-24, 2023).

Ankara iline ait 1927-2022 yılları arasındaki ölçülen verilere göre yıllık ortalama sıcaklık 12,0 °C'dir. Ortalama en yüksek sıcaklık 17,9 °C iken ortalama en düşük sıcaklık ise 6,3 °C'dir. Yıllık ortalama güneşlenme süresi en fazla temmuz ayında olmak üzere 11,0 saat iken en düşük ise 2,5 saat ile aralık ayında yaşanmaktadır. Yıllık ortalama yağışlı

gün sayısı 103.3'tür. Ankara iline ait sıcaklık ve yağışla ilgili iklimsel veriler Şekil 39'da gösterilmiştir (URL-25, 2023).

ANKARA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1927 - 2022)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	0.2	1.7	5.7	11.3	16.1	20.0	23.4	23.5	18.9	13.2	7.3	2.6	12.0
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	4.2	6.5	11.5	17.4	22.4	26.7	30.3	30.5	26.1	20.0	13.1	6.6	17.9
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-3.2	-2.3	0.7	5.4	9.7	13.0	15.9	16.0	11.9	7.1	2.5	-0.7	6.3
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.6	3.7	5.0	6.4	8.2	9.8	11.0	10.5	9.1	6.6	4.6	2.5	6.7
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12.28	11.17	10.72	11.07	12.28	8.83	3.53	2.75	4.02	6.88	8.10	11.69	103.3
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	40.3	35.2	39.3	41.7	50.9	36.1	14.2	12.7	17.8	27.3	31.2	44.4	391.1
Ölçüm Periyodu (1927 - 2022)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	18.4	21.3	27.8	31.6	34.4	37.0	41.0	40.4	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
En yüksek ve en düşük sıcaklıkların gerçekleşme tarihini görmek için fare imlecini değerlerin üstüne getiriniz.													
Günlük Toplam En Yüksek Yağış Miktarı				Günlük En Hızlı Rüzgar				En Yüksek Kar					
11.06.1997 88.9 mm				27.04.1965 34.0 m/sn				31.01.1950 33 cm					

Şekil 2. Ankara ili sıcaklık ve yağış grafiği

3.1.1. Ankara iklim değerlerinin TS 825'e göre değerlendirilmesi

TS 825, binalardaki ısıtma enerjisi ihtiyaçlarının hesaplanma kurallarını ve binalarda izin verilen en yüksek ısıtma enerjisi değerlerinin belirlenmesini amaçlayan bir standarttır. Bu standart, ülkemizdeki binaların enerji tüketimini sınırlayarak tasarrufu artırmayı ve enerji ihtiyacını hesaplamak için kullanılacak standart bir yöntem belirlemeyi amaçlamaktadır. Yeni binaların tasarımında enerji verimliliğini artırmak, mevcut binaların enerji tüketimini belirlemek, yenileme projelerinde tasarruf miktarını tahmin etmek ve bina sektöründeki enerji ihtiyacını tahmin etmek için kullanılmaktadır.

TS 825'e göre Türkiye 5 iklim bölgesine ayrılmaktadır. Şekil 40'ta Ankara ilinin de içinde bulunduğu 3. iklim bölgesindeki iller yer almaktadır. İklim bölgelerine göre aylık ortalama dış sıcaklık değerleri ise Çizelge 2'deki gibidir.

3. BÖLGE DERECE GÜN İLLERİ			
AFYON	BURDUR	KARABÜK	MALATYA
AKSARAY	ÇANKIRI	KARAMAN	NEVŞEHİR
ANKARA	ÇORUM	KIRIKKALE	NİĞDE
ARTVİN	ELAZIĞ	KIRKLARELİ	TOKAT
BİLECİK	ESKİŞEHİR	KİRŞEHİR	TUNCELİ
BİNGÖL	İĞDIR	KONYA	UŞAK
BOLU	İSPARTA	KÜTAHYA	
İli 1. Bölgede olupda kendisi 3.Bölgede olan belediyeler			
POZANTI (Adana)	KORKUTELİ (Antalya)		
İli 2. Bölgede olupda kendisi 3.Bölgede olan belediyeler			
MERZİFON (Amasya)	DURSUNBEY (Balıkesir)	ULUS (Bartın)	
İli 4. Bölgede olupda kendisi 3.Bölgede olan belediyeler			
TOSYA (Kastamonu)			

Şekil 40. TS 825'e göre Türkiye'deki 3. iklim bölgesi listesi

Çizelge 2. İklim bölgelerine göre aylık ortalama dış sıcaklık değerleri (°C)

	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge	5. Bölge
Ocak	8,4	2,9	-0,3	-5,4	-10,5
Şubat	9,0	4,4	0,1	-4,7	-9,1
Mart	11,6	7,3	4,1	0,3	-2,9
Nisan	15,8	12,8	10,1	7,9	5,3
Mayıs	21,2	18,0	14,4	12,8	10,6
Haziran	26,3	22,5	18,5	17,3	14,6
Temmuz	28,7	24,9	21,7	21,4	18,6
Ağustos	27,6	24,3	21,2	21,1	18,6
Eylül	23,5	19,9	17,2	16,5	14,1
Ekim	18,5	14,1	11,6	10,3	7,8
Kasım	13,0	8,5	5,6	3,1	0,6
Aralık	9,3	3,8	1,3	-2,8	-6,7

Malzemelerin termofiziksel özellikleri her yapının ihtiyacına göre farklılık göstermektedir. Bu özelliklerin en önemli göstergesi ise malzemelerin ısı iletkenliği katsayılarıdır. Yapıların inşası ve yenilenmesi sırasında kullanılacak malzemelerin ısı yalıtımı ve iletimi standartlarını belirlemek için U değerleri kullanılmaktadır. Bu nedenle, yapı malzemelerinin seçiminde en önemli kriter, bölgenin iklim ve coğrafik koşullarına uygun olan U değerine sahip malzemelerin tercih edilmesi gerekmektedir (Çetin, 2020). Yapılar için ısı kaybeden duvar, çatı, zemin ve pencerelerinde farklı iklim bölgelerine göre kullanılacak maksimum U değerleri Çizelge 3’te belirtilmiştir. Bu doğrultuda çalışma alanımızın bulunduğu 3. iklim bölgesinde yer alan Ankara ili için U değerleri; duvar için 0,48 W/(m².K), çatı için 0,28 W/(m².K), zemin için 0,43 W/(m².K) ve pencere için 1,80 W/(m².K)’dir (Atmaca, 2016).

Çizelge 3. 2013 Aralık’ta yayımlanan güncellemeye göre iklim bölgeleri U değerleri

TS 825 İKLİM BÖLGESİ	DUVAR [W/(m ² .K)]	ÇATI [W/(m ² .K)]	ZEMİN [W/(m ² .K)]	PENCERE [W/(m ² .K)]
1	0,66	0,43	0,66	1,80
2	0,57	0,38	0,57	1,80
3	0,48	0,28	0,43	1,80
4	0,38	0,23	0,38	1,80
5	0,36	0,21	0,36	1,80

3.1.2. Ankara’da toplu konut tipi yapıların gelişimi

Ankara'nın başkent ilan edilmesi sonrasında, birçok yeni kişinin memuriyet görevleri için şehre göçmesiyle yeni nüfusun barınma ihtiyacını karşılamak için şehrin yeni gereksinimleri planlanması gerekiyordu. Bu amaçla, Türk bir şirket tarafından

Alman sermayesi ile işletilen bir planlama çalışması başlatıldı ve C.C. Lörcher bu çalışmanın başında yer aldı. Lörcher, 1924 yılında eski şehir ve yeni şehri kapsayan iki farklı plan hazırladı. Ancak eski şehir planı reddedilirken, yeni şehir planı Şehremaneti'nin kurduğu komisyon tarafından kabul edildi. Yeni şehir planlaması çoğunlukla kale ile tren istasyonu arasındaki bölgeyi kapsarken ve yaklaşık 200.000 kişilik bir kent planlanmıştır (Tankut, 1988).

Yükselen nüfus, Ankara'nın eski kentinde barınma ihtiyacını karşılamayı zorlaştırmıştır. Bu nedenle, C.C. Lörcher'in planına göre, mevcut kent dokusu ile Çankaya arasındaki bölge seçilmiş ve bu bölgede 4-5 odalı, en fazla 2 katlı, müstakil evler yapılması kararlaştırılmıştır. İlk etapta memurların kullanımına açılmak üzere bu bölgedeki yapılaşma hızla tamamlanmıştır (Bayraktar ve Erol 1993). 1927'de Ankara'nın nüfusu 74.000'e ulaştığından ve arazi fiyatlarının yüksekliği nedeniyle bireysel girişimler ile eski şehir bölgesinde çok katlı toplu konut yapıları da ortaya çıkmıştır. Bu yapılar, her katında 1-2 dairesi olan, zemin katlarda dükkânların yer aldığı 4-5 katlı apartmanlar olarak tasarlanmıştır. İçindeki daireler genellikle yüksek tavanlı ve 4-5 odalıdır (Aslanoğlu, 1980).

Ankara'da kentleşme adına bütüncül bir uygulamanın yapılamaması ve yeni şehir bölümlerinin yetersiz kalması nedeniyle, yeni bir imar planı yapılması kararı alınmıştır. Bunun için 1927 yılında uluslararası bir yarışma düzenlenmiş ve Herman Jansen'in projesi yarışmayı kazanmıştır. Ancak 1929'da dünya çapında Büyük Buhran krizi patlak verince Türkiye Cumhuriyeti de bundan olumsuz etkilenmiştir. Özellikle kırsal kesimdeki çiftçilerin krizden zarar görmesiyle şehirlere göç etmeye başlamıştır. İnsanların kendilerine barınak olarak henüz planlanmamış hazine arazilerini seçerek, köylerdeki yapı tekniklerini kullanarak ve yaşam tarzlarına uygun olarak tek katlı konutlar inşa etmeye başlamasıyla Ankara'da ilk gecekondü bölgeleri oluşmaya başlamıştır (Erdem, 2022).

Ekonomik olarak zor bir dönemden geçilirken bir yandan da konut sorununu çözüme ulaştırmak için merkezi yönetim çareyi konut kooperatifleri kurmakta bulmuştur. 1934 yılında Ankara'da kurulan ilk yapı da Bahçelievler Yapı Kooperatifi'dir. Devamında ise Küçükevler (1937), Emekli Sandığı (1940-41), Tasarruf (1941), Ankara İş Bankası Memurları (1942), Yurt Yapı (1942), Ucuzevler (1942), Zümrüt Evler Yapı (1944) gibi yapı kooperatifleri inşa edilmiştir (Erdem, 2022).

1950'de çok partili siyasi hayatın başlaması ile birlikte hükümet, sosyal sigortalar vasıtasıyla işçiler tarafından yapılacak kooperatiflere ipotek kredisi vererek destek

olmuştur (Çorbacı, 1986). 1950 sonrası Ankara konut tipolojisi çoğunlukla var olan 3-4 katlı apartmanlardan daha yüksek katlı ve yerel dokudan ayırık duran bir yapıya bürünmüştür (Balaban Varol, 2019). 1950'den 1980'e kadar olan süreçte ise halen konut niteliğinde kullanılmakta olan Milli Kütüphaneciler (1955), İşçi Sigortaları Kurumu (1955), Konservatuvar (1956), Yeşiltepe (1956), İlbank (1957), Gazeteciler Sendikası (1960), Nafia Sigortalı İşçiler (1961), Eser (1962), Mobilgaz Mensupları (1972), Dostlar (1972) gibi yapı kooperatifleri inşa edilmiştir (Balaban Varol & Cankız Elibol, 2021).

Konut kooperatifçiliği 1978 yılından sonra memur ve diğer çalışanlar arasında teşvik edilmiştir. 1981 yılında çıkarılan 2487 sayılı Toplu Konut Kanunu ile ortaya çıkan fondan kredi verilmesi bu kooperatifler hareketlendirilmiştir (Çıkın & Karacan, 1994). Türkiye'de konut kooperatiflerinin sayısı, özellikle kanunların kooperatifçiliği teşvik edici maddeler içermesiyle artmıştır. Ancak 1989'da Toplu Konut Kanunu'nun yönetmeliği değiştirilerek, fondan faydalanarak kredi verilme şartları ağırlaştırılmış ve bu durum, konut kooperatiflerinin azalmasına neden olmuştur. 1987'den sonra devletin konut yapımını kendi üstlenmesiyle kooperatiflerin fondan faydalanmasına sınırlama getirmiştir. Günümüzde de devlet, Toplu Konut İdaresi aracılığıyla konut üretimini arttırmaktadır (Bilgin & Tanıyıcı, 2008).

3.1.3. Örnek yapının seçilmesi (Yeşiltepe Yapı Kooperatifi)

Çalışma kapsamında tanımlanan probleme uygun bir yapı seçebilmek için belirli sınırlılıklar belirlenmiştir. Ankara ilinde, eski yapı teknolojilerine göre inşa edilmiş, halen konut olarak kullanılmakta olan ve enerji tüketiminin normalden fazla olduğu yapılar araştırılmıştır. Seçilecek olan yapının niteliklerini temsil eden, konut kapasitesi düşünüldüğünde etki alanı büyük ve literatürde erişiminin mümkün olması nedeniyle Ankara ilinde inşa edilmiş kooperatif konut yapıları ele alınmıştır. 1950 öncesi inşa edilmiş olanların günümüzde yoğun kullanılmıyor olması nedeniyle 1950'den itibaren inşa edilmiş kooperatif konut yapıları incelenmiştir. 1980'e kadar olan süreçte inşa edilen yapılarda enerji performansının düşük olması nedeniyle de zaman aralığı olarak 1950-1980 yılları arası olarak belirlenmiştir. Bu zaman aralığında inşa edilmiş yapılara bakıldığında ise;

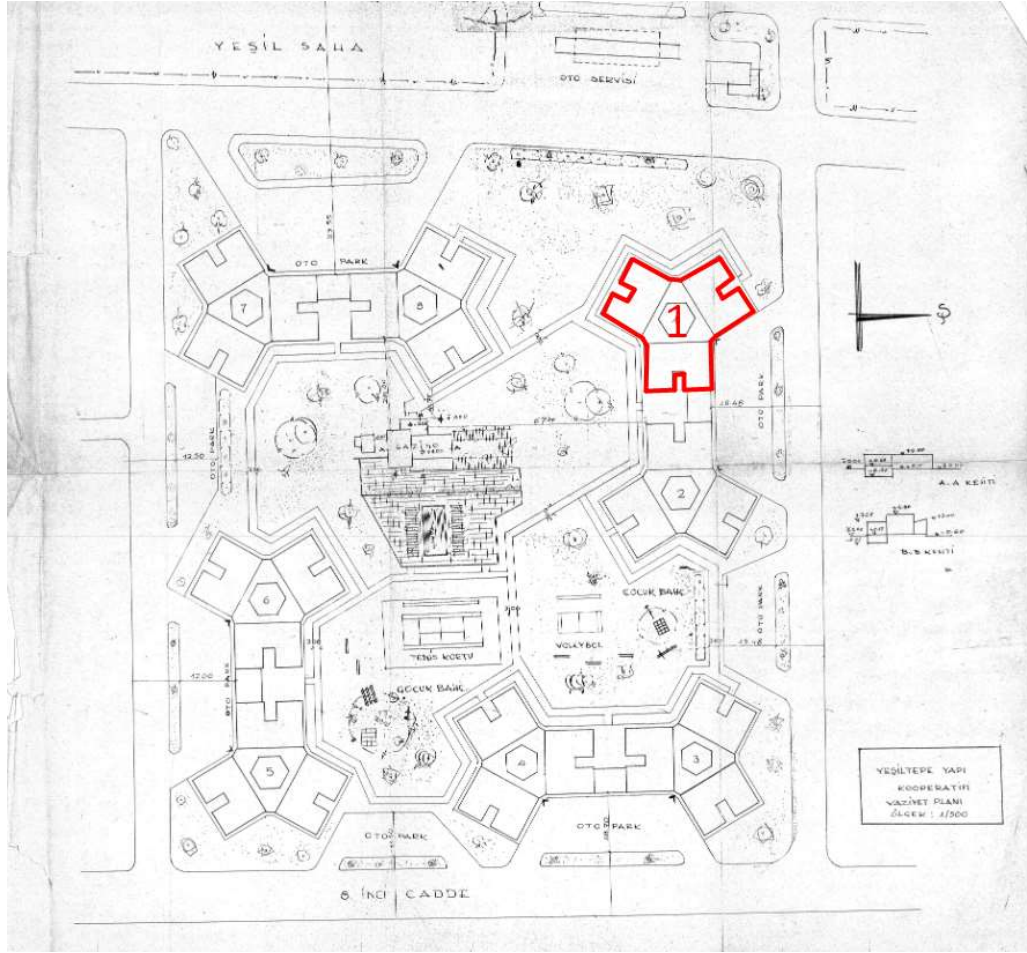
- Tanımlanan probleme uygun olması,
- Kullanıcı yoğunluğunun fazla olması,
- Sivil mimarideki mimari değerinden dolayı varlığını devam ettirecek olması,

- Bünyesindeki dairelerin rayiç bedelinin yüksek olması,
- Merkezi konumda olması ile Ankara ilinin genel iklimsel özelliklerini yansıtmaması,
- Yapı formunda doluluk-boşlukların enerji analizine etkilerinin görülebilecek olması gibi nedenler ile Yeşiltepe Yapı Kooperatifi çalışma alanı olarak belirlenmiştir (Şekil 41).



Şekil 41. Ankara Yeşiltepe Konutları (Gain – Ankara Apartmanları Belgeseli)

Yeşiltepe Yapı Kooperatifi, Mimar Rahmi Bediz ve Mimar Demirtaş Kamçıl tarafından 1956 yılında tasarlanmıştır. Altı bloktan oluşan bu yapı kooperatifi, Mevlâna Bulvarı ve Emek 8. Cadde arasında geniş bir alanda yer almaktadır. Tasarımda, sekiz blok (diğer iki blok Yıldız Tepe Yapı Kooperatifi'ne ait) ikişerli gruplar halinde yer alırken, blokların etrafında geniş yeşil alanlar bırakılmış ve ortak kullanım alanlarına da yer verilmiştir. Blokların her biri zemin kat, dokuz normal kat ve bir teras kattan oluşmaktadır. Her blok üç kol ile altı daireye sahiptir ve her kolda iki daire bulunmaktadır. Teras kat ise ortak kullanım depo olarak kullanılmaktadır (Sivil Mimari Bellek, 2014). Enerji analizi için güneş ışığından faydalanma açısından en dezavantajlı konumda yer alması nedeniyle 1. blok (Şekil 42) örnek yapı olarak seçilmiştir.



Şekil 42. Yeşiltepe Yapı Kooperatifi vaziyet planı (Sivil Mimari Bellek, 2014).

Yapının mimarisinde göze çarpan ilk tasarım kararı, binanın içinde kollar arasındaki altıgen şeklindeki galeri boşluğudur (Şekil 43). Bu galeri boşluğunun üstünün çatı örtülü olmaması binanın sirkülasyon alanlarında doğal aydınlatmaya imkân tanımaktadır (Şekil 44). Bu durumun binanın sirkülasyon alanlarında elektrikle aydınlatma yükünün daha az olmasını sağlamaktadır. Bunun yanı sıra dairelerin dış ortam ile doğrudan temas eden yüzey alanlarının artması ise binanın özellikle ısıtma enerji yükünü artıracığı öngörülmektedir.



Şekil 43. Yeşiltepe Yapı Kooperatifi galeri boşluğu



Şekil 44. Yeşiltepe Yapı Kooperatifi galeri boşluğu

Dairelerin yaşam alanlarının bulunduğu mekanlar yapının dış yüzeyine dönüktür. Bu mekanlar giderek genişliği azalan konsol şeklindeki balkonu ortak kullanmaktadır (Şekil 45). Balkonların tasarımının yapı kabuğunda güneş ışığına karşı gölgelendirme

elemanı olarak işlev gördüğü tespit edilmiştir. Binaya ait iklimlendirilen alanların belirtildiği zemin kat ve tip kat planları Şekil 46 ve Şekil 47'deki gibidir.



Şekil 45. Yeşiltepe Yapı Kooperatifi 1. blok giriş cephesi



Şekil 46. Yeşiltepe Yapı Kooperatifi zemin kat planı

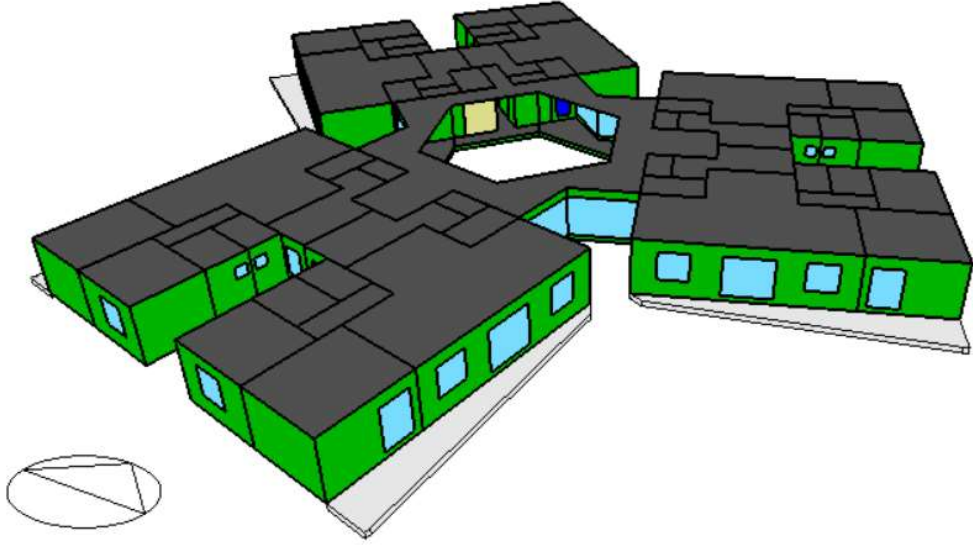


Şekil 47. Yeşiltepe Yapı Kooperatifi tip kat planı

Bu bölümde bina enerji modellemesi yaklaşımı benimsenerek ilk olarak yapı kabuğunun güncel durum enerji etkinliği analiz edilecektir. Çalışma için seçilen yapıya ait veriler toplanarak enerji analizi için hazır hale getirilmiştir. Bina enerji modellemesi için gerekli veriler grafiksel ve grafiksel olmayan olarak iki gruba ayrılmaktadır. İlk olarak grafiksel veri olan yapı geometrisi oluşturulacak, daha sonra ise grafiksel olmayan diğer veriler 3B modele tanımlanacaktır.

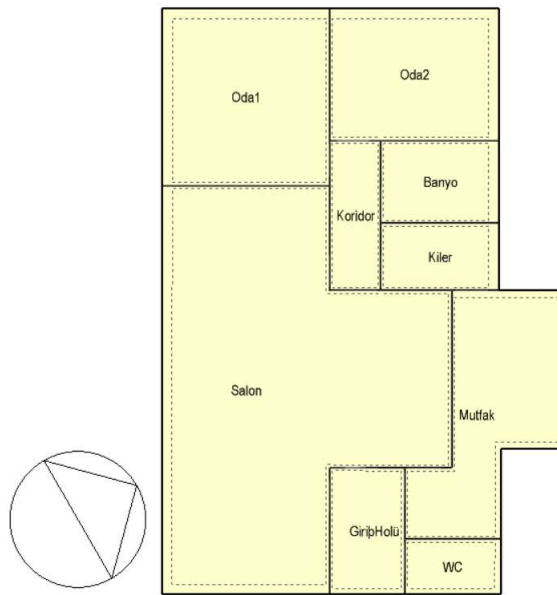
3.2. Yapı Geometrisinin 3B Modellenmesi

Programda yeni bir dosya açılarak mimari proje kat planlarına göre binanın geometrisi oluşturulmaya başlanmıştır. Bina geometrisi her bir mahal bir zon ve her bir daire bir blok olacak şekilde modellenmiştir. Sirkülasyon alanları ise her bir katta ayrı bir blok halinde orta avluya bakan yüzeyleri açık olacak şekilde modellenmiştir. Bu bloklar iklimlendirilmeyen alanlar olarak belirlenmiştir. Daireye ait balkonlar ise dış mekanda yalnızca gölgelik işlevi göreceği için ‘component block’ olarak modellenmiştir. Şekil 48’de bir tip katın geometri modellemesi görülmektedir.



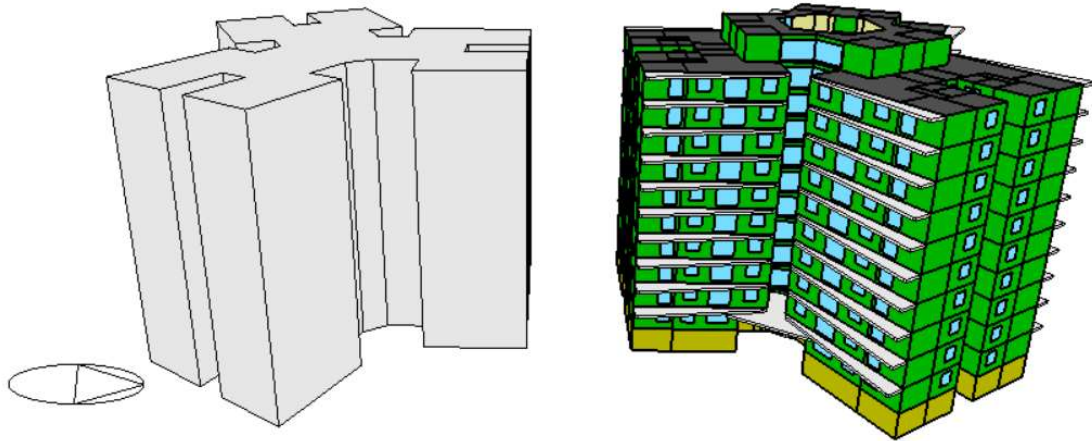
Şekil 48. DesignBuilder programı tip kat geometri modeli

Bina geometrisi modellenirken enerji tüketimini önemli ölçüde etkilemeyeceği görüldüğü için kolonlar ayrı olarak modellenmeyip dış duvarlar bütün olarak ele alınmıştır. Aynı zamanda simülasyon süresinin uzamaması için iç duvarlardaki tolere edilebilir girinti ve çıkıntılar düzleştirilmiştir. Tip bir dairenin blok halindeki modellenmiş planı Şekil 49'daki gibidir.



Şekil 49. DesignBuilder programı tip bir daire blok modeli

Bina modellenirken bodrum kat seviyesinde zemine oturan döşeme katmanları tespit edilemediği için modellenmesine rağmen bu kat analiz çalışmasının dışında tutulmuştur. Tüm katların geometrileri oluşturulduktan sonra binaya gelen güneş ışığı karşısında gölgelik işlevi görecek mesafede yer aldığı için site içerisinde yer alan 2 numaralı bina da ‘component block’ olarak modellenmiştir (Şekil 50).



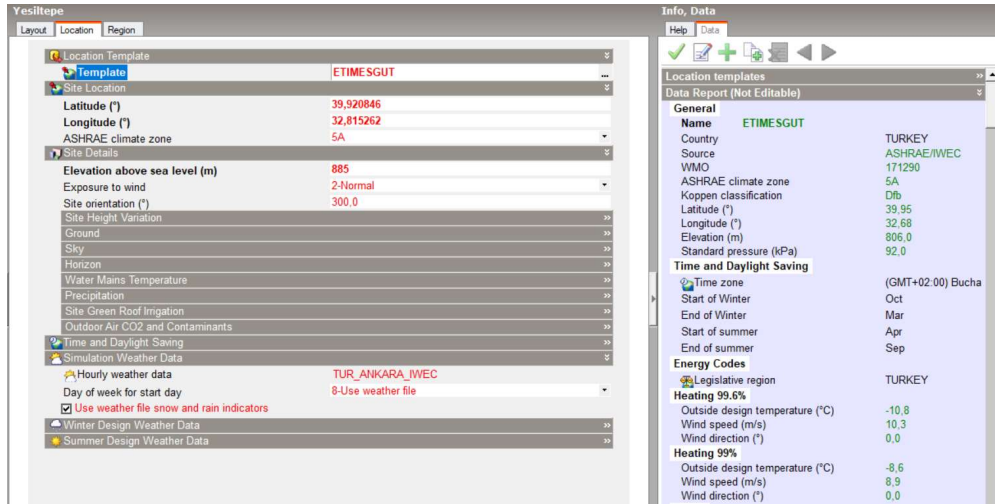
Şekil 50. DesignBuilder programı bina geometri modeli

3.3. Enerji Parametrelerinin 3B Modelde Tanımlanması

Binaya ait grafiksel olmayan verileri içeren enerji parametreleri binanın enerji tüketimini en az yapının geometrisi kadar etkilemektedir. Bina enerji modellemesini tamamlamak için bu parametrelerin 3B modelde tanımlanması gerekmektedir.

3.3.1. İklim

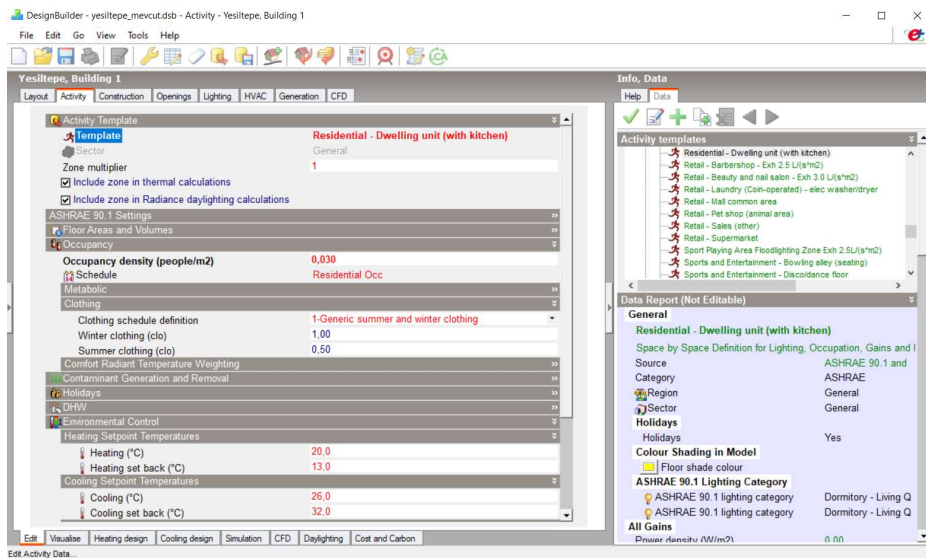
İlk olarak iklim verilerini elde etmek için DesignBuilder programının Konum (Location) sekmesinden binanın konumuna en yakın konuma ait şablon (template) olarak Etimesgut seçilmiştir. Bu şablonun seçilmesiyle ASHRAE tarafından sağlanan ASHRAE iklim zonu 5A, WMO (Dünya Meteoroloji Örgütü) istasyon numarası 171290, Köppen iklim sınıflandırması Dfb (Kıta iklimi-kuru mevsimsiz-sıcak yaz) ve yıllık sıcaklık ile yağış bilgilerini içeren iklim verileri modele tanımlanmıştır. Koordinat ve deniz seviyesinden yükseklik bilgileri için ise şablondaki bilgiler binanın konumuna göre güncellenerek 39.920846,32.815262 koordinatında ve deniz seviyesinden 885 metre yükseklikte olacak şekilde tanımlanmıştır. Arazinin binaya göre yönelişi ise vaziyet planı doğrultusunda 300° olarak şekilde düzenlenmiştir (Şekil 51).



Şekil 51. DesignBuilder programı seçilen binanın konum bilgileri

3.3.2. Aktivite

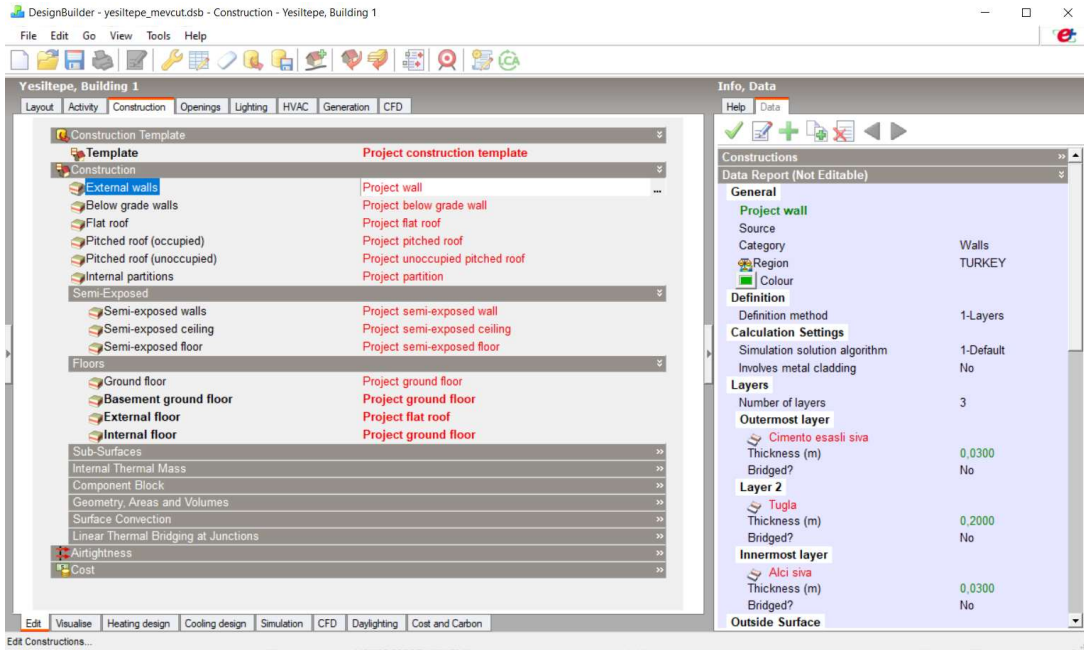
Aktivite (activity) sekmesinde şablon (template) olarak konut profili seçilmiştir (Şekil 52). Buna göre binanın kullanım sıklığı 7 gün 24 saattir. Bina gün boyunca aynı yoğunlukta kullanılmayacağı için aynı zamanda tipik bir ailenin ebeveynlerinin işte, çocuklarının ise okulda olabileceği zaman aralığı olarak ise hafta içi saat 07.00-18.00 belirlenmiştir. Bu zaman aralığında binanın ısıtma, soğutma, aydınlatma gibi kullanımlarının yoğunluğu düşecek şekilde analiz edilmektedir. Her bir dairede ortalama 4 kişinin yaşadığı varsayımına göre kişi başına yaklaşık 33 m² alan düşmektedir. İnsan/m² yoğunluğu da buna göre 0,030 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 52. DesignBuilder programı seçilen bina aktivite bilgileri

3.3.3. Yapı kabuğu malzemeleri

Yapı kabuğunu oluşturan malzemeler yapının enerji etkinliğini en fazla etkileyen parametrelerin başında gelmektedir. ‘Construction’ sekmesinden duvarlar, döşemeler ve teras çatı bilgileri projeye uygun olarak düzenlenmiştir (Şekil 53).

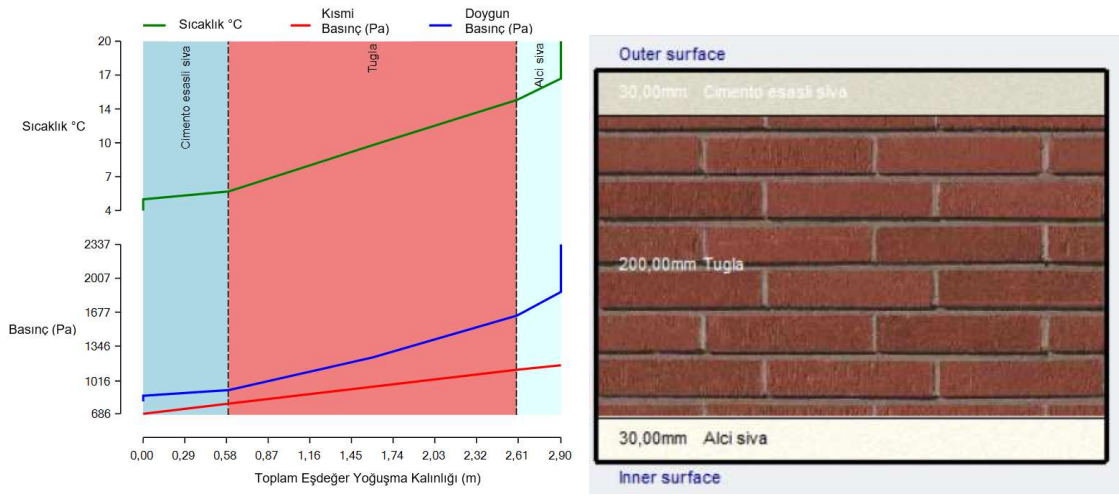


Şekil 53. DesignBuilder programı seçilen bina yapı malzemeleri bilgileri

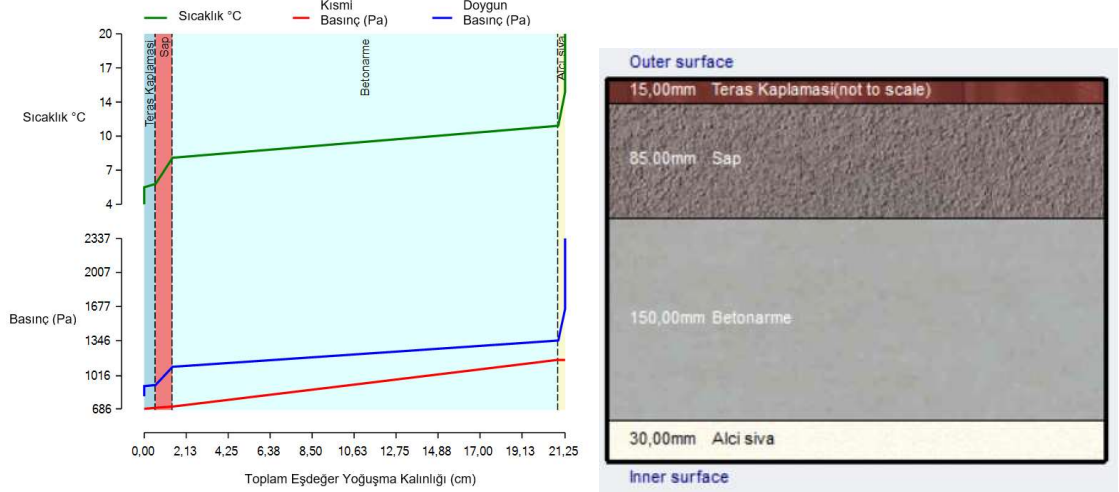
Yapı kabuğundaki mevcut opak yüzeylere ait ısı geçirenlik değerleri Çizelge 4'teki gibidir. Bu değerlere göre programda yapı kabuğu bileşenleri modellenmiştir. Isıl geçirgenlik katsayısı ihmal edilen katmanlar (su yalıtımı vb.) belirtilmemiştir. Yapı kabuğuna ait opak yüzeylerin katman kesitleri ve yoğuşma grafikleri Şekil 54 ve Şekil 55'te görülmektedir.

Çizelge 4. Seçilen binada opak yüzeylerin ısıl geçirgenlik değerleri

Opak Bileşen	Malzeme	λ (W/mK)	Kalınlık (m)	U (W/m ² K)
Dış duvar	Çimento esaslı sıva	1	0,03	1,673
	Tuğla	0,62	0,2	
	Alçı sıva	0,4	0,03	
Döşeme	Laminat parke	0,21	0,01	2,334
	Şap	1,4	0,09	
	Betonarme döşeme	2,1	0,15	
	Tavan sıvası	0,4	0,03	
Teras Çatı	Teras seramik kaplaması	2,3	0,015	2,606
	Şap	1,4	0,085	
	Betonarme döşeme	2,1	0,15	
	Tavan sıvası	0,4	0,03	

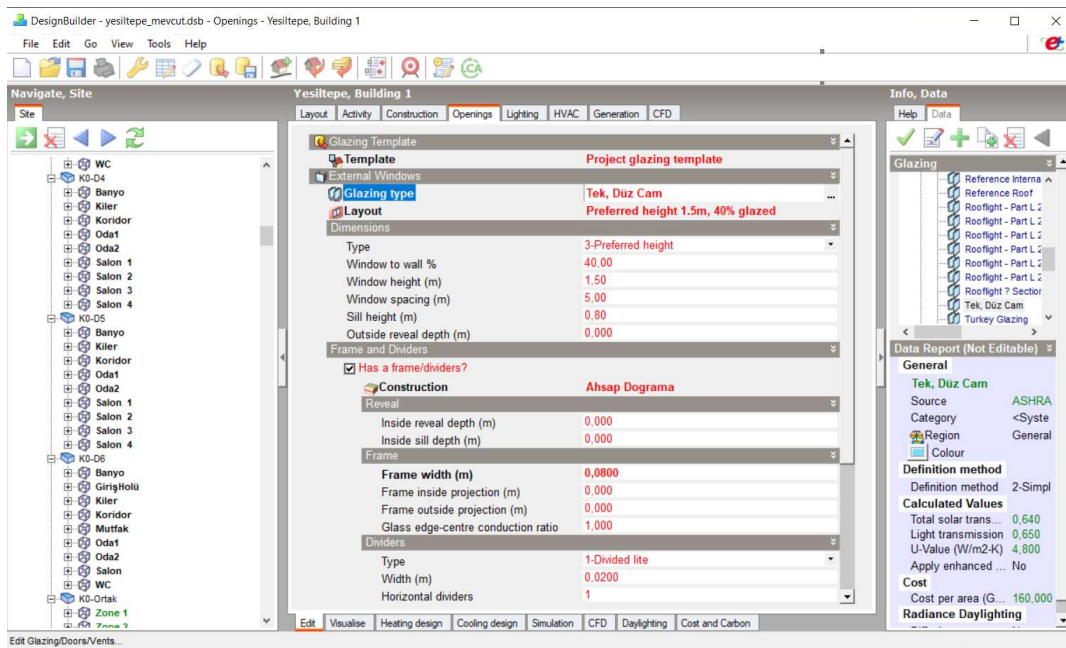


Şekil 54. Dış duvar yoğuşma grafiği ve katman kesiti



Şekil 55. Teras çatı yoğuşma grafiği ve katman kesiti

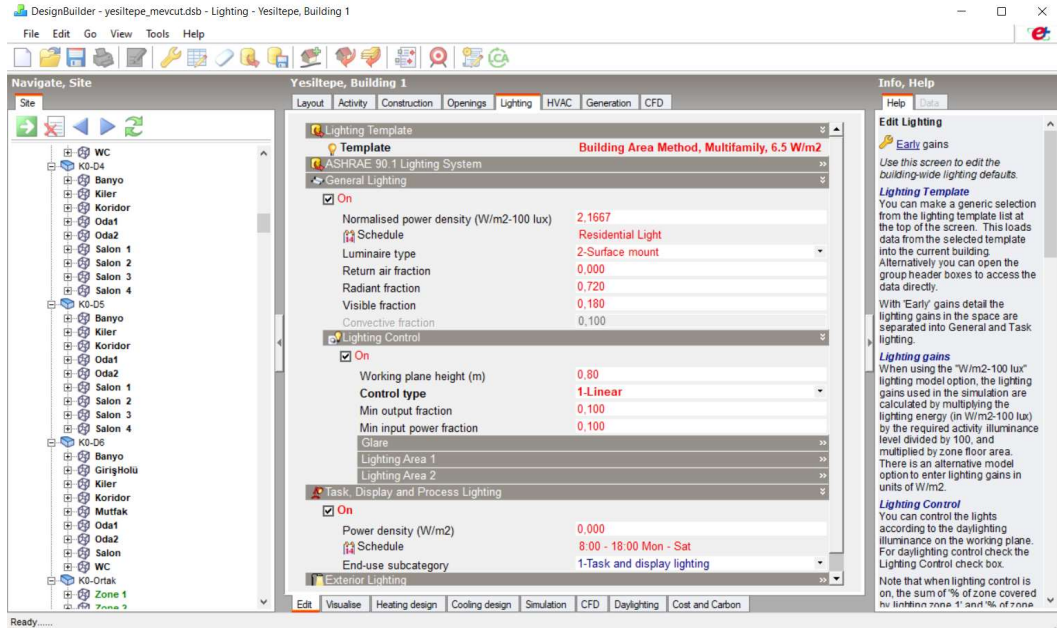
Yapı kabuğunun enerji tüketimini etkileyen bir diğer parametresi de cephede yer alan açıklıklardır. Seçilen yapı gözlemlendiğinde birçok dairenin dış ortama bakan kapı ve pencerelerini yenilediği görülmektedir. Ancak bazı dairelerde halen mevcut kapı ve pencerelerin kullanıldığı görülmüştür. Analiz çalışması yapılırken enerji tüketimi bakımından en dezavantajlı durum dikkate alınarak mevcut kapı ve pencereler üzerinden analiz yapılmıştır. Tek, düz camlı ve ahşap doğramalı pencereler için hesaplanan U değeri 4,8 W/m²K olarak hesaplanmıştır. Doğrama kesit ölçüleri projeye göre programda düzenlenmiştir (Şekil 56).



Şekil 56. DesignBuilder programı seçilen bina pencere bilgileri

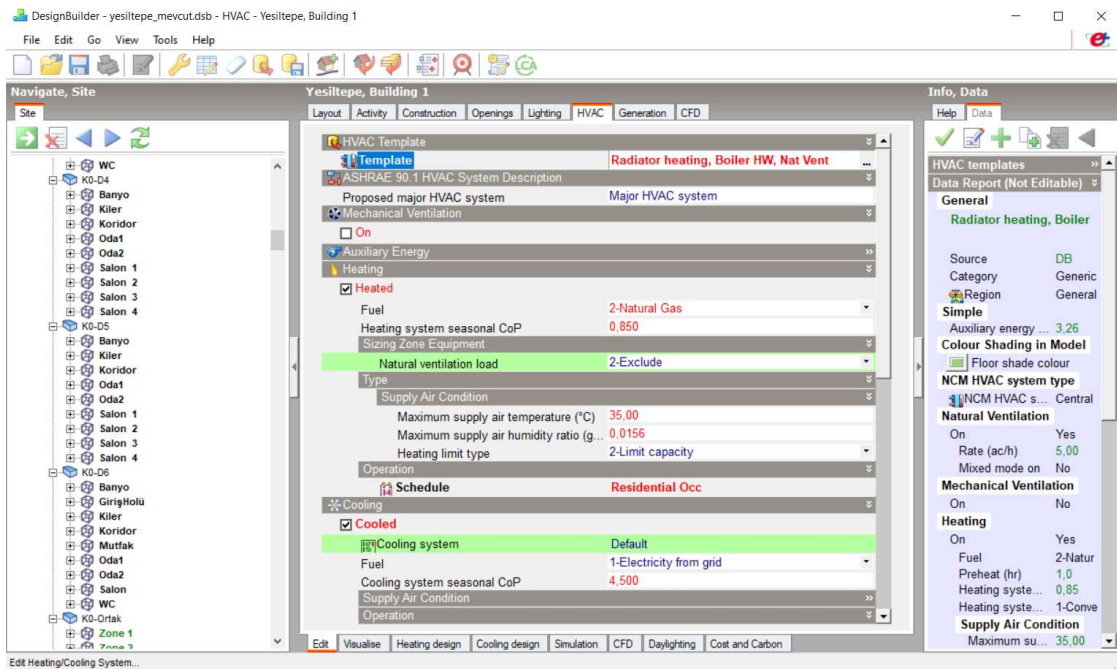
3.3.4. Mekanik ve elektrikli sistemler

Yapının aydınlatma sistemleri için 'Lighting' sekmesinden konut profiline uygun aydınlatma şablonu ve değerleri programa tanımlanmıştır. Bu şablon aynı zamanda Aktivite bölümünde aktarıldığı gibi kullanıcıların binayı aktif kullanma saatlerini de içermektedir (Şekil 57).



Şekil 57. DesignBuilder programı seçilen bina aydınlatma bilgileri

Binanın mekanik sistemi için ise merkezi ısıtma, doğal gazdan sağlanan sıcak su ve soğutma için ise elektrikli sistemlerin olduğu şablon programa tanımlanmıştır (Şekil 58). Bu şablona göre binada mekanik bir havalandırma bulunmamakta, kontrollü olarak doğal havalandırma yapılmaktadır.



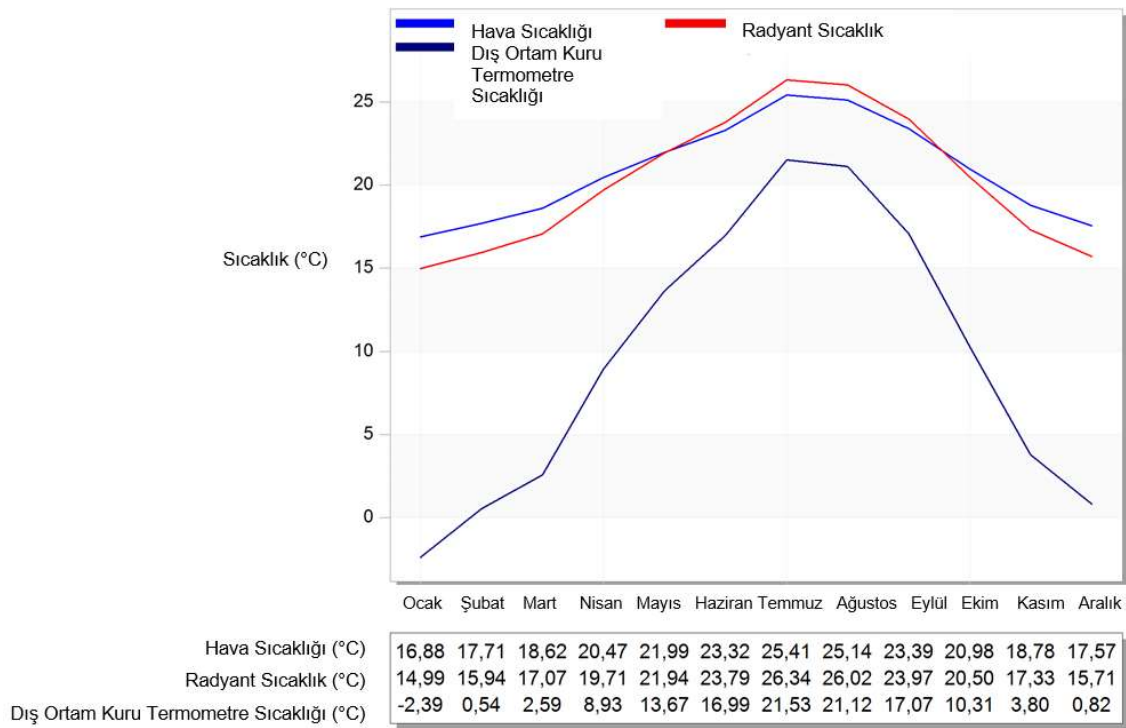
Şekil 58. DesignBuilder programı seçilen bina mekanik sistem bilgileri

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bina enerji modellemesi tamamlandıktan sonra enerji analizinin ilk aşaması olarak binadaki güncel durumun analizi yapılmıştır. Daha sonra kurgulanmış olan enerji etkin iyileştirme senaryoları için ayrı ayrı enerji analizleri yapılarak sonuçları karşılaştırılmıştır.

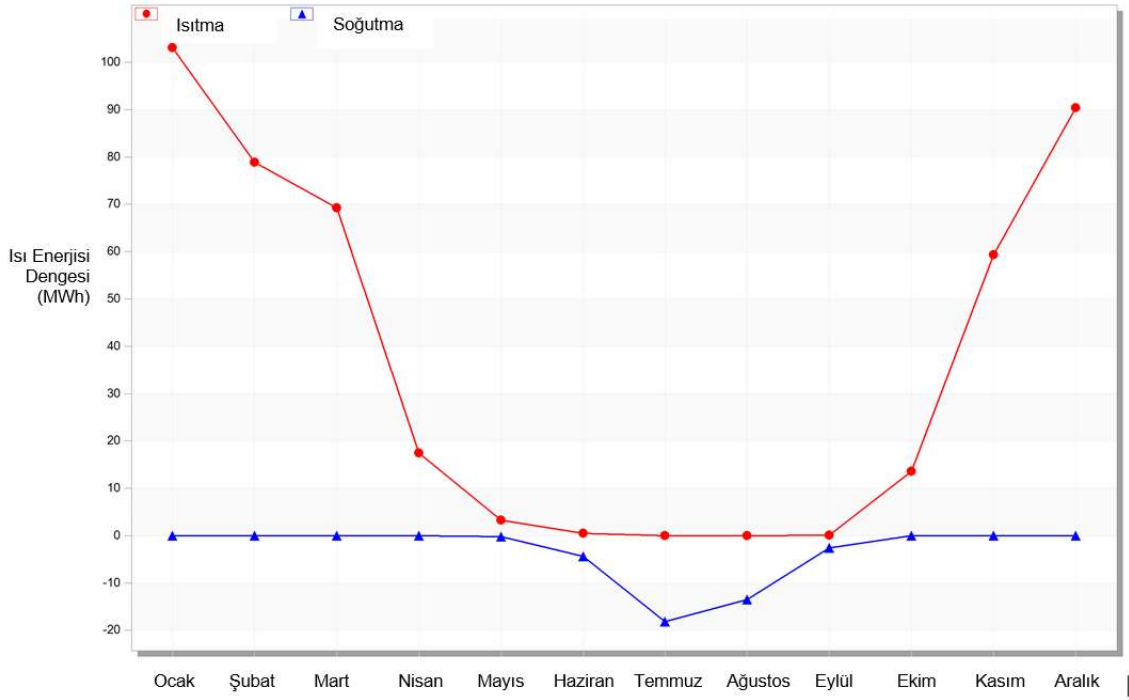
4.1. Güncel durumun enerji analizi (S0)

İlk olarak binaya ait güncel durumun enerji analizinde binayı etkileyen ısı konfor koşullarının ölçümü yapılmıştır. Binanın güncel durumundaki ısı konfor koşulları Şekil 59'daki gibidir. Buna göre binadaki sıcaklığın kış aylarında ısı konfor için gerekli olan sıcaklığın altında olduğu ve bu durumun ısıtma enerji tüketimini artırdığı görülmektedir.

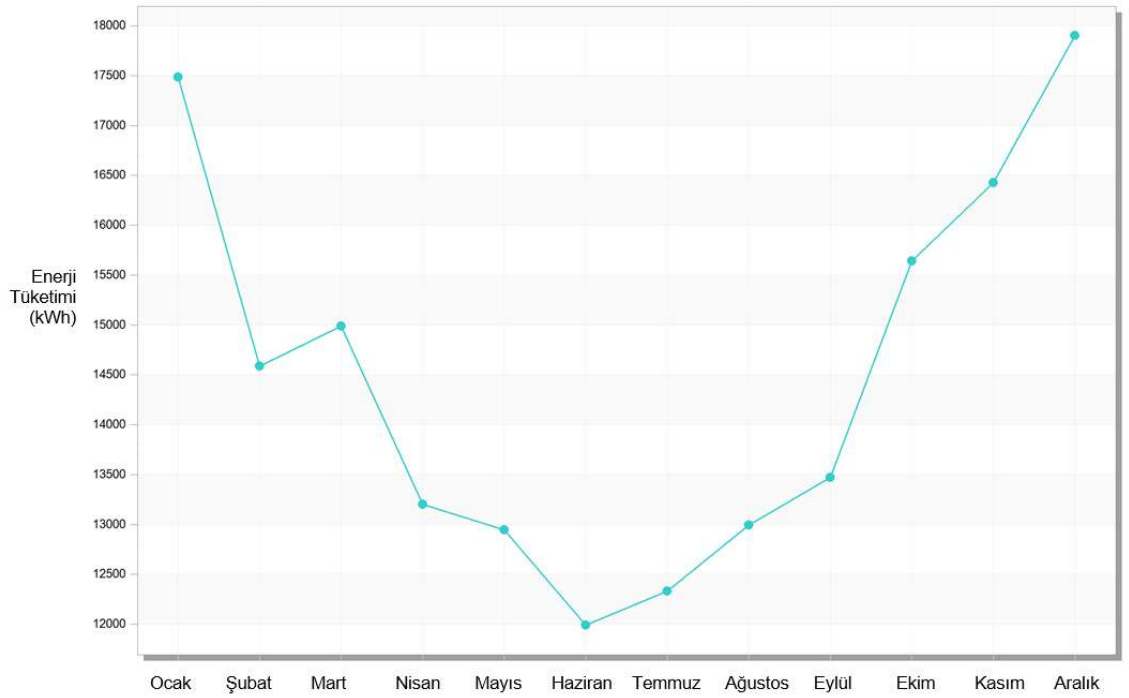


Şekil 59. S0 sıcaklık grafiği

İkinci aşamada ise binanın aylık periyotlardaki enerji tüketimleri analiz edilmiştir. Buna göre ortaya çıkan grafik Şekil 60 ve Şekil 61'deki gibidir. Çizelge 5'te grafikte yer alan enerji tüketim değerleri detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 60. S0 ısıtma ve soğutma enerji dengesi yıllık dağılım grafiği



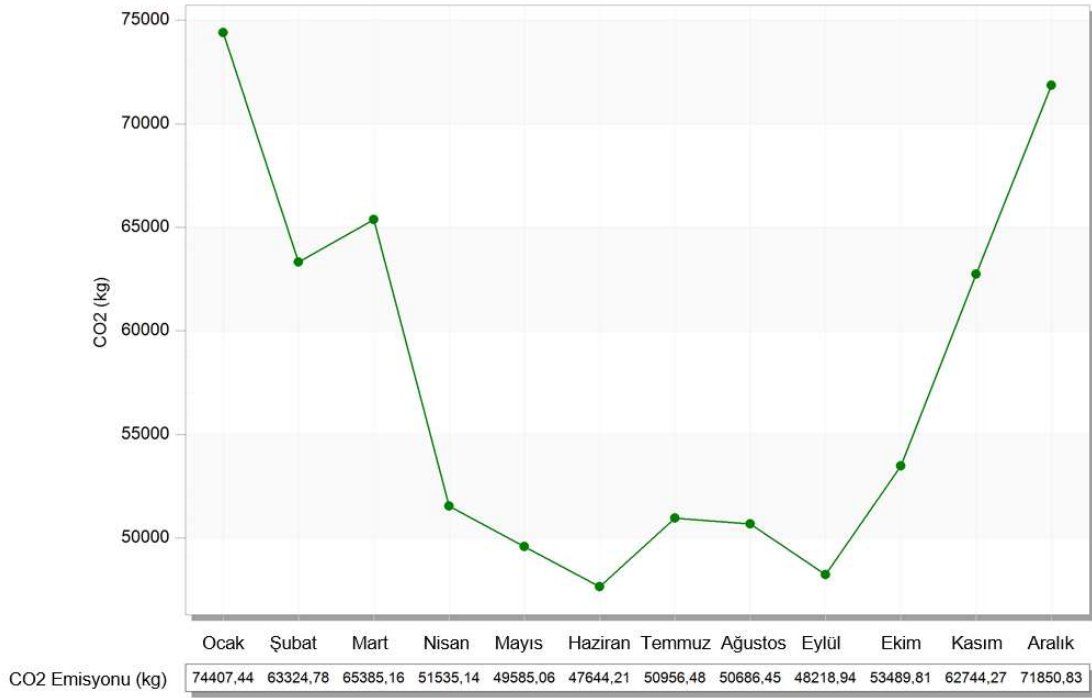
Şekil 61. S0 aydınlatma enerji yükü yıllık dağılım grafiği

Çizelge 5. S0 yıllık enerji tüketimi dağılımı (kWh)

	Isıtma	Soğutma	Aydınlatma
Ocak	103121,60	0	17486,16
Şubat	78867,89	0	14588,34
Mart	69245,70	0	13199,57
Nisan	17499,61	0	12948,22
Mayıs	3234,90	238,46	11991,64
Haziran	532,86	4353,07	12330,56
Temmuz	0	18205,64	12993,74
Ağustos	0	13478,06	13471,36
Eylül	107,88	2639,37	15639,97
Ekim	13625,83	29,45	15639,97
Kasım	59299,35	0	16426,67
Aralık	90360,39	0	17900,58
Toplam	435896,01	38944,05	174616,78

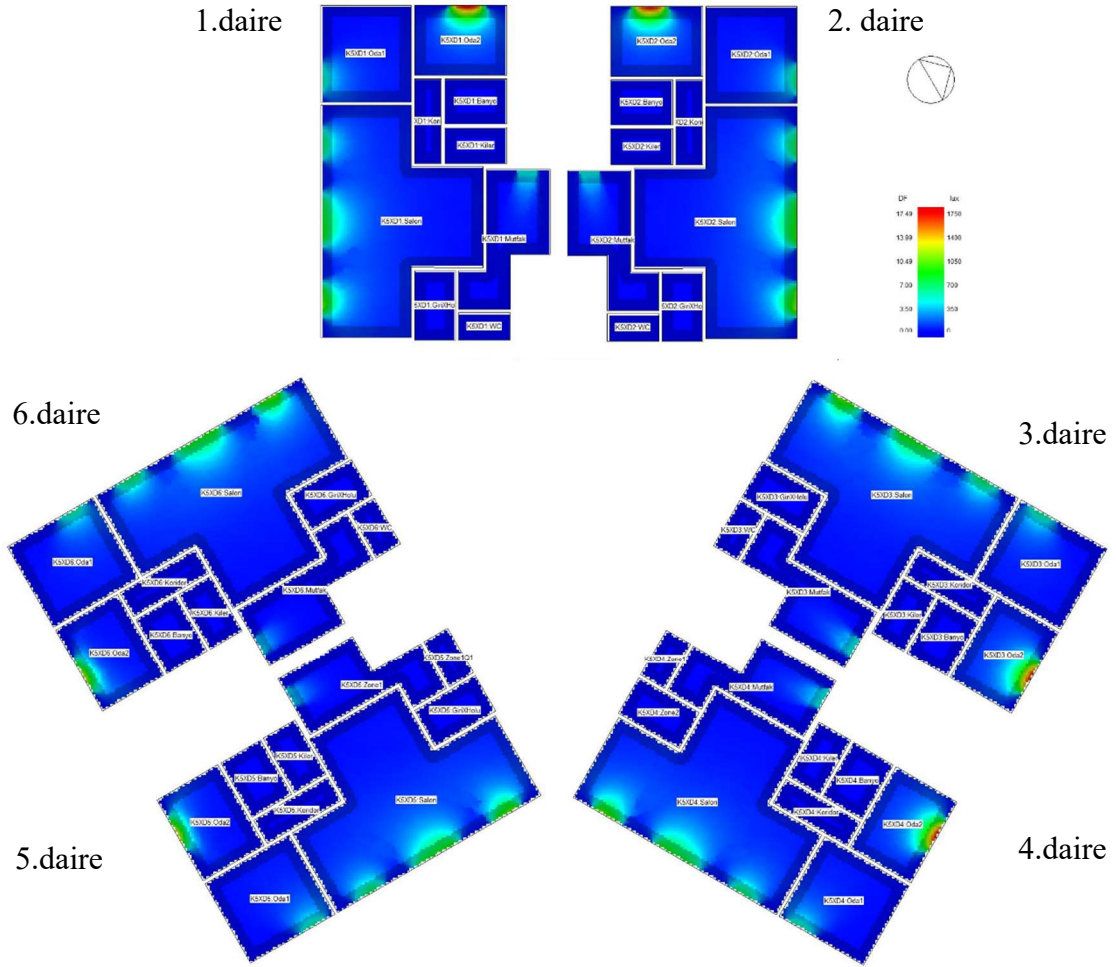
Binanın toplam iklimlendirilen alanı 6.974,95 m²'dir. Buna göre binanın bir yıllık m² başına düşen enerji ihtiyacı ısıtma için 62,49 kWh/m², soğutma için 5,58 kWh/m², aydınlatma için 25,03 kWh/m² ve toplamda ise 93,10 kWh/m²'dir. Buna göre en fazla enerji tüketiminin binanın ısınması için harcadığı görülmektedir. Hava sıcaklıklarına bağlı olarak ısıtma yükü enerjisi en yüksek 103.121,60 kWh ile ocak ayında görülmektedir. Soğutma yükü enerjisi ise en yüksek 18.205,64 kWh ile temmuz ayında harcanmaktadır. Aydınlatma için gerekli enerji ise binanın güneş ışığından faydalanma süresine göre değişmektedir. Aydınlatmaya harcanan enerji mayıs ayında 11.991,65 kWh'a kadar düşerken aralık ayında 17.900,58 kWh'a kadar yükselmektedir.

Enerji tüketim analizi yapıldıktan sonra da binada enerji tüketiminin yol açtığı CO₂ emisyon analizi yapılmıştır. Şekil 62'de görüldüğü üzere kış aylarında oluşan CO₂ emisyonu yaz aylarına göre yaklaşık %50 daha fazladır. Bunun önemli bir sebebi de binayı ısıtmak için harcanan ısıtma yükü enerjisidir. Güncel durum senaryosuna (S0) göre en düşük CO₂ emisyonu 47.644,21 kg ile haziran ayında yaşanmaktadır. En yüksek CO₂ emisyonu ise 74.407,44 kg ile ocak ayındadır. Bina'nın yıllık toplam CO₂ emisyonu ise 689.828,57 kg'dır.



Şekil 62. S0 CO₂ emisyonu yıllık dağılım grafiği

Son olarak yaz aylarında güneş ışığının binadaki kullanıcıları nasıl etkilediğini görmek için örnek olarak binanın tam orta katındaki (5. kat) tüm daireler için gün ışığı analizi yapılmıştır (Şekil 63). Analiz sonuçları incelendiğinde yapının mimarisindeki balkonların varlığı dairelerin salon ve büyük odalarının bulunduğu yaşam alanlarında aşırı güneş ışığına maruz kalınmasını önlediği görülmektedir. Küçük odalar incelendiğinde ise 1. ve 2. dairelerde pencere önlerinde kısmen aşırı güneş ışığına maruz kalınmaktadır. Bu cephe için lokal çözümler üretilerek kullanıcı konforu sağlanabilir. 3. ve 4. dairelerde yapının yönlenişi küçük odalarında aşırı güneş ışığına maruz kalınmasını önlemiştir. 5. ve 6. dairelerde ise komşu binanın (2. bina) yakın mesafede olmasının bu dairelerde aşırı güneş ışığına maruz kalınmasını önleyen faktör olduğu görülmektedir. Buna göre literatür bölümünde bahsedilen yapının yönlenişi, yapı formu ve yapı aralıkları gibi parametrelerin yapının kullanıcı konforu ve enerji performansını etkilediği tespit edilmiştir.



Şekil 63. S0 5. kat daireleri gün ışığı analizi

4.2. Opak yüzeylerde ısı performans iyileştirmeleri (S1)

Senaryo 1'e göre yapı kabuğunun ısı performansının iyileştirilmesi için referans olarak TS 825'te yer alan U değerleri referans alınmıştır. İlk olarak dış duvar değerleri TS 825'te yer alan U değeri ile kıyaslanmıştır. Güncel durumda $1,673 \text{ W/m}^2\text{K}$ iken bu değerin TS 825'e göre en fazla $0,48 \text{ W/m}^2\text{K}$ olması gerekmektedir. Buna göre yapı kabuğuna λ değeri $0,03 \text{ W/mK}$ olan XPS ısı yalıtımı uygulanarak yapı kabuğunun U değerinin düşürülecektir. XPS kalınlığına göre mevcut dış duvardaki U değeri değişimi Çizelge 6'daki gibidir. Buna göre en az 5 cm'lik XPS yalıtımı uygulanması gerekmektedir.

Çizelge 6. Eklenecek XPS yalıtımına göre mevcut duvarın U değeri

XPS Kalınlığı (cm)	U değeri (W/m ² K)
1	1,074
2	0,790
3	0,625
4	0,517
5	0,441
6	0,384
7	0,341
8	0,306
9	0,277
10	0,254

XPS yalıtımı eklenmesiyle dış duvar katmanlarının ısı geçirgenlik değerleri Çizelge 7’deki gibidir.

Çizelge 7. S1 dış duvar katmanları ısı geçirgenlik değerleri

Opak Bileşen	Malzeme	λ (W/mK)	Kalınlık (m)	U (W/m ² K)
Dış duvar	Çimento esaslı sıva	1	0,03	0,441
	XPS yalıtım	0,03	0,05	
	Tuğla	0,62	0,2	
	Alçı sıva	0,4	0,03	

Daha sonra teras çatının ısı performansının artırılması için güncel durumdaki U değeri, TS 825’e göre kıyaslanmıştır. Buna göre güncel durumda 2,606 W/m²K iken bu değer en fazla 0,28 W/m²K olması gerekmektedir. Buna göre teras çatıda da XPS yalıtımı uygulanarak yapı kabuğunun U değeri düşürülecektir. XPS kalınlığına göre mevcut teras çatıdaki U değeri değişimi Çizelge 8’deki gibidir. Buna göre en az 10 cm’lik XPS yalıtımı uygulanması gerekmektedir.

Çizelge 8. Eklenecek XPS yalıtımına göre mevcut çatının U değeri

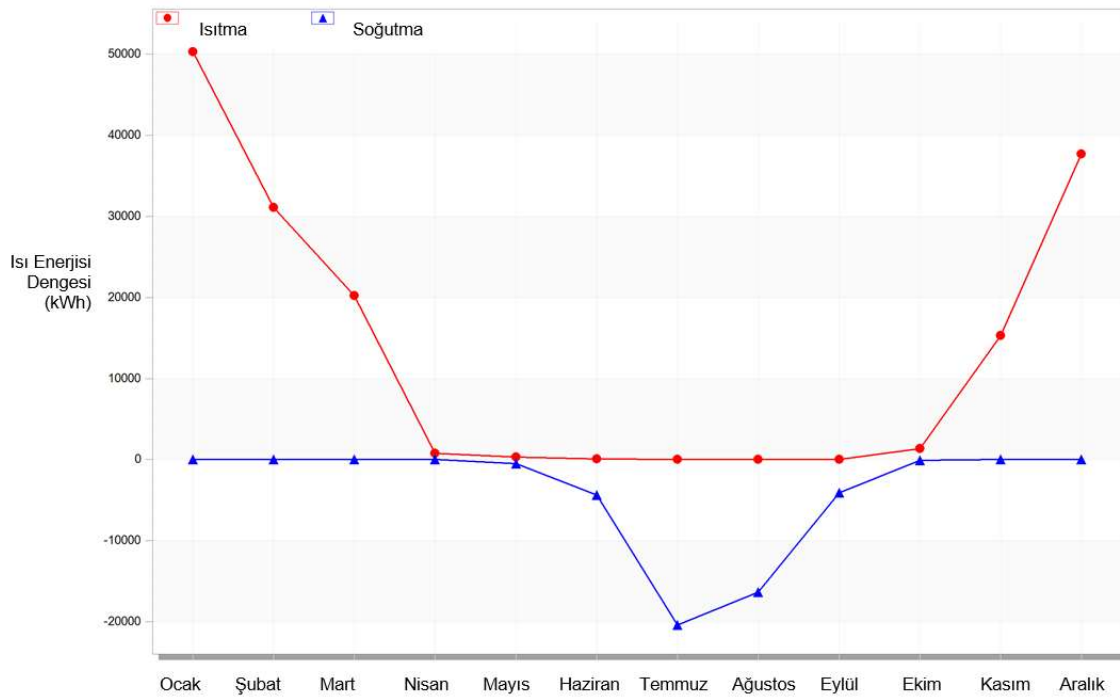
XPS Kalınlığı (cm)	U değeri (W/m ² K)
1	1,394
2	0,952
3	0,722
4	0,582
5	0,487
6	0,419
7	0,368
8	0,327
9	0,295
10	0,269

XPS yalıtımı eklenmesiyle teras çatı katmanlarının ısı geçirgenlik değerleri Çizelge 9'daki gibidir. Isıl geçirgenlik katsayısı ihmal edilen katmanlar (su yalıtımı vb.) belirtilmemiştir.

Çizelge 9. S1 teras çatı katmanları ısı geçirgenlik değerleri

Opak Bileşen	Malzeme	λ (W/mK)	Kalınlık (m)	U (W/m ² K)
Teras Çatı	Teras seramik kaplaması	2,3	0,015	0,269
	Şap	1,4	0,085	
	XPS yalıtımı	0,03	0,1	
	Betonarme döşeme	2,1	0,15	
	Tavan sıvası	0,4	0,03	

Dış duvar ve teras çatının ısı performansları iyileştirildikten sonra binanın enerji tüketim analizi tekrar yapılmıştır. Senaryo 1'e göre ortaya çıkan yıllık enerji tüketim grafiği Şekil 64'teki gibidir. Enerji tüketim değerlerinin aylara göre dağılımı ise Çizelge 10'daki gibidir.

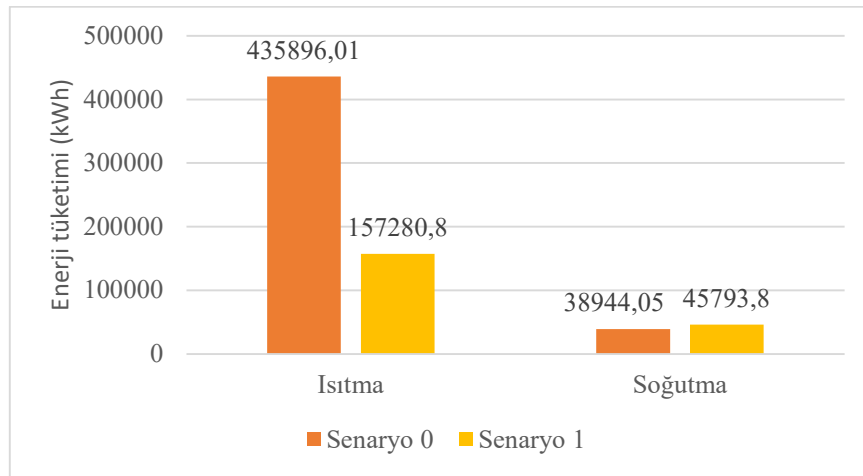


Şekil 64. S1 ısıtma ve soğutma enerji dengesi yıllık dağılım grafiği

Çizelge 10. S1 yıllık enerji tüketimi dağılımı (kWh)

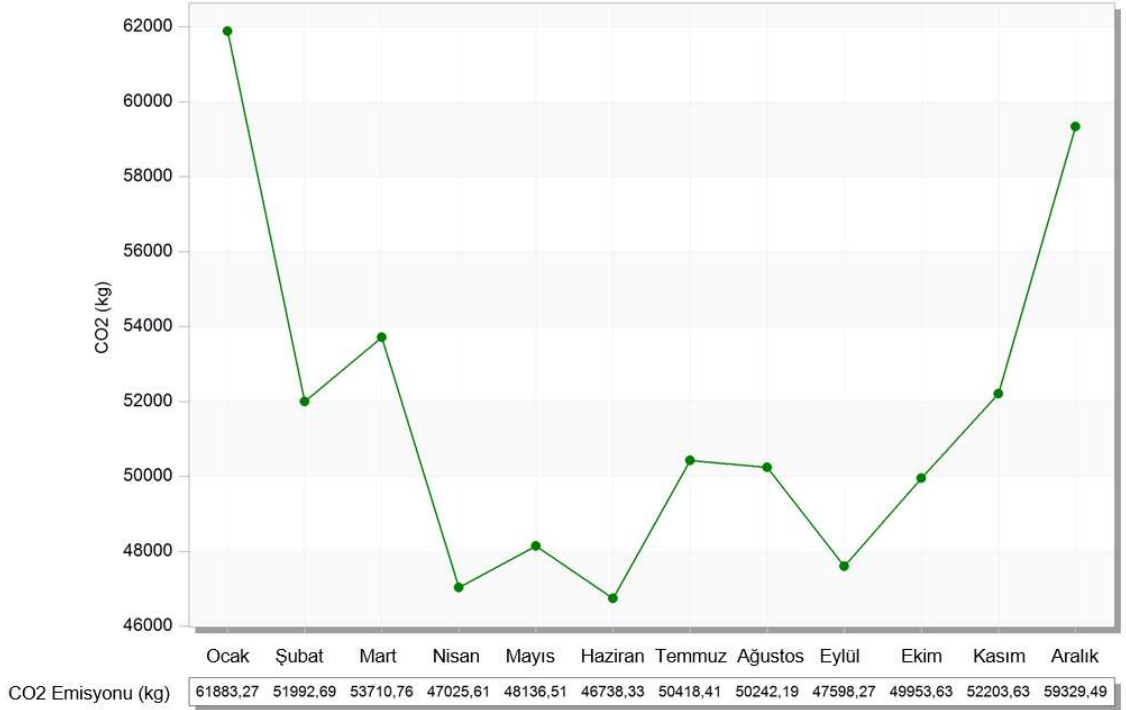
	Isıtma	Soğutma
Ocak	50330,92	0
Şubat	31110,91	0
Mart	20241,27	0
Nisan	767,82	0
Mayıs	322,63	479,77
Haziran	103,17	4352,50
Temmuz	0	20423,23
Ağustos	0	16341,13
Eylül	46,33	4077,64
Ekim	1363,68	119,53
Kasım	15317,51	0
Aralık	37676,56	0
Toplam	157280,8	45793,8

Senaryo 1'e göre yapılan enerji tüketim analizinin güncel durum ile karşılaştırılması Şekil 65'te görülmektedir. Buna göre yıllık toplam ısıtma yükü enerjisinin 435.896,01 kWh'tan 157.280,80 kWh'a düştüğü görülmektedir. Bu durum ısıtma yükü enerjisinde 278.615,21 kWh enerji verimi sağlandığı anlamına gelmektedir. Isıtma yükü enerjisi için yaklaşık %64 enerji verimi sağlanmıştır. Soğutma enerjisi tüketimi ise yapı kabuğunun ısıyı tutma kapasitesindeki artış dolayısıyla 38.944,05 kWh'tan 45.793,80 kWh'a yükselmiştir. Bu durumda 6.849,75 kWh kadar enerji tüketimi artmıştır. Bu durumda soğutma yükü enerjisi için yaklaşık %15 enerji verimi düşmüştür. Isıtma enerjisinden sağlanan enerji verimine göre soğutma enerji tüketimindeki artışın tolere edilebilir bir değerde olduğu görülmektedir. Isıtma ve soğutma enerji yükü birlikte ele alındığında Senaryo 1 için toplam enerji verimliliği yaklaşık %57 artmıştır.



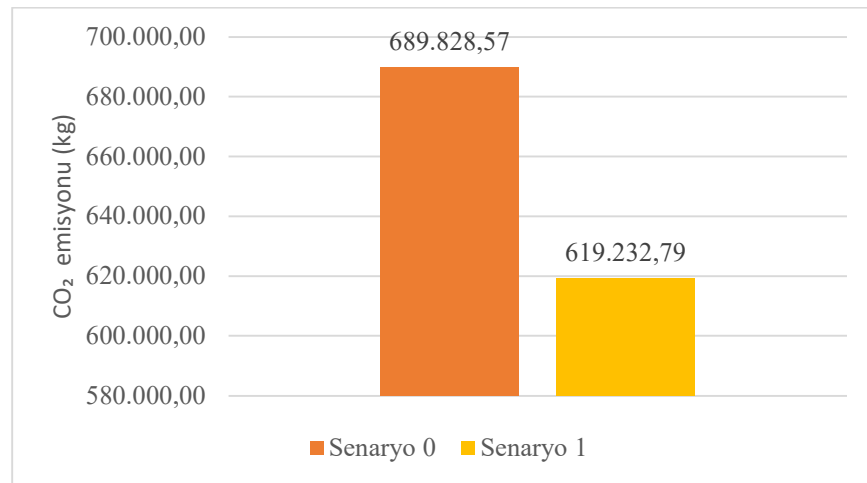
Şekil 65. S0 ile S1 ısıtma-soğutma enerji yükü karşılaştırma grafiği

Son olarak Senaryo 1 için CO₂ emisyonu analiz edilmiştir. Buna göre ortaya çıkan grafik Şekil 66'daki gibidir.



Şekil 66. S1 CO₂ emisyonu yıllık dağılım grafiği

Senaryo 1'e göre yapılan CO₂ emisyonu analizinin güncel durum ile karşılaştırılması Şekil 67'de görülmektedir. Buna göre güncel durumda 689.828,57 kg olan CO₂ emisyonu 619.232,79 kg'a düşmüştür. Bu durum CO₂ emisyonunda yaklaşık %10'luk bir azalma olduğunu göstermektedir.



Şekil 67. S0 ile S1 CO₂ emisyonu karşılaştırma grafiği

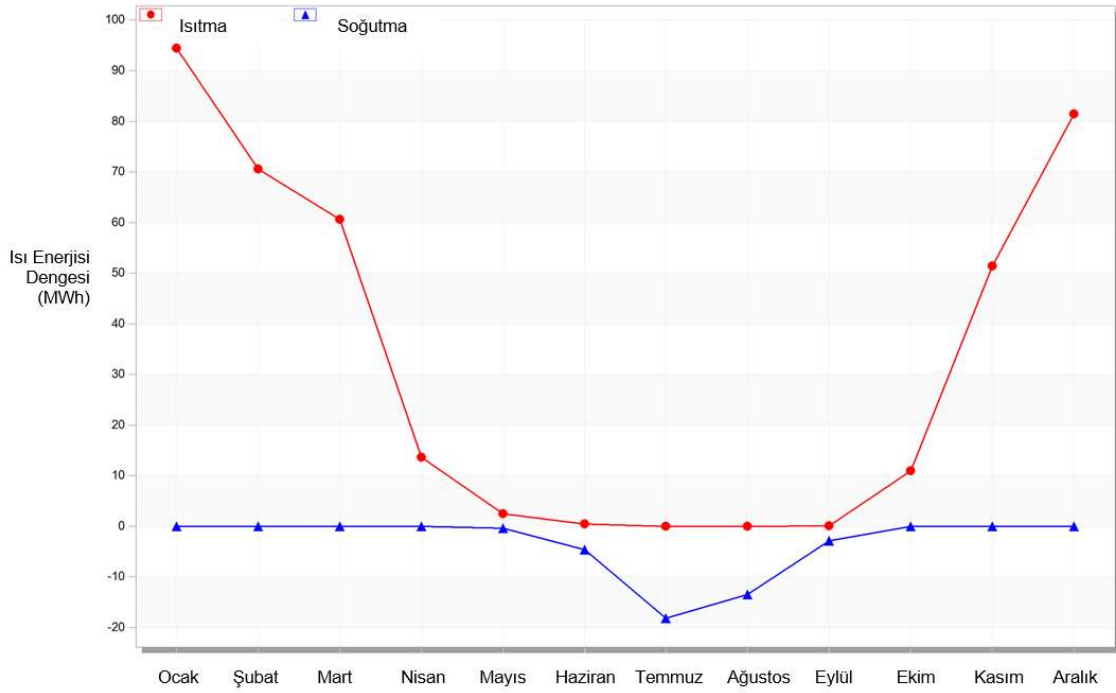
4.3. Şeffaf yüzeylerde ısı performans iyileştirmeleri (S2)

Senaryo 2'ye göre şeffaf yüzeylerin ısı performansının iyileştirilmesi için referans olarak TS 825'te yer alan U değerleri referans alınmıştır. İlk olarak güncel durum pencereye ait değerler TS 825'te yer alan U değeri ile kıyaslanmıştır. Güncel durumda 4,80 W/m²K iken bu değer TS 825'e göre en fazla 1,80 W/m²K olması gerekmektedir. Pencerelede yalıtım köprülü alüminyum doğrama kullanılacağı varsayılmıştır. Çizelge 11'de cam türlerinde cam sayısı, camlar arasındaki boşluk dolgu gazı, boşluk mesafesi ve low-e (düşük emisyonlu) kaplamaya sahip olup olmama durumuna göre pencerelerdeki U değerleri gösterilmektedir. Üçlü cam ve çift kat low-e kaplamalı pencerelerde iç mekandan bakıldığında mekânın görsel iletişimini olumsuz etkilemesi ve bina statığıne fazladan yük getirmesi nedeniyle çift cam ve tek kat low-e kaplamalı bir pencere seçmenin kullanıcı konforu ve yapı statığı açısından daha doğru olacağı tespit edilmiştir. Senaryo 2 için camlar arasında 9 mm boşluk ve dolgu gazı olarak argon tercih edilmiştir. Buna göre enerji analizi yapılacak pencerenin U değeri 1,6 W/m²K olarak belirlenmiştir.

Çizelge 11. Farklı pencere türlerine göre U değerleri (W/m²K)

Ara Boşluk Dolgu Gazı Cam Türü	Hava			Argon		
	6 mm	9 mm	12 mm	6 mm	9 mm	12 mm
Tek cam	4,8					
Çift cam, low-e kaplamasız	2,9	2,7	2,6	2,7	2,5	2,4
Çift cam, tek kat low-e kaplamalı	2,3	1,9	1,7	2,0	1,6	1,4
Üçlü cam, low-e kaplamasız	2,1	1,9	1,8	2,0	1,8	1,7
Üçlü cam, çift kat low-e kaplamalı	1,6	1,4	1,2	1,4	1,1	1,0

Bina pencerelerinin ısı performansı iyileştirildikten sonra binanın enerji tüketim analizi tekrar yapılmıştır. Buna göre ortaya çıkan yıllık enerji tüketim grafiği Şekil 68'deki gibidir. Enerji tüketim değerlerinin aylara göre dağılımı ise Çizelge 12'deki gibidir.



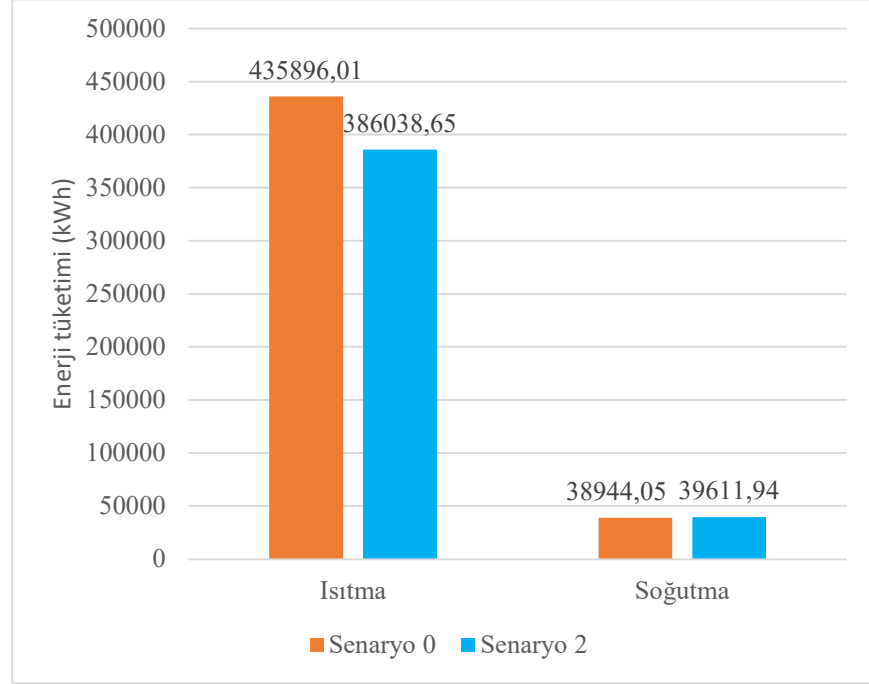
Şekil 68. S2 ısıtma ve soğutma enerji dengesi yıllık dağılım grafiği

Çizelge 12. S2 yıllık enerji tüketimi dağılımı (kWh)

	Isıtma	Soğutma
Ocak	94503,75	0
Şubat	70553,31	0
Mart	60604,41	0
Nisan	13565,58	0,01
Mayıs	2436,34	394,14
Haziran	416,00	4599,44
Temmuz	0	18211,83
Ağustos	0	13454,30
Eylül	97,37	2914,17
Ekim	10994,35	38,05
Kasım	51386,28	0
Aralık	81481,26	0
Toplam	386038,65	39611,94

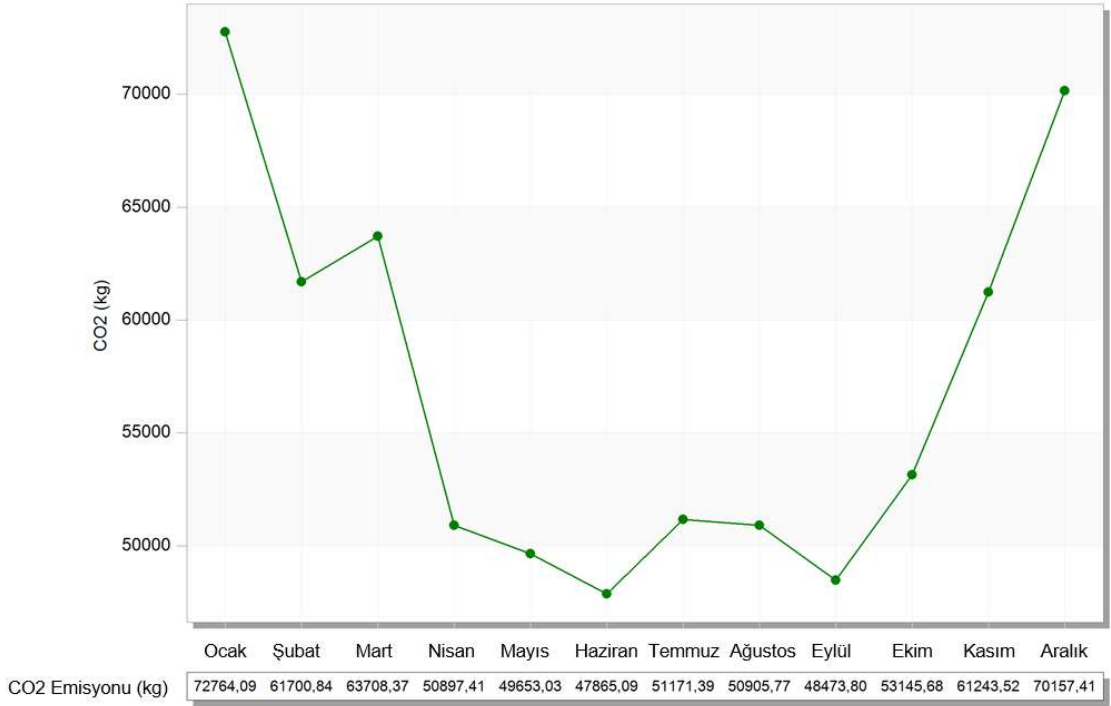
Senaryo 2'ye göre yapılan enerji tüketim analizinin güncel durum ile karşılaştırılması Şekil 69'da görülmektedir. Buna göre yıllık toplam ısıtma yükü enerjisinin 435.896,01 kWh'tan 386038,05 kWh'a düştüğü görülmektedir. Bu durum ısıtma yükü enerjisinde 49.857,36 kWh enerji verimi sağlandığı anlamına gelmektedir. Isıtma yükü enerjisi için yaklaşık %11 enerji verimi sağlanmıştır. Soğutma enerjisi tüketimi ise 38.944,05 kWh'tan 39611,94 kWh'a yükselmiştir. Bu durumda 667,89 kWh kadar enerji tüketimi artmıştır. Bu durumda soğutma yükü enerjisi için yaklaşık %1.7

enerji verimi düşmüştür. Senaryo 1’de olduğu gibi ısıtma enerjisinden sağlanan enerji verimine göre soğutma enerji tüketimindeki artışın tolere edilebilir bir değerde olduğu görülmektedir. Isıtma ve soğutma enerji yükü birlikte ele alındığında toplam enerji verimliliği yaklaşık %10 artmıştır.



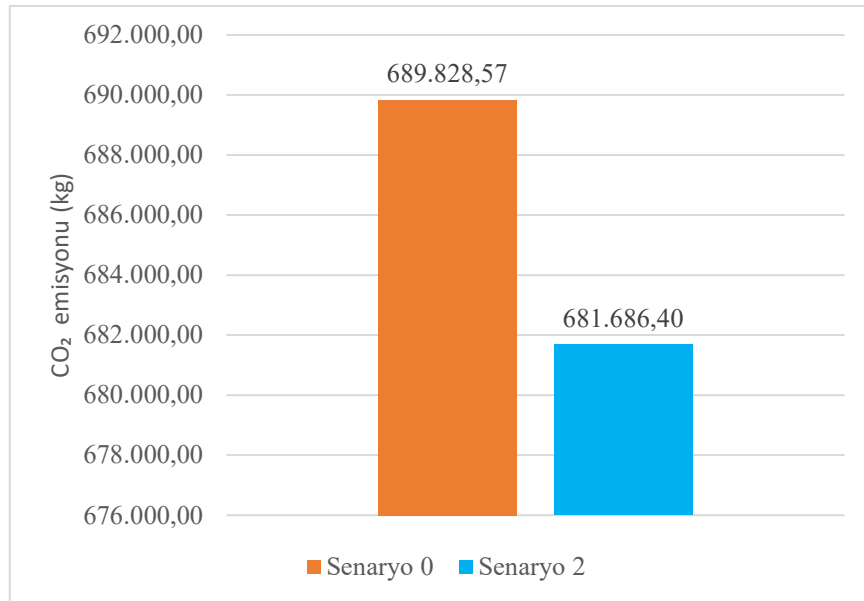
Şekil 69. S0 ile S2 ısıtma-soğutma enerji yükü karşılaştırma grafiği

Son olarak Senaryo 2 için CO₂ emisyonu analiz edilmiştir. Buna göre ortaya çıkan grafik Şekil 70’teki gibidir.



Şekil 70. S2 CO₂ emisyonu yıllık dağılım grafiği

Senaryo 2'ye göre yapılan CO₂ emisyonu analizinin güncel durum ile karşılaştırılması Şekil 71'de görülmektedir. Buna göre güncel durumda 689.828,57 kg olan CO₂ emisyonu 681.686,40 kg'a düşmüştür. Bu durum CO₂ emisyonunda yaklaşık %1'lik bir azalma olduğunu göstermektedir.



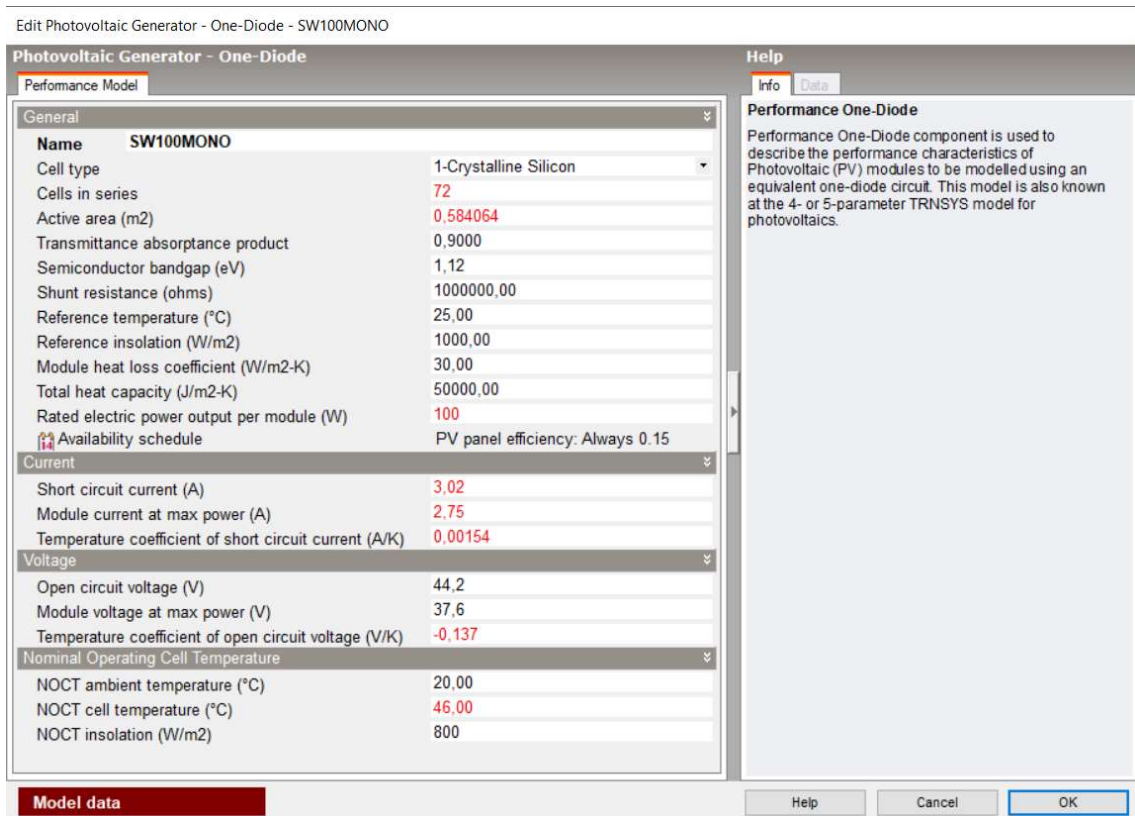
Şekil 71. S0 ile S2 CO₂ emisyonu karşılaştırma grafiği

4.4. Teras çatıya PV (fotovoltaik) panel kurulması (S3)

Binanın güncel durum enerji analizine bakıldığında ısıtma için 435896,01 kWh doğalgaz enerjisi, soğutma ve aydınlatma için ise toplam 213.560,83 kWh elektrik enerjisi tüketilmektedir. Buna göre iklimlendirme için gerekli toplam enerjinin yaklaşık %33'ünü elektrik enerjisi oluşturmaktadır. Senaryo 3'te tüketilen bu elektrik enerjisine alternatif olarak teras çatıya PV (fotovoltaik) panel kurulması planlanmıştır. PV panel modeli olarak Sunmodule SW 100 Poly RGP modeli seçilmiştir. Bu PV modelinin teknik bilgileri Çizelge 13'teki gibidir. Bu bilgilere göre DesignBuilder programında PV modeli oluşturulmuştur (Şekil 72).

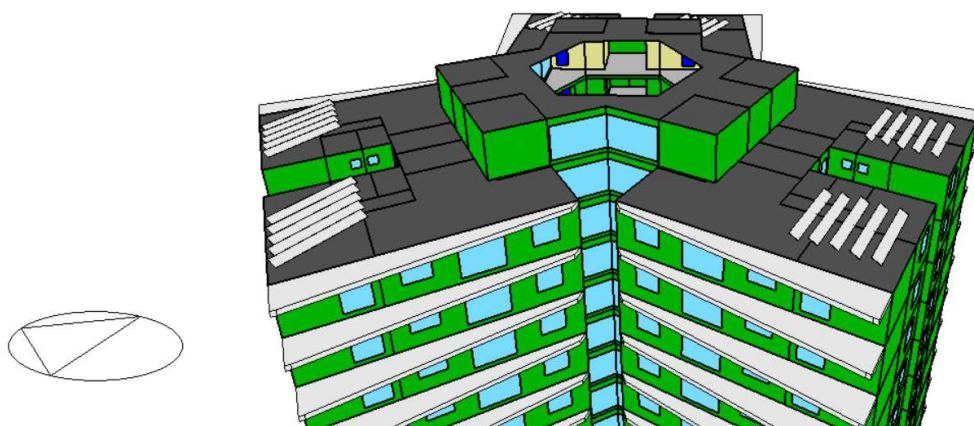
Çizelge 13. PV (fotovoltaik) panel teknik bilgileri

Bileşen Materyalleri	
Modül başına hücre sayısı	72
Hücre tipi	Polikristal
Hücre ölçüleri	52 mm x 156 mm
Yüzey	Temperli cam (EN 12150)
Çerçeve	Eloksallı alüminyum
Ağırlık	8.0 kg
Standart Test Koşullarında Performans	
Maksimum güç	100 Wp
Açık devre voltajı	44.2 V
Maksimum güç noktası voltajı	37.6 V
Kısa devre akımı	3.02 A
Maksimum güç noktası akımı	2.75 A
Modül verimliliği	%13.61

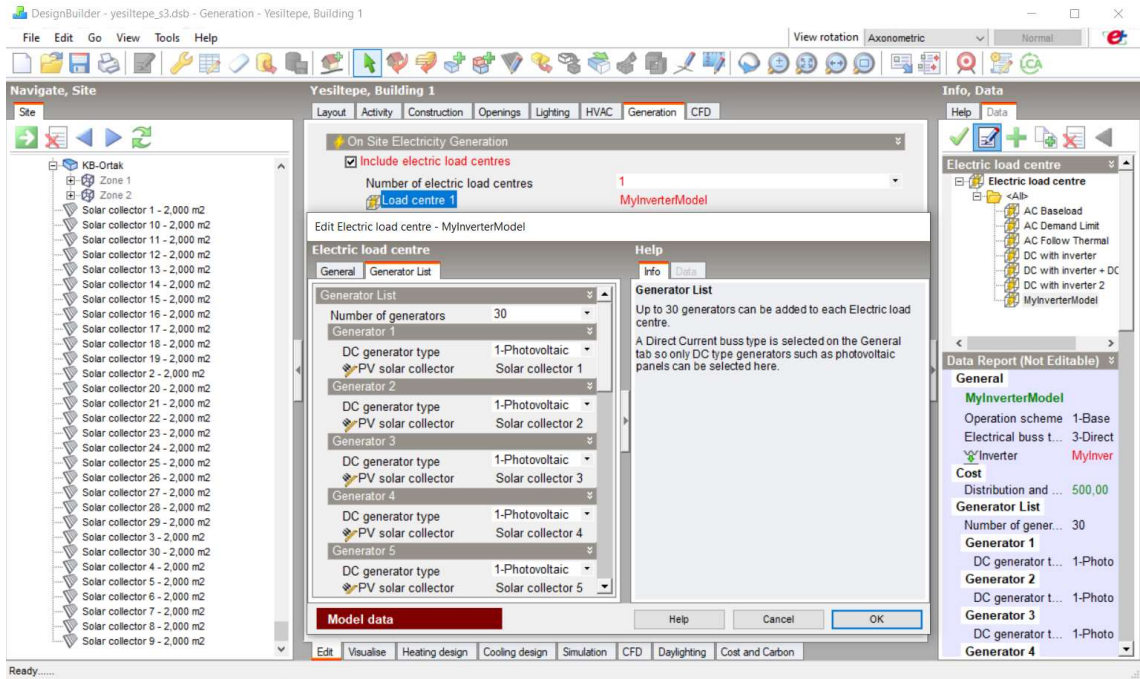


Şekil 72. DesignBuilder programı PV panel bilgileri

Teras çatıya her biri 5 modülden oluşan 30 adet panel güney yönüne dönük bir şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 73). Daha sonra 'Generation' sekmesinden binaya bir elektrik sistemi eklenerek 30 adet PV paneli bu sisteme entegre edilmiştir (Şekil 74).

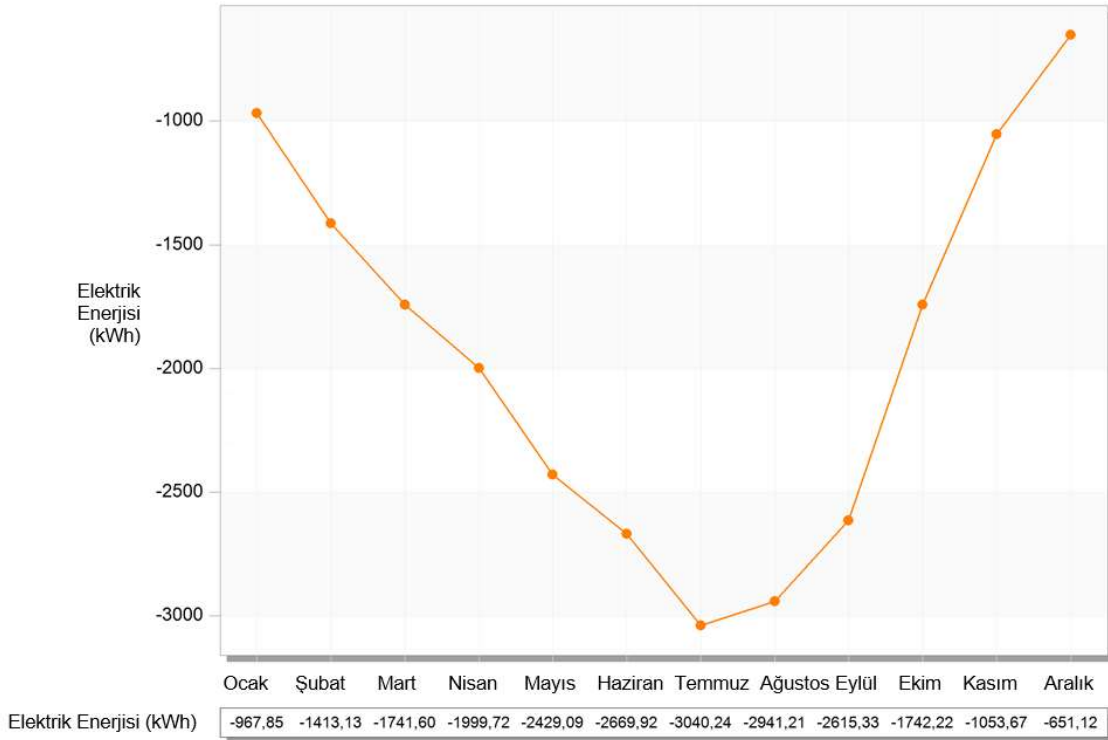


Şekil 73. DesignBuilder programı teras çatıda PV panellerin yerleşimi



Şekil 74. DesignBuilder programı PV panellerin elektrik sistemine entegrasyonu

PV panellerinden üretilen enerjinin bir kısmı enerjinin dönüşümünde kullanılmaktadır. Çizelge 14'te toplam üretilen enerji ve dönüşüme harcanan enerji değerleri yer almaktadır. Binaya eklenen sistemin toplamda kullanılabilir ne kadarlık bir elektrik enerjisi ürettiğinin aylık dağılımı Şekil 75'te yer almaktadır. Buna göre PV panellerinden yılda 23.265,09 kWh'lık bir elektrik enerjisi üretilmiştir. Bu enerji, binanın iklimlendirilmesi için gerekli olan elektrik enerjisinin %10,89'unu oluşturmaktadır. PV panellerinden üretilen enerji, aydınlatma için kullanılacak şekilde Senaryo 4'te analize dahil edilecektir.



Şekil 75. S3 PV panellerinden üretilen elektrik enerjisinin yıllık dağılım grafiği

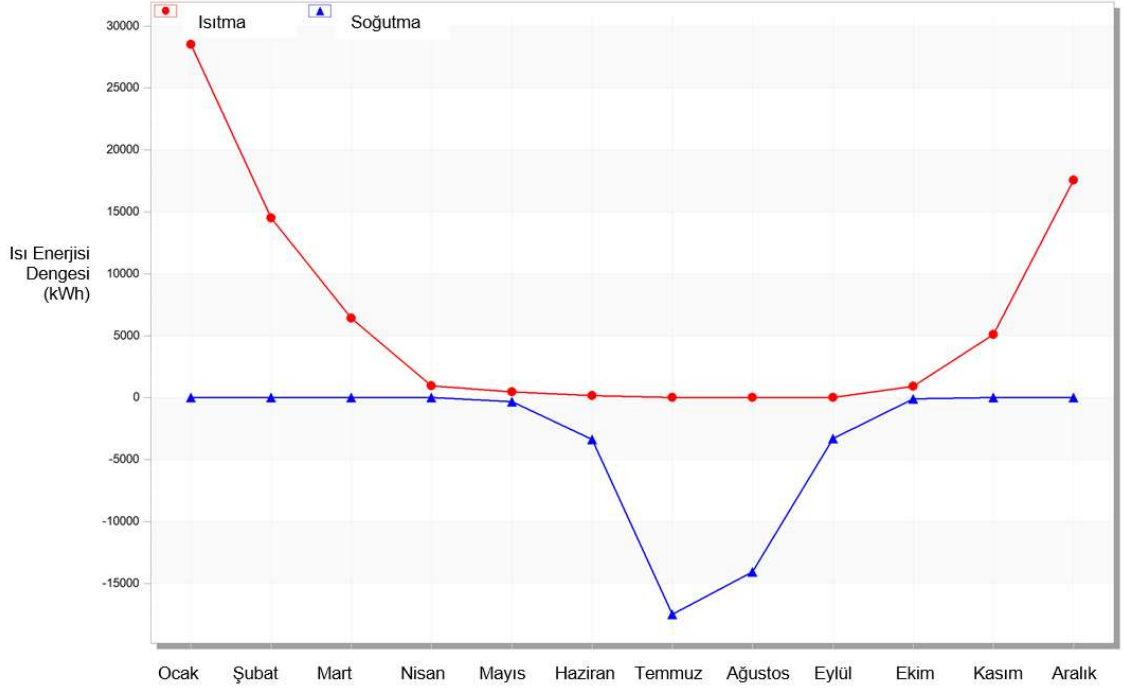
Çizelge 14. S3 yıllık enerji üretimi (kWh)

PV panellerinden üretilen enerji	Güç dönüşümü	Toplam kullanılabilir elektrik enerjisi	Toplam elektrik enerjisi yüküne oranı
24234,47	-969,38	23.265,09	%10,89

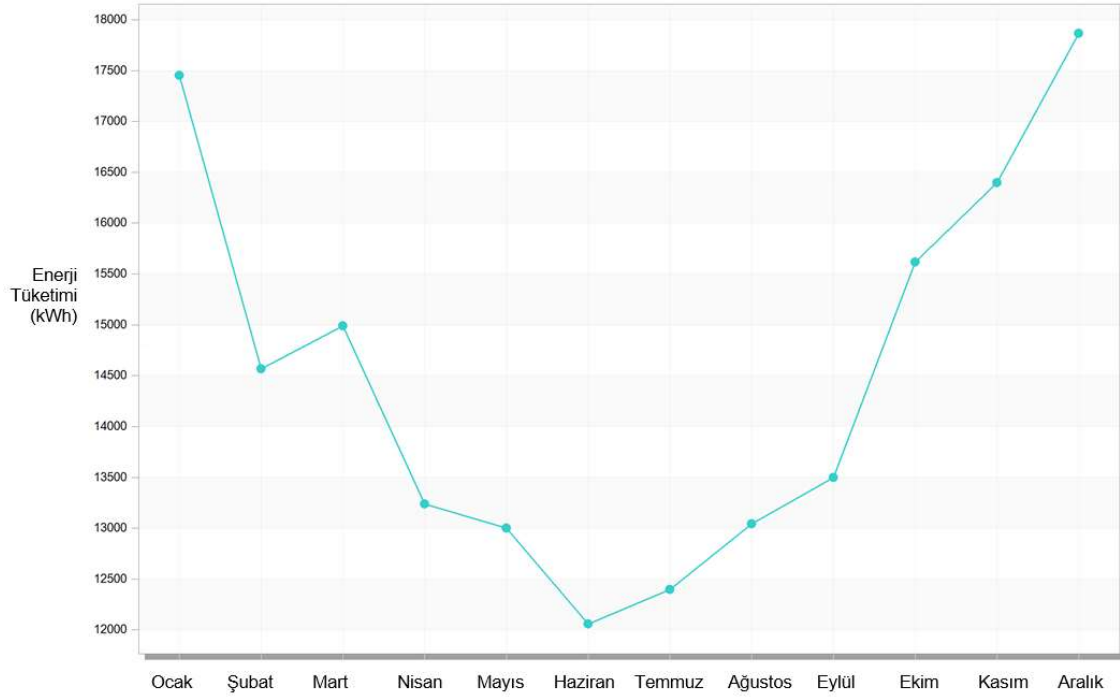
4.5. Bütün senaryoların uygulanması (S4)

Enerji etkin yapı kabuğu analizi kapsamında belirlenen üç senaryo için de farklı oranlarda enerji verimliliği ve CO₂ emisyonunda azaltma sağlanmıştır. Çalışmanın nihai senaryosunda ise üç senaryonun da binaya entegre edildiği durum göze alınarak binadaki toplam enerji verimliliği ve CO₂ emisyonundaki düşüş ortaya konacaktır. Buna göre Senaryo 1’de belirtildiği gibi opak yüzeylerin ısı performansını iyileştirilmiştir. TS 825’te 3. iklim bölgesi için gerekli olan U değerleri sağlayabilmek adına dış duvarlarda 5 cm ve teras çatıda 10 cm olmak üzere XPS yalıtımı eklenmiştir. Daha sonra Senaryo 2’de belirtildiği gibi şeffaf yüzeylerin ısı performansını iyileştirilmiştir. Pencere doğraması olarak yalıtım köprülü alüminyum ve low-e kaplamalı çift cam kullanılması kararlaştırılmıştır. Camlar arasında 9 mm boşluk bırakılmış ve bu kısım argon gazı ile

doldurulmuştur. Son olarak Senaryo 3'te belirtildiği gibi teras çatıya 30 adet 5'er modülden oluşan fotovoltaik panel yerleştirilmiştir. Buradan elde edilecek elektrik enerjisi, aydınlatma enerji yüküne dahil edilerek analiz yapılmıştır. Bahsedilen enerji etkin iyileştirme uygulamalarının hepsinin uygulandığı Senaryo 4'e göre yıllık enerji tüketim grafiği Şekil 76 ve Şekil 77'deki gibidir. Aylara göre enerji tüketim ve PV enerji üretim değerleri Çizelge 15'teki gibidir.



Şekil 76. S4 ısıtma ve soğutma enerji dengesi yıllık dağılım grafiği

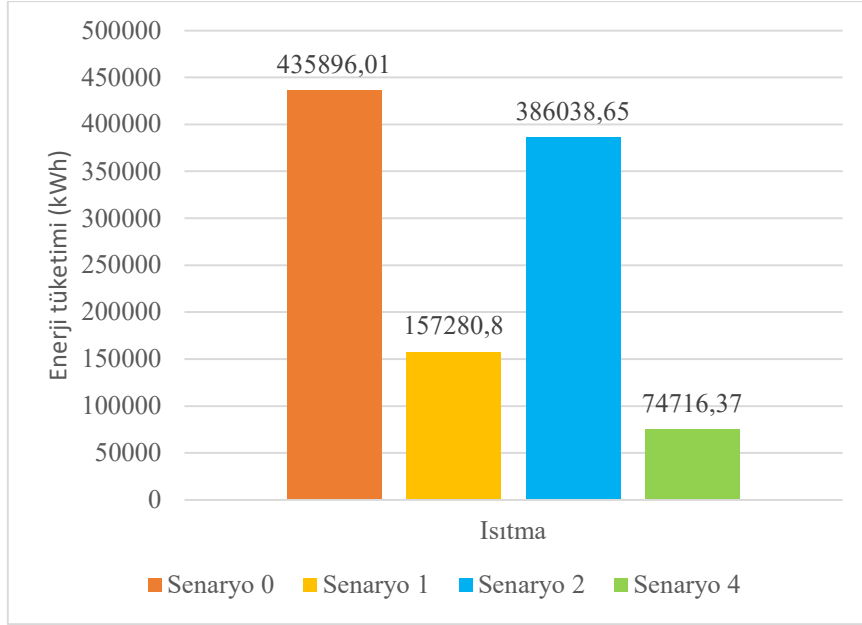


Şekil 77. S4 aydınlatma enerji yükü yıllık dağılım grafiği

Çizelge 15. S4 yıllık enerji tüketim - üretim dağılımı (kWh)

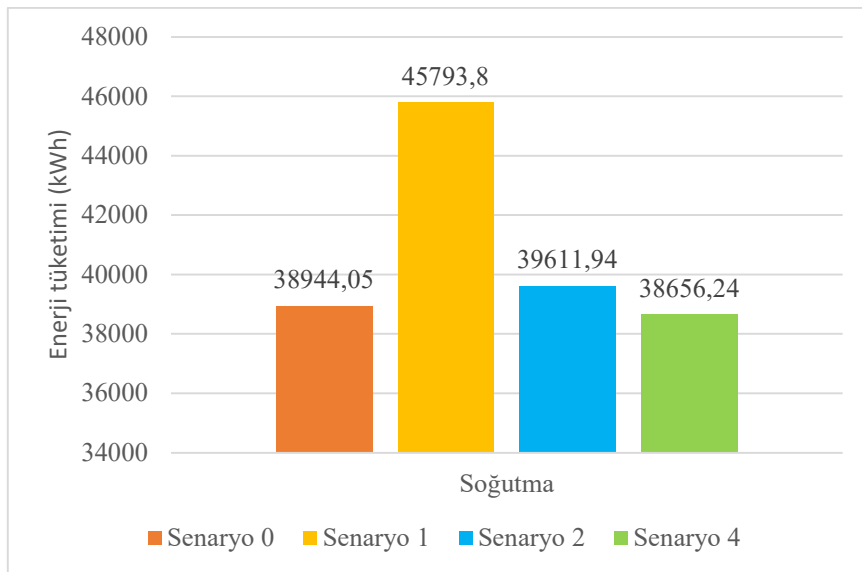
	Isıtma	Soğutma	Aydınlatma	PV Üretilen Enerji
Ocak	28527,19	0	17450,71	-967,85
Şubat	14513,86	0	14565,22	-1413,13
Mart	6430,83	0	14989,79	-1741,60
Nisan	945,05	0	13237,11	-1999,72
Mayıs	483,25	329,21	12999,92	-2429,09
Haziran	177,57	3376,46	12057,43	-2699,92
Temmuz	0	17503,09	12396,72	-3040,24
Ağustos	0	14064,07	13042,78	-2941,21
Eylül	25,75	3286,72	13496,15	-2615,33
Ekim	937,99	96,69	15617,76	-1742,22
Kasım	5110,09	0	16397,86	-1053,67
Aralık	17564,79	0	17864,89	-651,12
Toplam	74716,37	38656,24	174116,34	-23295,09

Şekil 78’de ısıtma için gerekli enerji tüketim miktarının farklı senaryolara göre dağılımı gösterilmektedir. Nihai durum olan Senaryo 4’e göre yıllık enerji tüketim miktarı 435.896,01 kWh’tan 74.716,37 kWh’a düşmüştür. Bu durum yapı kabuğunun ısıyı tutmasında yapı kabuğunu oluşturan katmanların U değerlerinin ne kadar önemli olduğunu ortaya koymaktadır.



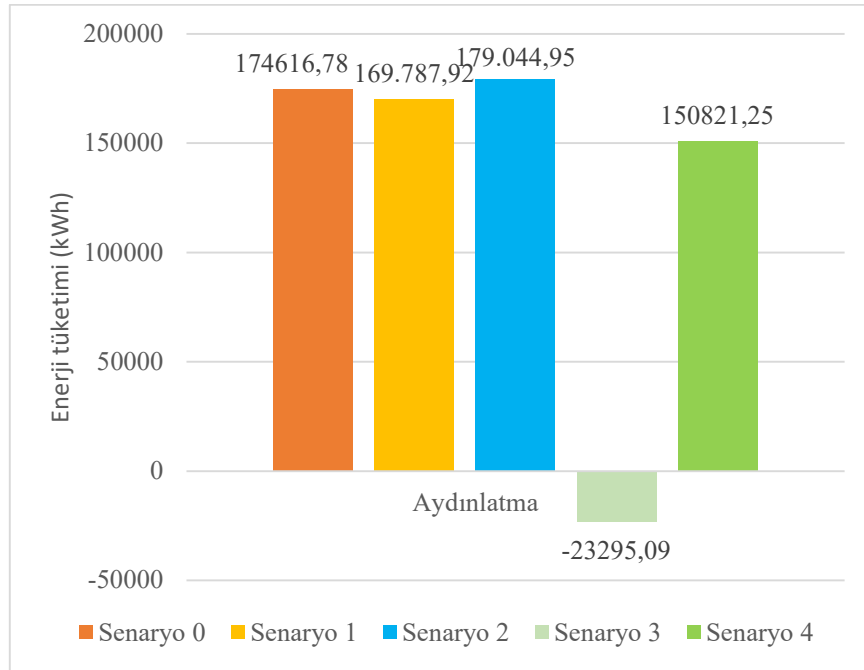
Şekil 78. Isıtma enerji yükü senaryolara göre karşılaştırma grafiği

Soğutma enerji yükünün farklı senaryolara göre dağılımı Şekil 79'da görülmektedir. Yapı kabuğunda ısı performansının iyileştirilmesinin ısıtma enerji yükünü ciddi ölçüde azaltırken soğutma enerji yükü için etkili olmadığı görülmektedir. Isıtma enerji yüküne kıyaslandığında soğutma enerji yükünün makul düzeylerde olduğu ve bu enerjiyi düşürmek için alınabilecek önlemlerin daha fazla ısıtma enerjisi yüküne ihtiyaç doğurabileceği tespit edilmiştir.



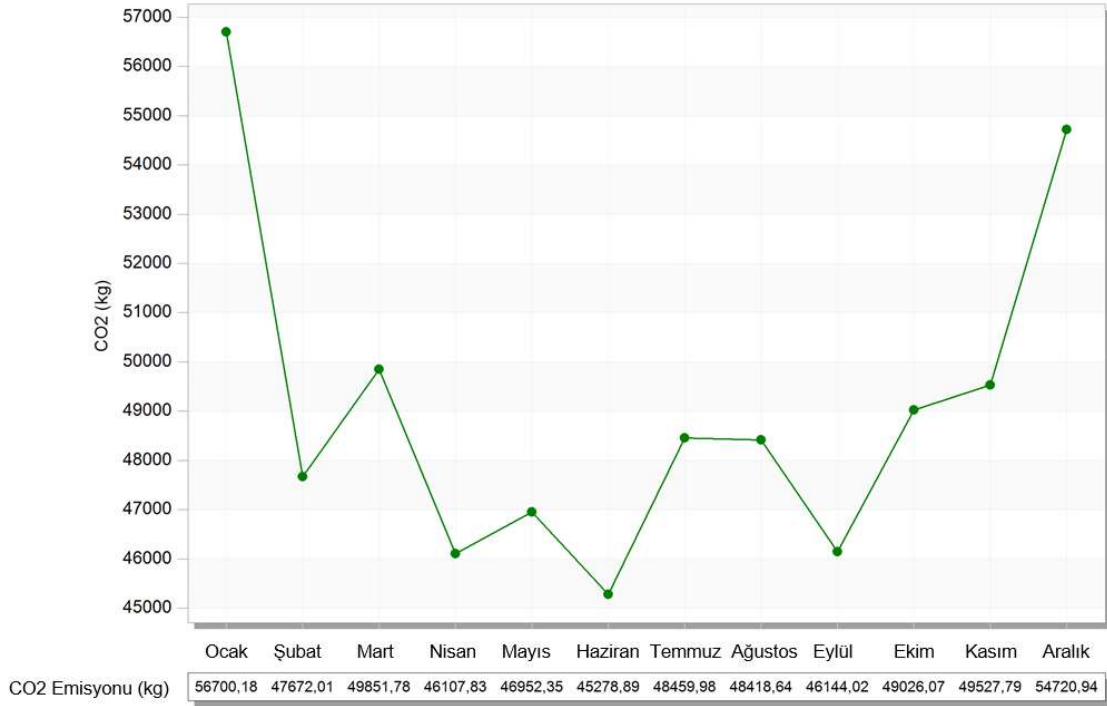
Şekil 79. Soğutma enerji yükü senaryolara göre karşılaştırma grafiği

Şekil 80’de aydınlatma için gerekli enerji tüketim miktarının farklı senaryolara göre dağılımı gösterilmektedir. Yapı kabuğunun ısı performansının iyileştirilmesinin aydınlatma için ciddi etkilerinin olmadığı görülmektedir. Senaryo 2’de çift cam ve low-e kaplamalı pencere kullanılması 174.616,78 kWh olan aydınlatma enerji yükünü 179.044,95 kWh’a çıkarmıştır. Buradaki %2.5 artış göz ardı edilebilir bir orandır. Senaryo 3’te PV panellerinden elde edilen elektrik enerjisi, Senaryo 4’te aydınlatma için kullanılacak şekilde analiz edilmiştir. Buna göre Senaryo 4’te aydınlatma enerji yükü güncel duruma göre 174.616,78 kWh’tan 150.821,25 kWh’a düşmüştür. Aydınlatma için toplamda %13.6 oranında enerji verimi sağlanmıştır.



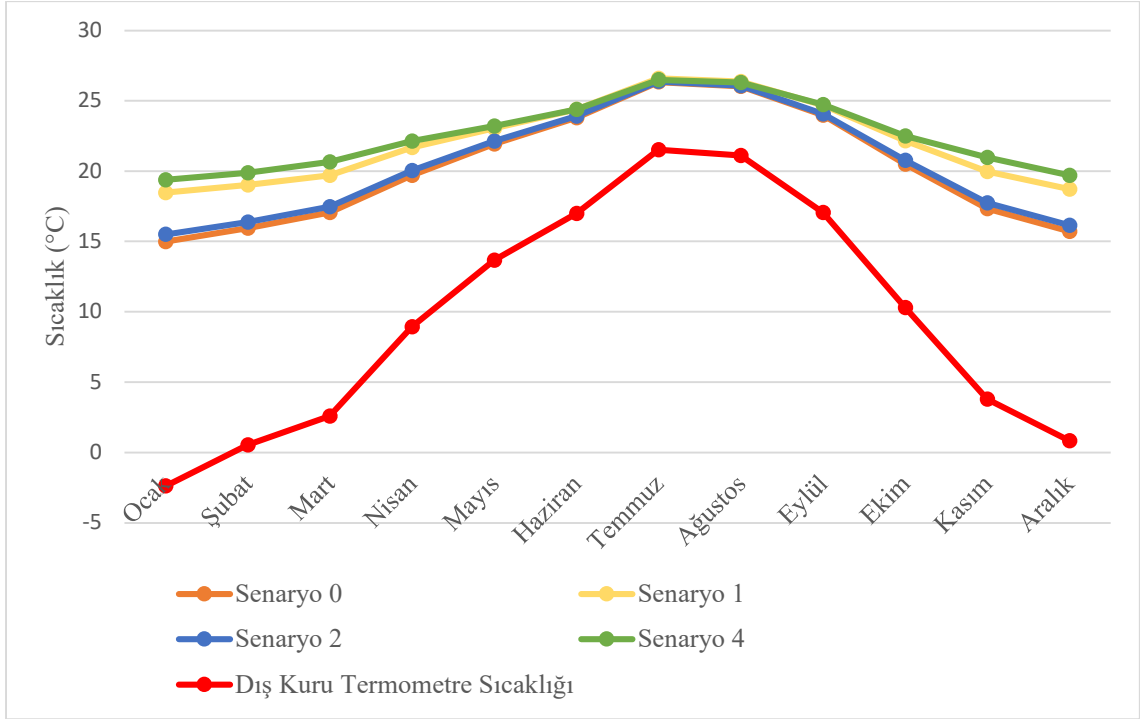
Şekil 80. Aydınlatma enerji yükü senaryolara göre karşılaştırma grafiği

Senaryo 4’e göre yapılan CO₂ emisyonu analizinin güncel durum ile karşılaştırılması Şekil 81’de görülmektedir. Buna göre güncel durumda 689.828,57 kg olan CO₂ emisyonu 588.860,46 kg’a düşmüştür. Bu durum CO₂ emisyonunda yaklaşık %14.6’lık bir azalma olduğunu göstermektedir.

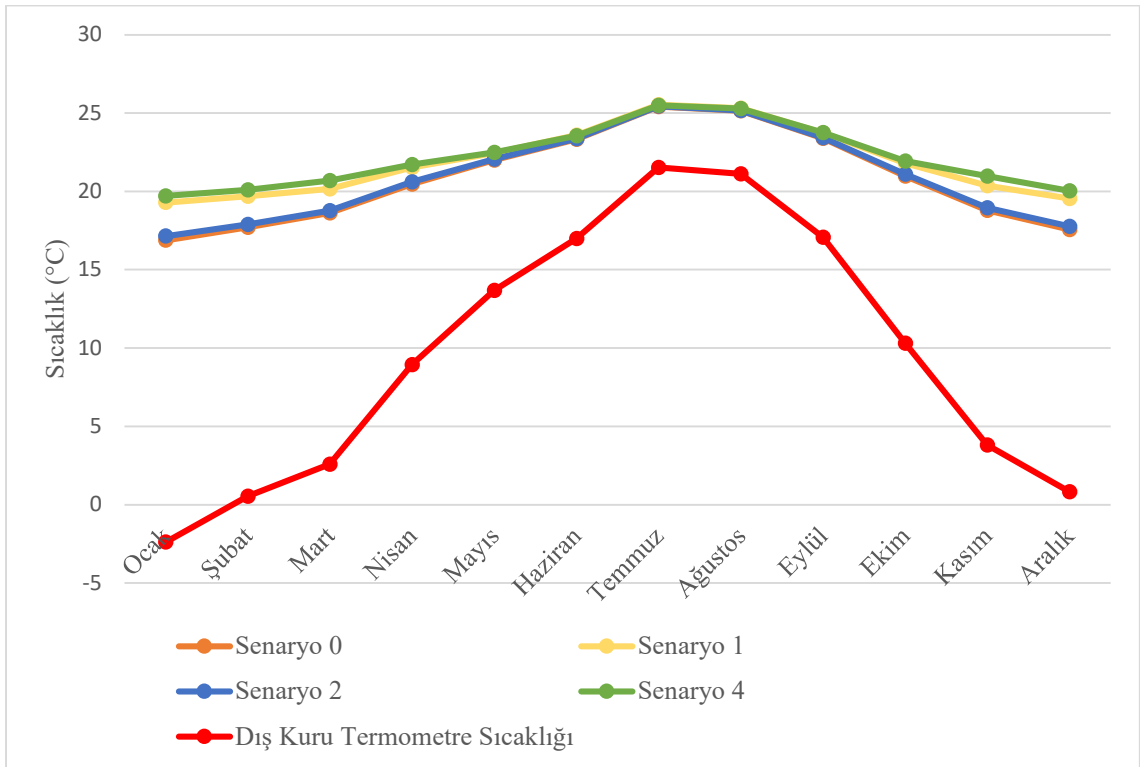


Şekil 81. S4 CO₂ emisyonu yıllık dağılım grafiği

Son olarak bütün senaryoların ısı konfor parametre değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 82’de radyant sıcaklık, Şekil 83’te ise bina içindeki normal hava sıcaklığı değerleri yer almaktadır. Buna göre yapı kabuğundaki enerji etkin önlemlerin yaz aylarında olumsuz bir etkisinin olmadığı, kış aylarında ise ısı konfor için yeterli olmayan sıcaklığı yeterli hale getirdiği görülmektedir. Yılın en soğuk ayı olan ocak ayında yaklaşık 3 °C’lik artışla ısı konfor sıcaklığına yaklaşılması sağlanmıştır. Bu durumun ısıtma enerji yükünü azaltan faktörlerden biri olduğu görülmektedir.



Şekil 82. Radyant sıcaklığın farklı senaryolara göre yıl içindeki değişimi



Şekil 83. Binadaki hava sıcaklığının farklı senaryolara göre yıl içindeki değişimi

Enerji etkin iyileştirme senaryolarına ait enerji analiz sonuçlarına göre Senaryo 1’de alınan enerji etkin önlemlerle yapının enerji korunumu yüksek oranda sağlanmıştır. Senaryo 1 kapsamında toplam yaklaşık %57 enerji verimliliği sağlanmıştır. CO₂ salınımına bakıldığında ise güncel durum senaryosuna göre %10 daha az CO₂ salınımına sebep olduğu tespit edilmiştir. Senaryo 2 için yapılan enerji analizinde de ısıtma enerji yükü için yaklaşık %11 enerji verimi sağlandığı görülmüştür. CO₂ salınımı ise güncel durum senaryosuna göre %1 azalmıştır. Binanın güncel durumda iklimlendirme için gerekli enerjinin yaklaşık %33’ünü oluşturan elektrik enerjisine alternatif üretebilmek için geliştirilen Senaryo 3’te PV panellerinden üretilen elektrik enerjisi toplam kullanılan elektrik enerjisinin %10.89’una, aydınlatma için gerekli olan elektrik enerjisinin ise %13.6’sına denk gelmektedir. Son olarak tüm senaryoların uygulandığı Senaryo 4’te ise binanın iklimlendirme için gerekli toplam enerji yükü %59.32 oranında azalmıştır. CO₂ salınımı ise %14.6 oranında azalmıştır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında ele alınan Ankara Yeşiltepe Yapı Kooperatifi günümüzde halen konut niteliğinde kullanılmakta olup gerek rayiç bedeli gerekse dönemin mimarlık eserleri arasında yer alması nedeniyle uzun yıllar daha konut olarak kullanılmaya devam edecektir. Bu nedenle bu gibi yapılarda enerji etkin önlemler alınması yapıyı kullanmakta olan insanlar için önem arz etmektedir.

Yapılan çalışma ile;

- Binanın güncel durum enerji analizine göre bina içi hava sıcaklığının ısı konfor koşullarından daha düşük olduğu,
- Aylık enerji tüketim verileri göz önüne alındığında binaya iklimlendirme için gerekli olan enerjinin büyük bir kısmının binayı ısıtmak için harcandığı,
- Dairelerin yaşam alanlarında yaz aylarında binanın soğutma enerji yükünü artıracak kadar aşırı güneş ışığına maruz kalınmadığı,
- Binadaki balkon tasarımının güneş ışığı karşısında gölgelendirme elemanı işlevi gördüğü,
- Senaryo 1 ve Senaryo 2'nin enerji analizinden elde edilen bulgulara göre yapı kabuğunun (dış duvarlar, teras çatı ve pencereler) ısı performansının artırılması gerektiği,
- Senaryo 3'ün enerji analizinden elde edilen bulgulara göre geniş bir teras çatıya sahip olunması ve güneş ışığından faydalanılabilmesi nedeniyle burada fotovoltaik panellerin kurularak elektrik enerjisi üretilebileceği,
- Yapılan iyileştirme çalışmalarıyla CO₂ salınımlarında kayda değer azalmanın sağlanabileceği sonuçlarına ulaşılmıştır.

Binaların enerji modellemesi yöntemiyle enerji performanslarının hesaplanıp enerji analizinden elde edilen sonuçlara göre elde edilecek enerji verimliliğinin maddi kazancı, enerji etkin önlemlerin alınması için gerekli olan maliyet ile karşılaştırılarak binanın daha az maliyetli hale getirilmesi sağlanabilecektir. Enerji tüketiminin ülke ekonomisini etkilemesi ve enerjide kısmen dışa bağımlılığın sürmesi gibi etkenler nedeniyle enerjinin korunumu ve sürdürülebilirliği alanlarında çalışmalara devam edilmesi önerilmektedir. Özellikle mimari yapıların verimsiz bir şekilde enerji tüketen değil enerji etkin bir şekilde yaşam döngülerini devam ettirmeleri sürdürülebilirlik adına önemli kazanımlar elde edilmesini sağlayacaktır.

Çalışmada kullanılan bina enerji modellemesi yönteminin yapı kabuğunun enerji etkin iyileştirilmesi potansiyelinin görülmesi bakımından işlevsel olduğu görülmüştür. Bu nedenle benzer bir çalışma yöntemi izlenerek herhangi bir bölgedeki herhangi bir bina için çalışma boyunca bahsedilen enerji etkin yapı parametrelerine uygun hareket edilmesi durumunda enerji analizi yapılması mümkündür. Daha detaylı bir enerji analizi için her bir daire ölçeğinde kullanıcı profili, yapıyı kullanım sıklığı, daire içindeki ekipmanlar, aydınlatma sistemi, klima kullanma alışkanlığı, sıcak su kullanım durumu, jaluzilerin varlığı, balkonda varsa camekanlar gibi enerji tüketimini etkileyebilecek etkenler programda tek tek 3B modele tanımlanarak hesaplama yapılması önerilmektedir. Bu doğrultuda yapılmış olan bu çalışma başka araştırmalar için örnek bir model olabilecektir.

KAYNAKLAR

- Ahmed, I. M., & Tsavdaridis, K. D. (2018). Life Cycle Assessment (LCA) and Cost (LCC) Studies of Lightweight Composite Flooring Systems. *Journal of Building Engineering*.
- Akşit, F. Ş. (2005). Türkiye'nin Farklı İklim Bölgelerinde Enerji Etkin Bina ve Yerleşme Birimi Tasarımı. *Tasarım Dergisi*, 12(157), 124–130.
- Arat, Y., & Çam, A. (2021). Çalışma Alanlarının Dönüşümün(d)e Pandemi Etkisi; Evden Çalışma Alanlarının Ergonomisi. *International Journal of Social Humanities and Administrative Sciences*, 7(44), 1666–1674.
https://journalofsocial.com/Makaleler/755180304_17_44_ID734_Arat&Cam_1666-1674.pdf
- Aslanoğlu, İ. (1980). *Erken Cumhuriyet Dönemi Mimarlığı 1923-1938*. ODTÜ Mimarlık Fakültesi Basım İşliği.
- Atmaca, U. (2016). TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardındaki Güncellemeler. *Tesisat Mühendisliği*, 154, 21–35.
- Ayçam, İ. (1998). *Pencerelerin Isıl Performansının Arttırılmasına Yönelik İyileştirme Teknikleri*. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ayçam, İ., & Güner, C. (2018). *Geleceğin Kentlerinde Enerji Etkin Binalarda Cephe Malzemelerindeki Değişimin Dinamik ve Akıllı Yapı Kabuğuna Etkisi*.
- Ayçam, İ., & Utkuğ, G. S. (1999). Farklı malzemelerle üretilen pencere tiplerinin ısı performanslarının incelenmesi ve enerji etkin pencere seçimi. 4. *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, 61–73.
- Aydın, Ö. (2019). Binalarda Enerji Verimliliği Kapsamında Yapılan Projelerin Değerlendirilmesi: Türkiye Örneği. *Mimarlık ve Yaşam Dergisi*, 4(1), 55–68.
<https://doi.org/10.26835/my.511825>
- Balaban Varol, E. (2019). A Study on the Booming Architecture in Ankara with the Concept of “Dwelling” of Heidegger: Yeşiltepe Buildings. *Online Journal of Art and Design*, 7(3), 11–19.
- Balaban Varol, E., & Cankız Elibol, G. (2021). İnşadan İskâna Ortak Mekânların Değişimi: 1950-1980 Yılları Arasında Ankara'da İnşa Edilen Kooperatif Yapıları Üzerinden Bir Araştırma. *MEGARON*, 16(3), 488–507.
- Bayazıt, N. (1992). *Toplu konut standartları: mekan, fiziksel çevre, bina ekonomisi*. TOKYAD.
- Bayrak, M., & Esen, Ö. (2014). Türkiye'nin Enerji Açığı Sorunu ve Çözümüne Yönelik Arayışlar. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 28(3), 139–158.
https://www.researchgate.net/publication/292762821_Turkiye'nin_Enerji_Acigi_Sorunu_ve_Cozumune_Yonelik_Arayislar

- Beytekin, H. E. (2016). *Yapı Kabuğunun Enerji Etkiliği Açısından İncelenmesi ve Değerlendirilmesi*. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bilgin, N., & Tanıyıcı, Ş. (2008). Türkiye’de Kooperatif Ve Devlet İlişkilerinin Tarihi Gelişimi. *KMU İİBF Dergisi*, 10(15).
- Bozdoğan, B. (2003). *Mimari Tasarım ve Ekoloji*. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bülow-Hübe, H. (2000). Office worker preferences of exterior shading devices:pilot study. *EuroSun*, 19–22.
- Çetin, H. M. (2020). *Soğuk İklim Bölgesi Eğitim Yapılarında Enerji Etkin Tasarım Parametrelerinin İrdelenmesi Üzerine Bir Çalışma*. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çıkın, A., & Karacan, A. R. (1994). *Genel Kooperatifçilik*. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.
- Çoban, M. (1999). *Güneş-mimari tasarım ilişkisi* [Yıldız Teknik Üniversitesi]. <http://dspace.yildiz.edu.tr/xmlui/handle/1/10944>
- Çorbacı, A. (1986). *Türkiye’de Konut Kooperatifçiliği ve Halkla İlişkileri “Kent-Koop” Örnek Olayı*. Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Daniels, K. (1979). *The Technology of Ecological Building: Basic Principles and Measures, Examples and Ideas*. Birkhäuser Verlag.
- Demircan, R. K., & Gültekin, A. B. (2017). Binalarda pasif ve aktif güneş sistemlerinin incelenmesi. *Türk Bilim Araştırma Vakfı*, 10(1), 36–51.
- Elbi, D. (2019). *Yapı Bilgi Modelleme Aracılığı ile Enerji Etkin Yapı Tasarımı ve Geliştirilmesi: Bir Konut Projesi Örneği* [İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü]. <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/632801>
- Elder, A. J., & Vandenberg, M. (1974). *Handbook of Building Enclosure*. Architectural Press.
- Erdal, L., & Karakaya, E. (2012). Enerji Arz Güvenliğini Etkileyen Ekonomik, Siyasî ve Coğrafi Faktörler. *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 1, 107–136. <https://kutuphane.dogus.edu.tr/mvt/pdf.php?pdf=0015785&lng=0>
- Erdede, S. B., & Bektaş, S. (2014). Ekolojik Açıdan Sürdürülebilir Taşınmaz Geliştirme ve Yeşil Bina Sertifika Sistemleri. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(1), 1–12. www.teknolojikarastirmalar.com
- Erdem, G. (2022). *Çok Katlı Toplu Konut Yapıları Bünyelerinde Açık Ve Yeşil Mekânlar Oluşturma Yöntemleri: Ankara Örneği*.

- Ernstrom, J. W. (2006). *The contractors' guide to BIM*. Associated General Contractors of America.
- Gao, H., Koch, C., & Wu, Y. (2019). Building information modelling based building energy modelling: A review. *Applied Energy*, 320–343.
<https://environment.govt.nz/publications/integrated-whole-building-design-guidelines/>
- Givoni, B. (1976). *Man, climate and architecture*. Applied Science Publishers.
https://books.google.com/books/about/Man_Climate_and_Architecture.html?id=3E-0AAAAIAAJ
- Güleç, D. (2007). *Bina Enerji Performans Simülasyonunun Mimari Tasarım Stüdyosuna Entegrasyonu* [Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=7nLFIMQ0kt9uM_VeGvSZmw&no=fd6XrCedvETL13Ky-Z2idw
- Hong, T., Chou, S. K., & Bong, T. Y. (2000). Building simulation: an overview of developments and information sources. *Building and Environment*, 35, 347–361.
- Hui, S. C. M. (1998). Simulation Based Design Tools for Energy Efficient Buildings in Hong Kong. *Hong Kong Papers in Design and Development*, 1, 40–46.
- Hunn, B. D. (1996). *Fundamentals of Building Energy Dynamics*. The MIT Press.
- Kazanasmaz, T., & Diler, Y. (2011). *Gelişmiş Cam Teknolojileri ile Enerji Etkinliğin Değerlendirilmesi*. VI. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu Ve Sergisi Bildirileri.
- Kılıç, S. E. (2021). *Okul Öncesi Eğitim Yapılarında Enerji Etkin İyileştirme Stratejileri*. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Koca, Ö. (2006). *Sıcak Kuru ve Sıcak Nemli İklim Bölgelerinde Enerji Etkin Yerleşme ve Bina Tasarım İlkelerinin Belirlenmesine Yönelik Yaklaşım*. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Koçlar Oral, G. (2007). Ekolojik Yaklaşımında İklimle Dengeli Cephe Tasarımı. *Tasarım Dergisi*, 170, 110–114.
- Koçlar Oral, G. (2010). Güneş enerjisi ve yapı. *TMMOB Mimarlar Odası Diyarbakır Şubesi Diyarç Bülteni*, 1, 8–20.
- Kwok, A. G., & Grondzik, W. T. (2007). The green studio handbook: Environmental strategies for schematic design. *ARCC Journal*, 4(2), 43–51.
- Lamarca, C., Qüense, J., & Henríquez, C. (2016). Thermal comfort and urban canyons morphology in coastal temperate climate, Concepción, Chile. *Urban Climate*, 23, 159–172.

- Larsson, N. (2009). The Integrated Design Process; History and Analysis. *International Initiative for a Sustainable Built Environment (IiSBE)*, 1–16.
- Manioğlu, G. (2002). *Isıtma Enerjisi Ekonomisi ve Yaşam Dönemi Maliyeti Açısından Uygun Bina Kabuğu ve İşletme Biçimi Seçeneğinin Belirlenmesinde Kullanılabilecek Bir Yaklaşım*. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Moons, E. (2003). The development and application of economic valuation techniques and their use in environmental policy - A survey. *Center for Economic Studies -Energy, Transport&Environment*.
- Ofluoğlu, S. (2018). *Performansa Dayalı Mimari Tasarım*. http://www.sayisalmimar.com/kurslar/beykent/bpa_01_seminer.pdf
- Özdemir, B. B. (2005). *Sürdürülebilir Çevre İçin Binaların Enerji Etkin Pasif Sistemler Olarak Tasarlanması*. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Raymond, J. C., & Kernan, P. C. (1996). Life-Cycle Energy Use in Office Buildings. *Building and Environment*, 31(4), 307–317.
- Schittich, C. (2001). *Building Skins: Concepts, Layers, Materials, Edition Detail*. Institut für internationale Architektur- Dokumentation GmbH, Birkhäuser Publishers for Architecture.
- Sciuto, S. (1998). Solar Control: An integrated approach to solar control techniques. *Renewable Energy*, 15(1–4), 368–376.
- Seddon, J. (1993). Green Architecture: Design for a Sustainable Future. *Journal of Design History*, 6(3), 217–218. <https://doi.org/10.1093/JDH/6.3.217>
- Şenyurt, S. U. (2018). *Ofis Yapıları İçin Yapı Kabuğu Tasarım Parametrelerinin Enerji Tüketimine Etkisini Belirlemede Kullanılabilecek Bir Yaklaşım*.
- Serginson, M., Mokhtar, G., & Kelly, G. (2013). A Theoretical Comparison of Traditional and Integrated Project Delivery Design Processes on International BIM Competitions. *International Journal of 3-D Information Modeling (IJ3DIM)*, 2(4), 52–64.
- Sev, A., & Canbay, S. (2009). Dünya Geneline Uygulanan Yeşil Bina Değerlendirme ve Sertifika Sistemleri. *Yapı Dergisi-Yapıda Ekoloji Eki*, 329(42).
- Sevim, N. (2017). *Atriyumlu Yapılarda Doğal Havalandırma*. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Sivil Mimari Bellek. (2014). *Sivil Mimari Bellek Ankara 1930-1980*. Koç Üniversitesi Vehbi Koç Ankara Araştırmaları Uygulama ve Araştırma Merkezi VEKAM .
- Soysal, S. (2008). *Konut Binalarında Tasarım Parametreleri ile Enerji Tüketimi İlişkisi* [Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].

https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=GVenSNG2FLn7xEI4B62f8Q&no=4R2IS013Sy_PTQhSErZOqA

- Tankut, G. (1988). Ankara'nın Başkent Olma Süreci. *ODTÜ Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 08(2), 93–104.
- Tıkır, A. (2009). *İstanbul'da Mevcut Bir Konutun Dış Kabuğunun Enerji Etkin Yenilenmesi ve Ekonomik Etkinliğinin Değerlendirilmesine Yönelik Bir Çalışma* [İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
<https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=GtKOXP05ZISChIVoJoIUlg&no=v9A4NgHKGdNuoPk985BvYw>
- URL-1. (2023). *International Energy Outlook 2017*.
[https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\(2017\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2017).pdf)
- URL-2. (2023). *IEA, Buildings*. <https://www.iea.org/topics/buildings>
- URL-3. (2023). *Architecture 2030*. <https://architecture2030.org/>
- URL-4. (2002). *Dünya Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi (Johannesburg, 26 Ağustos - 4 Eylül 2002)*. T.C. Dışişleri Bakanlığı. https://www.mfa.gov.tr/dunya-surdurulebilir-kalkinma-zirvesi_johannesburg_-26-agustos---4-eylul-2002_.tr.mfa
- URL-5. (2023). *Thermal and acoustic insulation of exterior walls with ThermaCork by the outside of wall - External Thermal Insulation System*.
<http://www.thermacork.com/external-walls>
- URL-6. (2023). *3 Main Benefits of Low E Windows*.
<https://harveywindows.com/inspiration/ideas-advice/3-main-benefits-of-low-e-windows-harvey-windows-doors>
- URL-7. (2023). *Güneş Kontrolü: Güneş Kırıcı ve Rafları*. <https://gksdergisi.com/gunes-kontrolu-gunes-kirici-ve-raflari/>
- URL-8. (2023). *Solar Technologies*. <https://energyresearch.ucf.edu/consumer/solar-technologies/>
- URL-9. (2023). *Building Designs With Dynamic Facades*.
<https://www.homedit.com/building-with-dynamic-facades/>
- URL-10. (2023). *LEED*. <https://www.usgbc.org/leed>
- URL-11. (2023). *BREEAM*. <https://bregroup.com/products/breeam/why-breeam/>
- URL-12. (2023). *CASBEE*. <https://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/methodE.htm>
- URL-13. (2023). *iiSBE*. <https://www.iisbe.org/about>
- URL-14. (2023). *ASHRAE*. <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-90-1>

- URL-15. (2023). *Yerli Yeşil Sertifika Sistemi YES-TR*.
<https://meslekihizmetler.csb.gov.tr/binalar-ve-yerlesmeler-icin-yesil-sertifika-yes-tr-egitimi-duyuru-420706>
- URL-16. (2023). *Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği*. <https://cedbik.org/tr/yesil-bina>
- URL-17. (2023). *TS 825*. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2008/08/20080826-7-1.doc>
- URL-18. (2023). *Enerji Verimliliği Denetim Yönetmeliği*.
<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=24729&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>
- URL-19. (2023). *Paris Anlaşması*. <https://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa>
- URL-20. (2019). *The Paris climate agreement is at risk of falling apart in the 2020s*.
<https://www.vox.com/energy-and-environment/2019/11/5/20947289/paris-climate-agreement-2020s-breakdown-trump>
- URL-21. (2023). *Net Zero by 2050*. <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>
- URL-22. (2023). *DesignBuilder*. <https://designbuilder.co.uk/helpv7.0/>
- URL-23. (2023). *Ankara Valiliği - Genel Coğrafya ve Yeryüzü Şekilleri*.
<http://www.ankara.gov.tr/genel-cografya-ve-yeryuzu-sekilleri>
- URL-24. (2023). *Ankara Tarihçe ve Diğer Bilgiler*. <https://ankara.ktb.gov.tr/TR-152389/ankara-tarihce-ve-diger-bilgiler.html>
- URL-25. (2023). *Meteoroloji Genel Müdürlüğü - Resmi İstatistikler*.
<https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx>
- Utkuğu, G. S. (1999). *Binayı Oluşturan Sistemler Arasındaki Etkileşim ve Ekip Çalışmasının Önemi Mimar Tesisat Mühendisi İş Birliği*.
- Verbeeck, G. (2007). *Optimizing of extremely low energy residential building*. Catholic University of Leuven.
- Yılmaz, Z. (2006). Akıllı Binalar ve Yenilenebilir Enerji. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 91, 7–15. <https://silo.tips/download/akll-binalar-ve-yenilenebilir-enerji>
- Yılmaz, Z. (2012). Bina Performans Modelleme ve Simülasyonları. *Eko Yapı Dergisi*.
<https://www.ekoyapidergisi.org/bina-performans-modelleme-ve-simulasyonlari>
- Zeren, L., Berköz, E., & Küçükdoğu, M. (1987). *Türkiyede yeni yerleşmeler ve binalarda enerji tasarrufu amacıyla bir mevzuat modeline ilişkin çalışma*.
- Zimmerman, A., & Eng, P. (2006). *Integrated Design Process Guide*. Ottawa: Canada Mortgage and Housing Corporation.

Zorer, G. (1992). Yapılarda ısısal tasarım ilkeleri. *Yıldız Teknik Üniversitesi (YTÜ) Mimarlık*.