



**MEVCUT BİR EĞİTİM YAPISINDA ENERJİ ETKİN BİR
İYİLEŞTİRME YAKLAŞIMI**

Özlem GÜLAÇMAZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin BAŞDEMİR
Nisan - 2021**

Her hakkı saklıdır

T.C.
TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEVCUT BİR EĞİTİM YAPISINDA ENERJİ ETKİN BİR
İYİLEŞTİRME YAKLAŞIMI

ÖZLEM GÜLAÇMAZ

TOKAT
Nisan - 2021

Her hakkı saklıdır

TEZ BEYANI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

Özlem GÜLAÇMAZ

7 Nisan 2021

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEVCUT BİR EĞİTİM YAPISINDA ENERJİ ETKİN BİR İYİLEŞTİRME YAKLAŞIMI

ÖZLEM GÜLAÇMAZ

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ HÜSEYİN BAŞDEMİR)

Sanayi devrimi ve sonrasında hızla gelişen şehirler, teknolojik gelişmeler fosil kaynak kullanımının artmasına neden olmuştur. İnsanların konfor alanlarından ödün vermemesi ve fosil kaynak kullanımının bilinçsizce artması çevre sorunlarını da beraberinde getirmiştir. Ülkemiz fosil yakıtları ithalat yoluyla karşılamakta bu durum ülke ekonomisini zorlamaktadır. Yapı sektörü, yapım ve kullanım aşamaları göz önüne alındığında ülkemizde ve dünyada enerji tüketiminde önemli bir paya sahiptir. Mevcut yapıların enerji etkin hale dönüştürülmesinde iki yöntem bulunmaktadır. İlk olarak mevcut yapının yıkılıp yeniden yapılması yöntemi, diğeri ise mevcut yapının uygun enerji etkin tasarım kriterleri doğrultusunda iyileştirilmesidir. Yapının tamamen yıkılıp yeniden yapılması, iyileştirme çalışmalarına göre hem daha maliyetli hem de atmosfere saldığı CO₂ miktarı fazladır. Bu tez çalışmasında mevcut bir yapının YBM (Yapı Bilgi Modelleme) ve BEM (Bina Enerji Modelleme) aracılığıyla ısıtma enerjisi analiz edilmiştir. Pasif ve aktif sistemler incelenmiş ve yapılarda uygulanabilirliğine değinilerek yenilenebilir enerji kullanımı değerlendirilmiştir. Yapının genel özellikleri, dış çevre özellikleri, bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri hakkında bilgi verilmiştir. Pasif sistemler olarak yapının; pencerelerinde ve dış duvarlarında farklı U değerine sahip alternatiflerin ısıtma enerjisi üzerine etkisi irdelenmiş ve yapı bileşenlerine ait U değeri düştükçe yapının ısıtma enerjisi kullanımının azaldığı gözlemlenmiştir. Yapının cephelerinin pencere-duvar oranlarında değışiklikler yapılarak enerji değışimi incelenmiş ve pencere yüzey alanı arttıkça yapının ihtiyaç duyduğu ısıtma enerjisi de artmıştır. Aktif sistemler olarak da yapıya PV paneller eklenmiş, HVAC işletim sisteminde yüksek verimli sistemler tercih edilmiş ve simülasyon sonuçları irdelenmiştir.

2021, 80 SAYFA

ANAHTAR KELİMELE: Aktif ve Pasif Sistemler, BEM, Enerji Etkin Tasarım, YBM,

ABSTRACT

MASTER THESIS

AN ENERGY EFFICIENT APPROACH IMPROVEMENT IN AN EXISTING EDUCATIONAL STRUCTURE

Özlem GÜLAÇMAZ

**TOKAT GAZİOSMANPAŞA UNIVERSITY
INSTITUTE GRADUATE STUDIES**

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

(SUPERVISOR: ASSIST. PROF. HÜSEYİN BAŞDEMİR)

Rapidly developing cities and technological developments after the industrial revolution caused an increase in the use of fossil resources. The fact that people do not compromise their comfort areas and the unconscious increase in the use of fossil resources have brought environmental problems. Our country supplies fossil fuels through imports, which makes the country's economy difficult. The building sector has an important share in energy consumption in our country and in the world, considering the construction and usage stages. There are two methods for transforming existing structures into energy efficient. First is the method of demolishing and rebuilding the existing building, and the other is the improvement of the existing building in line with the appropriate energy efficient design criteria. Completely demolishing and rebuilding the building is both more costly and the amount of CO₂ emitted into the atmosphere compared to the improvement works. In this thesis, the heating energy of an existing building has been analyzed through BIM (Building Information Modeling) and BEM (Building Energy Modeling). Passive and active systems have been examined and the use of renewable energy has been evaluated, with reference to their applicability in buildings. General features of the building, external environmental features, optical and thermophysical properties of the building envelope were given. As passive systems, the building; The effect of alternatives with different U values on the windows and outer walls on the heating energy was examined and it was observed that the lower the U value of the building components, the lower the heating energy use of the building. The energy change was examined by making changes in the window-wall ratios of the facades of the building, and as the window surface area increased, the heating energy required by the building increased. PV panels were added to the structure as active systems, high efficiency systems were preferred in the HVAC operating system and the simulation results were examined.

2021, 80 PAGES

KEYWORDS: Active and Passive Systems, BEM, BIM, Energy Efficient Design

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim ve tez süreci boyunca güler yüzü ve sabrı ile bana her konuda yardımcı olan, değerli hocam, tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin BAŞDEMİR 'e teşekkürlerimi sunarım.

Bu günlere gelmemde emeği çok olan ve destekleri ile her daim yanımda olan canım anneme, canım babama, kardeşlerime, tez çalışmamın her anında destek veren sevgili eşime ve biricik kızım Elif Mercan'a sevgilerimi sunarım.



Özlem GÜLAÇMAZ

7 Nisan 2021

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGE VE KISALTMALAR	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARLIK ve ENERJİ	3
2. 1. Sürdürülebilir Mimarlık	3
2. 2. Enerji	4
2. 3. Enerji Kaynakları.....	6
2.3.1. Yenilenemeyen enerji kaynakları	6
2.3.2. Yenilenebilir enerji kaynakları	8
2.4. Türkiye'nin İklim Değişikliği Sebebiyle Taraf Olduğu Uluslararası	
Sözleşme ve Protokoller	12
3. ENERJİ ETKİN BİNA TASARIM PARAMETRELERİ ve YBM	
KULLANIMI	14
3.1.Erken Tasarım Aşamasında Pasif Tasarım Kriterleri	14
3.1.1. Yapının konumu ve yönü	14
3.1.2. Yapının formu	15
3.1.3. Yakın çevre bina aralık ve yükseklikleri	17
3.1.4. Yapı kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri	17
3.1.5. Güneş kontrol sistemleri	20
3.1.6. Doğal aydınlatma	21
3.1.7. Doğal havalandırma	22
3.2.Mimaride Pasif Isıtma Sistemleri	23

3.2.1. Trombe duvarı kullanımı	24
3.2.2. Güneş odaları (Seralar)	25
3.2.3. Çakıl yatağı	25
3.2.4. Su kütlesi	26
3.3. Pasif Soğutma Sistemleri	29
3.4. Mimaride Aktif Sistemler	29
3.5. Kaynak Özetleri	32
4. MATERYAL ve YÖNTEM.....	37
4.1. YBM Aracılığıyla Mevcut Bir Yapının Isıtma Enerjisi Analizi	37
4.1.1. Analiz edilen yapının genel özellikleri ve tanıtımı	37
4.1.2. Yapıya ilişkin değişkenler	43
4.1.3. Kullanıcı bilgileri	45
4.1.4. Dış çevreye ilişkin değişkenler	45
4.2 YBM ile Yapının 3 Boyutlu Modelinin Yapılması	51
4.2.1. Autodesk Revit ile yapı modeli oluşturma ve enerji analizi	
ayarları	51
4.2.2. Autodesk Insight 360 eklentisi ile enerji analizi.....	55
4.BULGULAR.....	57
5.1. İncelenen Yapının Isıtma Enerjisi Analizi	57
5.1.1. Yapı dış duvarları için farklı U değer alternatiflerin	
ısıtma enerjisi kullanımına etkisi	60
5.1.2. Cephelelerdeki saydam yüzey oranlarının ısıtma enerjisi.....	
kullanımına etkisi	62
5.1.3. Saydam yüzey elemanları için farklı alternatiflerin ısıtma	
enerjisi kullanımına etkisi	66
5.1.4. Aktif sistem alternatifleri ve ısıtma enerjisi kullanımına	
etkisi	67
5.1.5. İncelenen yapı için alternatif bir yenileme senaryosu	69
6. SONUÇ ve ÖNERİLER	71
KAYNAKLAR	74
ÖZGEÇMİŞ	79

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Açıklama

CO₂

Karbondiyoksit

U

Toplam ısı geçirgenlik katsayısı (W/m²K)

°C

Derece Celcius

Kısaltmalar

Açıklama

ASHRAE

Amerikan Isıtma Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri
Derneği

BEM

Building Energy Modeling-Bina Enerji Modellemesi

BIM

Building Information Modeling (Yapı Bilgi Modelleme

cm

santimetre

COP

Performans katsayısı

EER

Enerji verim oranı

EUI

Enerji Kullanım Yoğunluğu

h

saat

HSPF

Isıtma sistemi performans faktörü

HVAC

Isıtma, Soğutma, Havalandırma ve İklimlendirme

IPCC

Hükümetler arası iklim değişikliği paneli

kWh

kilowatt saat

Low-E

Düşük emisyon

Lux

Aydınlatma şiddeti birimi

m²

metrekare

MMO

Makine Mühendisleri Odası

PTAC

Paket Terminal Isı Pompası

PV	Photovoltaic Panel
SEER	Mevsimlik enerji verim oranı
SRI	Güneş ışığı yansıtma endeksi
TEP	Ton eşdeğer petrol
TSE	Türk Standardları Enstitüsü
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
tWh	Terawatt saat
U _D	Duvar bileşeninin toplam ısı geçirme katsayısı
U _T	Tavan bileşeninin toplam ısı geçirme katsayısı
U _t	Taban bileşeninin toplam ısı geçirme katsayısı
U _p	Pencere bileşeninin toplam ısı geçirme katsayısı
UNEP	Birleşmiş milletler çevre programı
VAV	Variable Air Volume (Değişken Hava Hacimli)
vd.	ve diğerleri
W	Watt
y	yıl
YBM	Yapı Bilgi Modelleme

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. 2018 yılı kaynaklara göre enerji tüketim oranları	5
Şekil 2.2. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması	6
Şekil 2.3. TÜİK Sera Gazı Emisyon İstatistikleri, 1990-2018	7
Şekil 2.4. Dünyada ve Türkiye’de yenilenebilir enerji çeşitleri ve kaynakları	9
Şekil 3.1. Farklı iklim bölgeleri için uygun arazi yerleşimi	15
Şekil 3.2. Yapı formlarının ısıtma enerjisi üzerine etkisi	16
Şekil 3.3. Kuzey-güney doğrultusunda ve doğu-batı doğrultusunda	
konumlandırılan yapı formlar	16
Şekil 3.4. İmar planı ve güneş ışınlarından yararlanma	17
Şekil 3.5. Gün ışığından yararlanmada kullanılan farklı teknikler	22
Şekil 3.6. Çapraz havalandırma seçeneklerinin yapı planında gösterimi	23
Şekil 3.7. Trombe duvarı çalışma prensibi	24
Şekil 3.8. Trombe duvarının gece ve gündüz çalışma prensibi	25
Şekil 3.9. Güneş odalarının pasif ısıtma sistemi olarak kullanılması	25
Şekil 3.10. Pasif sistem olarak çakıl yatağının çalışma prensibi	26
Şekil 3.11. Pasif sistem olarak Çatı havuzunun gece/gündüz ve yaz/kış	
uygulama yöntemleri	27
Şekil 3.12. Pasif sistemlerde su duvarı uygulama örneği	28
Şekil 3.13. Su duvarı uygulanmış örneği	28
Şekil 3.14. Yapıya eklenmiş rüzgar türbinleri ve kütle ilişkisi	30
Şekil 3.15. Yapı ile bütünleşmiş rüzgâr türbin örnekleri	30
Şekil 3.16. Çatı örtüsüne monte edilmiş PV uygulaması örneği	31
Şekil 4.1. İncelenen Kavak MYO eğitim binası bodrum kat planı	38
Şekil 4.2. İncelenen Kavak MYO eğitim yapısı zemin kat planı	39
Şekil 4.3. İncelenen yapı kuzey yönü öğrenci girişi	39
Şekil 4.4. İncelenen yapının kuzey doğu cephesi	40

Sayfa

Şekil 4.5. İncelenen yapının kuzeybatı cephesi	40
Şekil 4.6. İncelenen yapının güneybatı cephesi	40
Şekil 4.7. İncelenen yapının güneydoğu cephesi	41
Şekil 4.8. İncelenen yapının doğu yönü ana girişi	41
Şekil 4.9. İncelenen yapının ana girişi ve ana girişten iç mekana bakış	42
Şekil 4.10. İncelenen yapının kafeterya önü ve hol (bodrum kat)	42
Şekil 4.11. İncelenen yapının bodrum kata inen merdiveni ve hol (bodrum kat) ..	42
Şekil 4.12. İncelenen yapının yakın çevresi ile görünümü (Google Earth)	43
Şekil 4.13. Bodrum kat planı şematik gösterim	44
Şekil 4.14. Zemin kat planı şematik gösterim	44
Şekil 4.15. İncelenen yapı kullanım periyodu grafiği	45
Şekil 4.16. Samsun ilinin 1929-2019 tarihlerinde aylara göre ortalama	
sıcaklık ve yağış tablosu	46
Şekil 4.17. 21 Aralık tarihinde; 9.00 ve 15.00 saatleri için yapılan güneş.....	
ve gölge analizleri	47
Şekil 4.18. 21 Haziran tarihinde; 9.00 ve 15.00 saatleri için yapılan güneş	
ve gölge analizleri	48
Şekil 4.19. İncelenen yapı bodrum kat ve zemin kat, 21 Aralık saat 09.00 için	
iç mekan gün ışığı analizi	49
Şekil 4.20. İncelenen yapı bodrum kat ve zemin kat, 21 Haziran saat 09.00 için....	
iç mekan gün ışığı analizi	50
Şekil 4.21. Yapı dış duvar katmanları detaylı modelleme penceresi	51
Şekil 4.22. Revit'te yapının detaylı modelinin oluşturulması, yapı elemanı.....	
katmanları ve termal özelliklerin gösterimi	52
Şekil 4.23. İncelenen yapının model görseli	52
Şekil 4.24. İncelenen yapının model görseli	53
Şekil 4.25. Autodesk Revit Analyze sekmesi gösterimi	53
Şekil 4.26. Revit Energy Settings parametreleri	54
Şekil 4.27. Revit Advanced Energy Settings parametreleri	54

Şekil 4.28. Yapının enerji ayarları yapıldıktan sonra ki Analytical Spaces	
Görüntüsü	55
Şekil 4.29. Insight 360 yapı elemanları alternatifleri ekranı	56
Şekil 5.1. Autodesk Insight 360 programında, enerji kullanım miktarını	
gösteren ekran	58
Şekil 5.2. Derece gün bölgelerine göre illerimiz	58
Şekil 5.3. Revit programında düzenlenen dış duvar planı ve U değeri	60
Şekil 5.4. Duvar inşaatı-EUI grafiği (kWh/m2/y)	61
Şekil 5.5. Dış duvar için farklı U değerine sahip alternatifler ve enerji	
tüketimine etkisi	62
Şekil 5.6. Autodesk Insight programında pencere-duvar oranı ayarları sayfası...	63
Şekil 5.7. İncelenen yapı kuzey cephesi saydamlık oranları ve enerji tüketim.....	
Değerleri	63
Şekil 5.8. İncelenen yapı güney cephesi saydamlık oranları ve enerji tüketim.....	
Değerleri	64
Şekil 5.9. İncelenen yapı doğu cephesi saydamlık oranları ve enerji tüketim.....	
Değerleri	65
Şekil 5.10. İncelenen yapı batı cephesi saydamlık oranları ve enerji tüketim	
Değerleri	65
Şekil 5.11. İncelenen yapı saydam yüzeyleri için farklı U değerli	
alternatifler ve enerji tüketimlerine etkisi	66
Şekil 5.12. İncelenen yapıda kullanılan HVAC işletim sistemi alternatifleri.....	
ve yıllık ısıtma enerji kullanım miktarına etkisi incelenmiştir	68
Şekil 5.13. Autodesk Insight aracılığı ile yapıya entegre edilen PV panel.....	
ayarları ekranı	68
Şekil 5.14. Autodesk Insight aracılığı ile yapıya entegre edilen PV panel.....	
ayarları ekranı	69
Şekil 5.15. incelenen yapı için alternatif bir yenileme senaryosu.....	
ve ısıtma enerjisi kullanımı değeri	70

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. 2008 ve 2018 yılları kişi başı elektrik ve enerji tüketimi	5
Çizelge 2.2. Türkiye’de kaynağına göre yenilenebilir enerji üretim miktarları....	9
Çizelge 5.1. TS 825’ e göre farklı iklim bölgeleri için azami kabuk U değerleri	59
Çizelge 5.2. İncelenen yapı kabuk bileşenlerinin fiziksel yapıları ve ısı	
geçirme katsayı değerleri	59
Çizelge 5.3. Dış duvar için farklı U değerine sahip alternatifler	61
Çizelge 5.4. Saydam yüzey elemanları alternatifleri ve U değerleri	66
Çizelge 5.5. İncelenen yapı HVAC işletim sistemi alternatifleri	67
Çizelge 5.6. İncelenen yapı; duvar, pencere, HVAC sistem alternatifleri ve.....	
yapıya PV panel eklenmesinin ısıtma enerjisi tüketimine etkisi.....	70

1. GİRİŞ

18. yy 'da yaşanan Sanayi Devrimi ile fosil yakıtların kullanımı hızla artmıştır. İlerleyen teknolojik gelişmeler ve doğal kaynak kullanımının artması beraberinde çevre sorunlarını da getirmiştir.

Sağlık alanındaki gelişmeler ve gıda temin kolaylığı sayesinde insan nüfusu son yıllarda hızla artmıştır. Artan nüfusla birlikte şehirleşmede artmış; yüksek yapılar, kalabalık ve modern şehirlerde yaşamak kişiler için statü haline gelmiştir. Teknolojik gelişmelerin sağladığı konfor alanındaki ihtiyaçların karşılaması için enerji tüketimi de bilinçsizce artmıştır. Bu enerji tüketiminin yaklaşık %85'i fosil enerji kaynaklarından oluşmaktadır.

Yapı sektörü, ülkemizde kullanılan enerjide önemli bir paya sahiptir. İnsanların yapılarda daha fazla zaman geçirmesi ve konfor alanlarından ödün vermemesi, enerji tüketim miktarının giderek artacağını göstermektedir.

Yenilenemeyen enerji kaynakları bakımından ülkemiz dışa bağımlı bir ülkedir. İhtiyaç duyduğu fosil yakıtları ithalat yoluyla karşılamaktadır. 2019 yılında Türkiye'nin toplam ithalatının 41.6 milyar dolarını % 19.8 ile birincil enerji kaynakları ithalatı oluşturmuştur (Anonim, 2020a). Bu durum ülke ekonomimizi olumsuz yönde etkilemektedir.

Yapıların enerji tüketimi tasarım ve yapım aşamasında göz önünde bulundurulması gereken temel kriterlerden biridir. Yapıda bulunan mekânların ısıtılması, soğutulması, havalandırılması ve aydınlatılması ile harcanacak enerji, tasarım ve yapım aşamasında alınan kararların sonucudur. Atmosfere salınan CO₂ gazının büyük kısmından yapılar sorumludur. Yapıların; inşa, kullanım ve yıkım aşamaları yapıya ait CO₂ ayak izini artırmaktadır.

Binalar inşa edilirken enerji etkin tasarım kriterlerine göre yapılabileceği gibi, mevcut binalar da aktif ve pasif sistemler kullanılarak da enerji etkin yapılar haline dönüştürülebilir. Mevcut yapıların yenilenmesinde iki yöntem bulunmaktadır. İlk olarak mevcut yapının yıkılıp yeniden yapılması yöntemi, diğeri ise mevcut yapının uygun

kriterler doğrultusunda iyileştirilmesidir. Yapının tamamen yıkılıp yeniden yapılması, iyileştirme çalışmalarına göre hem daha maliyetli hem de atmosfere saldığı CO₂ miktarı fazladır. İyileştirme çalışması ile uygulanacak enerji etkin sistemler, yeni yapılacak bir yapıya göre kısıtlı olsa da aktif ve pasif enerji etkin tasarım sistemleri mevcuttur.

Bu tez çalışmasının amacı, mevcut bir yüksekokul yapısının enerji etkin tasarım bağlamında aktif ve pasif sistem seçenekleri kullanılarak ısıtma enerjisi kullanım miktarının değerlendirilmesidir. Çalışmalar yapılırken Yapı Bilgi Modelleme- YBM ve Bina Enerji Modellemesi-BEM süreçlerinden yararlanılmıştır.

Giriş bölümünde niçin bu konunun seçildiği irdelenmiş, tez konusu tanımlanmıştır. Tez çalışmasının ikinci bölümünde; kaynak özetleri, sürdürülebilirlik, sürdürülebilir mimarlık, enerji ve enerji kaynaklarına değinilmiştir. Türkiye'nin iklim değışikliği sebebiyle taraf olduğu bazı uluslararası sözleşme ve protokoller açıklanmıştır. Tez çalışmasının üçüncü bölümünde; aktif ve pasif sistemler, enerji etkin bina tasarım parametreleri açıklanmıştır. Tez çalışmasının dördüncü bölümünde; yapının genel özellikleri, tanıtımı, dış çevre özellikleri, bina kabuğunun termofiziksel özelliklerine değinilmiş ve YBM sistemleri açıklanmıştır. Tez çalışmasının beşinci bölümünde; Mevcut yapının 3 boyutlu modeli yapılmış daha sonra web tabanlı yazılımlar aracılığı ile ısıtma enerjisi kullanımı analiz edilmiştir. Pasif sistemler olarak yapının; pencerelerinde ve dış duvarlarında farklı U değere sahip alternatiflerin ısıtma enerjisi üzerine etkisi irdelenmiştir. Yapının cephelerinin pencere-duvar oranlarında değışiklikler yapılarak enerji değışimi incelenmiştir. Aktif sistemler olarak da bina ısıtma sistemi üzerinde değışiklikler yapılmış, PV paneller eklenmiş ve yapılan bu değışikliklerin ayrı ayrı ısıtma enerjisi kullanımına etkisi belirlenmiştir.

2. SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARLIK ve ENERJİ

Sürdürülebilir kavramı ilk olarak 1987 yılında Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu'na hazırlanan Brundtland Raporu'nda "Bugünkü neslin gereksinmelerini, gelecek nesillerin kendi gereksinmelerini karşılama haklarını koruyarak sağlamak" şeklinde tanımlanmıştır (Birleşmiş Milletler Dünya Çevre ve Gelişme Komisyonu, 1991).

Sürdürülebilir enerji; doğal kaynakların bilinçli kullanılması ve gelecek nesillerin de bu kaynaklarda söz hakkı sahibi olduğu bilinci ile hareket edilmesini sağlayan ekolojik çevre yaklaşımıdır (Keleş ve Hamamcı, 1993).

2. 1. Sürdürülebilir Mimarlık

Ekolojik mimarlık şeklinde de adlandırılan sürdürülebilir mimarlık özü itibarıyla doğa ile uyumlu, kendi varlığı için doğayı yok etmeyen bir yaklaşım modelidir.

Sürdürülebilir mimarlık, içinde bulunduğu zaman diliminde ve her koşulda; gelecek nesillerin haklarını gasp etmeden, yenilenebilir kaynak kullanımına öncelik veren ve kullandığı tüm kaynaklardan etkin bir şekilde yararlanabilme faaliyetlerinin tümüdür (Sev, 2009).

Günümüzde artan lüks ve konfor düşkünlüğü insanları, hızla azalan doğal kaynakları korumak için yeni arayışlara itmiştir. Üretim tüketim dengesinde tüketimin hep daha ağır bastığı günümüzde doğal kaynakları korumak zorunluluk haline gelmiştir. Sürdürülebilir mimarlık; kaynak kullanımını minimuma indirmek, çevre ile uyum içinde olmak ve gelecek nesillere daha yaşanabilir dünya bırakmak için yapı sektörünün temel ihtiyaçlarından biridir.

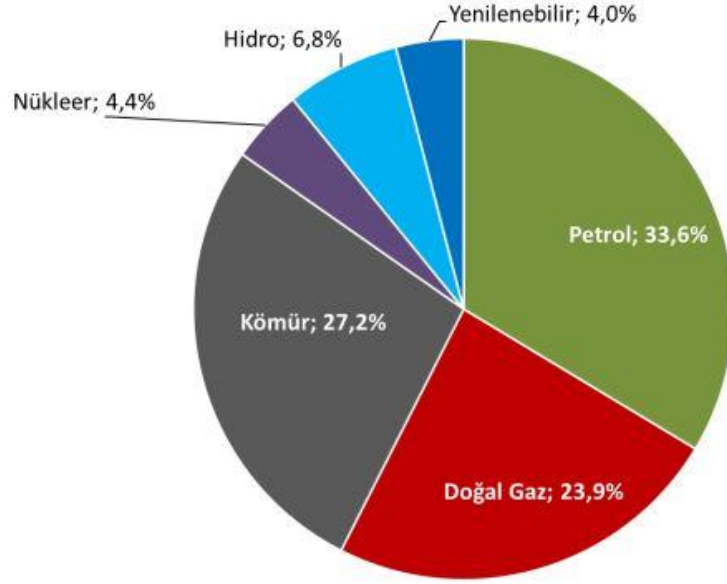
Sürdürülebilir mimarlık kapsamındaki yapılarda, binanın yapım ve kullanım aşamasında kullanılan enerji miktarının en az oranda tutması, ihtiyaç duyduğu enerjiyi gerekli mimari tasarım ve teknolojik donanımlar aracılığı ile sağlayabilmesi beklenmektedir. (Özorhon, 2013). Ülkemizde binaların yapım ve kullanım aşamalarındaki enerji harcamaları göz

ardı edildiği için enerji kullanımı ve sera gazı etkileri oldukça fazladır. Ülkemizdeki konut ve ticari binalarda tüketilen enerjinin %80'i ısıtma amacıyla kullanılmaktadır (Bektaş, 2006). Bu nedenle sanayiden sonra en çok enerji tüketen yapıların enerji etkin tasarlanması önem arz etmektedir.

2. 2. Enerji

Asırlardır hayatın her alanında kullanılan enerji, ilk çağlarda kas gücüne dayanırken günümüzde daha karmaşık olarak karşımıza çıkmaktadır. Günlük yaşantımızda, kullandığımız makinelerin ve elektrikli aletlerin çalışması ve işlevlerini yerine getirebilmesi için enerji bir kaynaktır (Adıyaman, 2012).

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde kullanılan enerjiler, sanayileri ve teknolojik gelişmeleri ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Dünyada %85 oranında enerji kaynağı olarak fosil yakıtlar kullanılmaktadır (şekil 2.1.) (BP Statistical Review of World Energy, Haziran 2019). Bu kaynaklara sahip olmayan ülkeler daimi olarak bu kaynakları ithal etmek zorundadırlar. Ülkemizde 2007 yılında çıkarılan 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu ile enerjinin etkin kullanılması, enerji kullanımından kaynaklı ekonomik yüklerin hafifletilmesi ve çevrenin korunması hedeflenmiştir (Enerji Verimliliği Kanunu). Ayrıca fosil yakıtların kullanıldıkları esnada çıkardıkları sera gazları, küresel ısınmaya sebep olmakta ve geri dönüşü olmayan evre felaketleri yaşanmaktadır. Bu sebeplerden ötürü enerji verimliliği ve yenilenebilir kaynaklardan enerji elde etmek zaruri hale gelmiştir.



Şekil 2.1. 2018 yılı kaynaklara göre enerji tüketim oranları (BP Statistical Review of World Energy, Haziran 2019)

Türkiye'nin de dünya genelinde olduğu gibi enerji ihtiyacı yıllar içinde artmıştır. Özellikle 1980 sonrası sanayinin gelişmesine bağlı olarak hızlı kentleşme ve nüfusun artması ile enerjiye olan talep artmıştır (Mucuk ve Uysal, 2009).

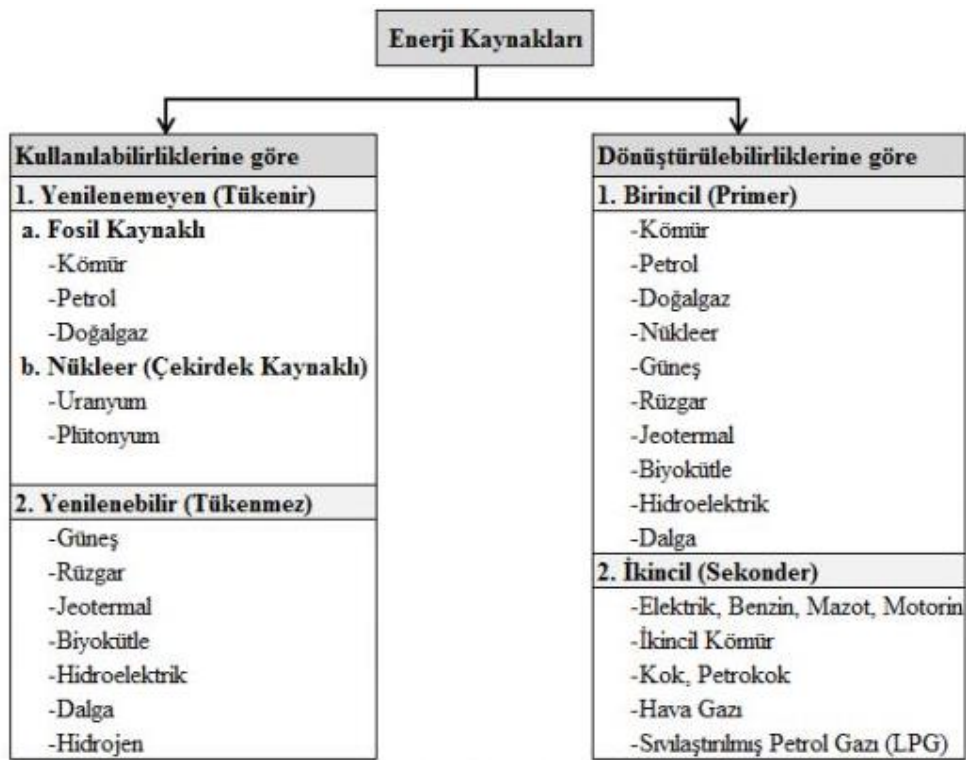
Çizelge 2.1. 2008 ve 2018 yılları kişi başı elektrik ve enerji tüketimi (Anonim, 2020b)

	Nüfus	Kişi Başı Enerji Tüketimi (TEP/Kişi)	Kişi Başı Elektrik Tüketimi (Kwh/kişi)
2008	72 milyon	1 458	2 264
2018	82.004 Milyon	1 751	3 149
2008-2018 % değişim	%13.9	%20	%39

Çizelge 2.1'de, 2008 ve 2018 yıllarında Türkiye'de kişi başı enerji ve elektrik kullanımı verilmiştir. Kişi başı enerji kullanımı on yıl içinde %20, elektrik kullanımı ise %39 artmıştır.

2.3. Enerji Kaynakları

Enerji; elektrik, rüzgâr, termal, hidrolik, güneş, jeotermal, nükleer gibi birçok değişik şekilde bulunup birbirine dönüştürülebilmektedir. Enerji kaynakları dönüştürülebilirliklerine ve kullanılışlarına göre iki ana başlığa ayrılmaktadır. Dönüştürülebilmesine göre, birincil ve ikincil kaynaklar; kullanılışlarına göre ise yenilenebilir ve yenilenemez kaynaklardır (Şekil 2.2).



Şekil 2. 2. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması (Koç ve Şenel, 2013)

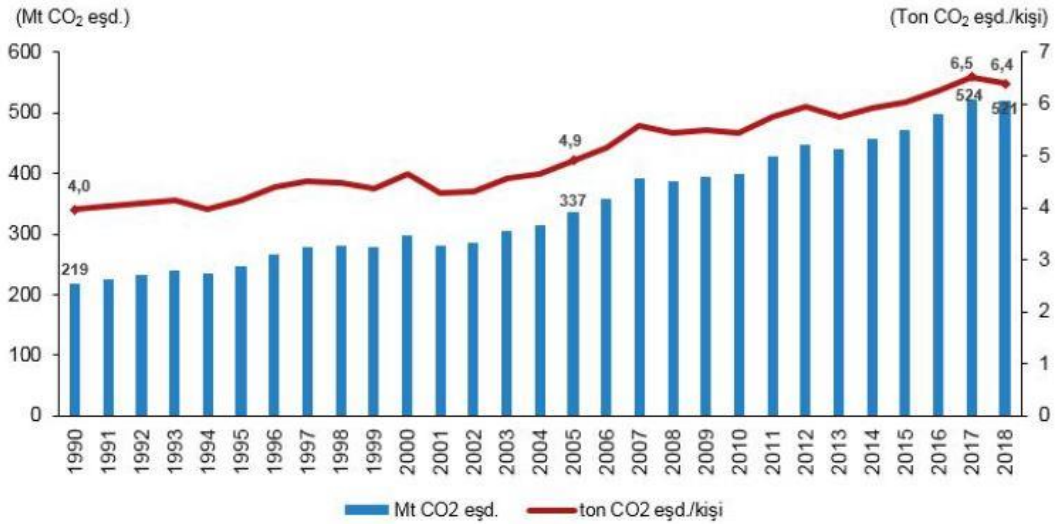
2.3.1. Yenilenemeyen enerji kaynakları

Doğada bulunan sonlu enerji kaynaklarıdır. Yenilenemeyen bu kaynaklar; fosil yakıtlar ve nükleer yakıtlar olarak iki gruba ayrılmaktadır. Kömür, petrol ve doğal gaz; hayvansal ya da bitkisel kalıntıların uzun yıllar yer altında kalmasıyla oluşan fosil enerji kaynaklarıdır. Nükleer enerji kaynakları ise uranyum ve toryum gibi bazı radyoaktif maddelerin çekirdeklerinin parçalanması ile açığa çıkan enerjidir.

Fosil enerji kaynaklarının yanması ile ortaya çıkan atık gazların atmosferde birikmesi sera gazı etkisi yaparak küresel ısınmaya neden olmaktadır. Yeryüzüne ulaşan güneş ışınları, atmosfer katmanındaki yüksek yoğunluklu karbondioksit, metan, azot oksit, ozon gibi sera gazları tarafından tutulur ve atmosferden çıkamaması sera gazı etkisi olarak adlandırılmaktadır (Anonim, 2020c).

Atmosferden çıkamayan güneş ışınları yeryüzünde yansımaya devam eder ve dünyanın ısınıpısını artırmaktadır. Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)'nin 2007 raporunda, iklim değişikliğine büyük oranda sera gazlarının neden olduğu açıklanmış, raporda bu yüzyılın sonuna gelmeden Dünya'nın sıcaklığının 1.1°C ile 6.4°C arasında artacağını ve büyük çaplı doğal afetlerin meydana geleceği vurgulanmıştır. 1980'lerin sonuna doğru atmosferdeki CO₂ sınırı aşılmıştır (Şekil 2.3). Dünyadaki sıcaklık 2.2°C yükselmiştir. Bu durumuna %76 oranında gelişmiş ülkeler sebep olmaktadır (Lechner, 2009). Atmosfere salınan CO₂ ve ısınmanın en büyük sebebi fosil yakıtlar olan kömür, petrol ve doğal gazın kullanımındır.

Toplam ve kişi başı sera gazı emisyonu, 1990-2018



Şekil 2. 3. TÜİK Sera Gazı Emisyon İstatistikleri, 1990-2018 (Anonim, 2020d)

Bu dönemde toplam emisyonlarda CO₂ eşdeğeri olarak en büyük payı %72.2 ile enerji kaynaklı emisyonlar alırken, bunu sırasıyla %12.6 ile endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı, %11.9 ile tarımsal faaliyetler, %3.3 ile atık takip etti.

2018 yılında atmosfere salınan toplam CO₂'nin %35.5'i elektrik ve ısı üretiminden olmak üzere %85.8'i enerji sektöründen, %13.9'u endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı sektöründen, %0.3'ü ise tarım ve atık sektöründen kaynaklanmıştır (Anonim, 2020d).

2017'de toplam CO₂ emisyonlarının %34'ü elektrik ve ısı üretiminden olmak üzere %86.3'ü enerjiden, %13.4'ü endüstriyel işlemler ve ürün kullanımından, %0.3'ü tarımsal faaliyetler ve atıktan kaynaklandı (Anonim, 2019).

2.3.2. Yenilenebilir enerji kaynakları

Yenilenebilir enerji diğer bir adıyla temiz yani doğayı kirletmeyen enerjidir. Güneş, rüzgâr, akarsular, jeotermal gibi dünyamızda var olan, sonlu olmayan kaynaklardan elde edilen enerjilerdir. Fosil ve nükleer enerji kaynaklarının aksine yenilenebilir enerji kaynakları kullanıldıklarında çevreye zararlı atıklar vermez zararları da yenilenemez enerji kaynakları ile kıyaslandığında yok denecek kadar azdır. Günden güne artan enerji ihtiyacını karşılamak için fosil kaynaklar yetersiz kalmaktadır. Bunun en iyi örneği 1970'lerde yaşanan petrol krizidir. Bu kriz sonucunda yenilenebilir kaynakların önemi artmıştır. Günümüzde yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı günden güne artsa da enerji kullanımındaki büyük pay yine fosil yakıtlarıdır. Türkiye'nin jeopolitik konumu ve coğrafi yapısı sebebiyle yenilenebilir enerji potansiyeli birçok Avrupa ülkesinden daha fazladır. Ülkemiz özellikle hidrolik, rüzgâr, jeotermal ve güneş enerjisi kaynaklarından yana avantajlıdır (Şekil 2.4). Yenilenebilir kaynak kullanımında ülkemiz, potansiyelinin çok altında kalmaktadır. Bu alanda yapılan teknolojik yenilikler, politikalar ve teşvikler sayesinde ülkemiz sahip olduğu yenilenebilir enerji kaynağı kullanımına öncelik vermektedir (Karagöl ve Kavaz 2017). Türkiye'de 2009 yılında 2.2 tWh yenilenebilir enerji üretilirken 2019 yılında büyük bir artışla 45.3 tWh olmuştur (Çizelge 2.2). Dünya genelinde ise 2009 yılında 636.7 tWh iken 2019 yılında 2085.5 tWh olmuştur (BP Statistical Review of World Energy 2020).

Çizelge 2.2. Türkiye’de kaynağına göre yenilenebilir enerji üretim miktarları (BP Statistical Review of World Energy 2020)

	Rüzgâr (tWh)	Güneş (tWh)	Diğer (tWh)	Toplam (tWh)
2018	19.9	7.8	10.1	37.8
2019	21.7	10.9	12.7	45.3
2018- 2019 % değişim	%8.8	%40	%26.1	%19.8

Yenilenebilir Enerji Çeşitleri	Enerjinin Kaynağı
Güneş Enerjisi	Güneş
Rüzgar Enerjisi	Rüzgar
Jeotermal Enerji	Yer Altı Suları
Biyokütle Enerjisi	Biyolojik Atıklar
Hidroelektrik Enerji	Nehir ve Akarsular
Dalga Enerjisi	Okyanus ve Denizler
Hidrojen Enerjisi	Su ve Hidroksitler

Şekil 2.4. Dünyada ve Türkiye’de yenilenebilir enerji çeşitleri ve kaynakları (Anonim, 2020b)

Güneş enerjisi

Güneş dünya üzerinde oluşan tüm kaynakların, ana kaynağıdır. Son 50 yıl içinde güneş enerjisinden yararlanılması için teknolojiler geliştirilmiştir. Geliştirilen bu teknolojiler enerji kullanım maliyetini düşürdüğünden tercih edilmiştir. Böylelikle çevre dostu ve temiz enerji kaynağı olan güneş enerjisinin kullanımı da artmıştır. Güneş enerjisinin kullanım alanları arasında, doğrudan veya dolaylı elektrik üretimi, sıcak su elde edilmesi, alan ısıtma ve soğutma, sanayi kuruluşları için proses ısı enerjisi ve sera ısıtması sayılabilir.

Güneş hücreleri: Fotovoltaik (PV) güneş elektriği sistemleri de denilen güneş hücreleri, yarı iletken malzemelerden yapılmış olup, güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine çevirirler.

Isıl güneş teknolojileri ve odaklanmış güneş enerjisi (CSP): Güneş enerjisinden ısı elde edilen bu sistemlerde, ısı doğrudan kullanılabilceği gibi elektrik üretiminde de kullanılabilir (Anonim, 2020b).

Rüzgâr enerjisi

Rüzgâr, güneş ışınlarının yer yüzeyini farklı ısıtmasından kaynaklanır. Yer yüzeyinin farklı ısınması, havanın sıcaklığının, neminin ve basıncının farklı olmasına, bu farklı basınç da havanın hareketine neden olur. Dünyaya ulaşan güneş enerjisinin yaklaşık %2'si kadarı rüzgâr enerjisine dönüşür. Rüzgâr türbinleri, rüzgâr enerji santrallerinin ana yapı elemanı olup hareket halindeki havanın kinetik enerjisini öncelikle mekanik enerjiye ve sonrasında elektrik enerjisine dönüştüren makinelerdir. Rüzgâr enerjisi, temiz ve çevre dostu enerji kaynağıdır. Rüzgâr tribünleri kurulumu yüksek maliyet gerektirmesine karşın sonrasında işletme ve bakım maliyeti düşüktür, kaynaklarının tükenme riski yoktur (Anonim, 2020b). Dezavantajları ise, gürültü kirliliği oluşturması ve kuşların göç yolları üzerinde olmasıdır.

Jeotermal enerji

Jeotermal enerji, yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısı ve basıncın oluşturduğu sıcaklıkların; bölgesel atmosferik ortalama sıcaklığın üzerinde olan ve çevresindeki yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla çözülmüş mineraller, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen sıcak su, buhar ve gazlar ile yüzeye taşınan ısı enerjisidir. Jeotermal enerji kullanım alanları; elektrik üretimi, ısı üretimi, termal turizm ve sağlık amaçlıdır. Türkiye jeotermal potansiyeli bakımından Avrupa'nın 1. ülkesi ve kurulu güç bakımından ise Dünyanın 4. ülkesi konumundadır. Jeotermal enerjiden elektrik üretiminde ilk beş ülke; ABD, Endonezya, Filipinler, Türkiye ve Yeni Zelanda şeklindedir (Anonim, 2020b).

Biyokütle enerjisi

Biyokütle enerjisi bitkiler ve canlı organizmalar ile tarım ve sanayi atıklarının ya da bu atıkların bazı süreçlerden geçirilmesiyle elde edilen biyoyakıtların yakılması sonucu elde edilen enerjidir (Gökay, 2019). Biyoyakıtlara; yağlı tohumlu bitkiler, şeker ve nişasta bitkileri, bitkisel ve tarımsal atıklar, hayvan dışkıları, sanayi ve gıda atıkları, odun ve orman atıkları örnek verilebilir (Anonim, 2020b). Biyoyakıtlar çok uzun yıllarda oluşmadığı için kullanılırken de fosil yakıtlar kadar CO₂ salınımı yapmaz. Özellikle kırsal kesimlerde geleneksel olarak kullanılan biyokütle enerjisi, yemek pişirilmesi, ısınma vb. gibi ihtiyaçların karşılanmasında kullanılır.

Hidroelektrik enerji

Suyun kinetik enerjisinden elde edilir. Yağmur ve kar sularının beslediği akarsuların üzerine kurulan hidroelektrik santrallerde suyun sahip olduğu kinetik enerji elektrik enerjisine dönüştürülür. Ülkemiz engebeli ve yüksek yapısı sebebiyle hidroelektrik enerji potansiyeli oldukça yüksektir.

Dalga enerjisi

Okyanus ve denizlerin üzerinde oluşan rüzgârlar sonucu meydana gelen dalgalardan elde edilen yenilenebilir enerji kaynağıdır. Dalgaların oluşumunu etkileyen rüzgârlar kesilse de dalgalar devamlıdır. Güneş ve rüzgârdan enerji elde etmek için özdeş zaman diliminin %20'si kullanılabilirken dalga enerjisi elde etmek için zamanın %90 ı kullanılabilir (Pelc ve Fujita, 2002). Dalgaların aşağı ve yukarı yöndeki hareketlerinin jeneratörleri çalıştıran dönme hareketine dönüştürülmesiyle elektrik enerjisi elde edilir. Güneşe ve aya bağlı suların çekilmesi ve yükselmesiyle oluşan gelgit, okyanus ve denizlerden elde edilen diğer bir enerji çeşididir (Gökay, 2019).

Hidrojen enerjisi

Renksiz ve kokusuz olan hidrojen dünyada en yaygın bulunan elementtir. Hidrojen birim kütle başına sahip olduğu yüksek enerjisi nedeniyle enerji sistemlerinde yakıt olarak kullanılmaktadır. Doğada serbest halde bulunmadığından diğer enerji kaynakları kullanılarak çeşitli yollarla üretilir ve bu nedenle enerji kaynağı yerine enerji taşıyıcısı olarak adlandırılmaktadır. Sentetik yakıt olan hidrojen; su, hava, kömür, doğal gaz gibi üretim kaynaklarına sahiptir. Ancak hidrojen enerjisi ekolojik ve ekonomik kaygılardan dolayı sudan üretimi en doğru seçenektir. Yüksek enerjisi nedeniyle enerji sistemlerinde yakıt olarak kullanılmaktadır. Hidrojen enerjisi; fosil kaynakların hızla tükendiği ve yüksek CO₂ salınımı yaptığı günümüzde temiz enerji kaynağı olarak adlandırılmaktadır (Anonim).

2.4. Türkiye'nin İklim Değişikliği Sebebiyle Taraf Olduğu Uluslararası Sözleşme ve Protokoller

20. yüzyıla kadar dünyada çevre bilinci oluşmamış ve doğal kaynaklar bilinçsizce kullanılmıştır. 1970 de yaşanan petrol krizi ve fosil yakıt kullanımının ekosisteme olan zararları fark edildiğinde 20. yüzyılın çeyreğine gelinmişti. Artan çevre sorunlarına karşı dünya genelinde yerel ve bölgesel çapta birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalar BM öncülüğünde geliştirilmiş ve uluslararası niteliğe kavuşmuştur.

BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS): 1992 yılında oluşturulan sözleşmenin amacı, atmosferdeki sera gazlarının ve insan kaynaklı iklim etkilerinin belli bir seviyede olmasını sağlamaktır. Ekosistemin iklim değişikliğine uyum sağlaması ve ekonomik kalkınmanın sürdürülebilir şekilde gerçekleşmesi hedeflenmektedir. Türkiye sözleşmeye 2004 yılında taraf olmuştur. Türkiye'nin bu sözleşme ile ilgili olarak; iklim değişikliği ile mücadele etmek için politika geliştirme, uygulamak ve mevcut sera gazı emisyonları ile ilgili bilgileri BMİDÇS ile paylaşmak yükümlülükleri bulunmaktadır. (Anonim, 2020b).

Kyoto Protokolü: 1997 yılında Japonya'nın Kyoto kentinde dünya çapında sera gazlarının azaltılması için bağlayıcı hedefler içeren “Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi’ne İlişkin Kyoto Protokolü” imzalanmıştır. Protokol, sanayileşmiş ülke topraklarına bağlayıcı sera gazı salınım sınırlama ve azaltma yükümlülükleri getirmiştir. Türkiye Kyoto Protokolü’ne 2009 yılında taraf olmuştur. Türkiye’nin herhangi bir sayısallaştırılmış salım sınırlama veya azaltım yükümlülüğü bulunmamaktadır (Anonim, 2020e).

Viyana Sözleşmesi: 1976 yılında ilk kez ozon tabakasının incelmesi Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP)’nin Yönetim Konseyi’nde gündeme gelmiştir. Ozon tabakasını incelten maddelerin azaltılmasına ilişkin süreçler, hükümetler düzeyinde ilk olarak 1981 yılında başlamış ve 1985 yılında Ozon Tabakasının Korunması için Viyana Sözleşmesi kabul edilmiştir. Viyana Sözleşmesi, ozon tabakasının periyodik gözlenmesi, araştırma ve bilgi paylaşımı konusunda hükümetleri teşvik etmektedir.

Ozon tabakasının yapısında insan kaynaklı olumsuzluklara karşı, çevre ve insan sağlığını korumaya yönelik önlemler tavsiye edilmektedir. Yasal bağlayıcılığı olmayan bir sözleşmedir. Türkiye bu sözleşmeye 1991 yılında taraf olmuştur (Anonim, 2020e).

Montreal Protokolü: Viyana Sözleşmesi gereği, ozon tabakasını incelten maddelerin kullanımının ve üretiminin kontrol altına alınmasını sağlayacak çalışmalar üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu çalışmalar sonucunda 1987 yılında “Ozon Tabakasını İncelten Maddelere İlişkin Montreal Protokolü” kabul edilmiştir. Türkiye 1991 yılında bu protokole taraf olmuştur (Anonim, 2020e).

3. ENERJİ ETKİN BİNA TASARIM PARAMETRELERİ ve YBM KULLANIMI

Enerji etkin bina tasarım sistemleri, binaya ait farklı değişkenlerin kullanılarak yapının enerji tüketimini en aza indirmeyi amaçlar. Yapının yaşam döngüsü boyunca kullanacağı enerji miktarı, yapının tasarım ve inşaa aşamasında belirlenmektedir. Yapının kullanacağı enerji miktarını minimuma indirmek için; tasarım aşamasında YBM aracılığıyla enerji etkin sistemler dikkate alınarak tasarımlar yapılmalıdır. Enerji etkin sistemler; pasif ve aktif sistemler olarak adlandırılmaktadır.

3.1. Erken Tasarım Aşamasında Pasif Tasarım Kriterleri

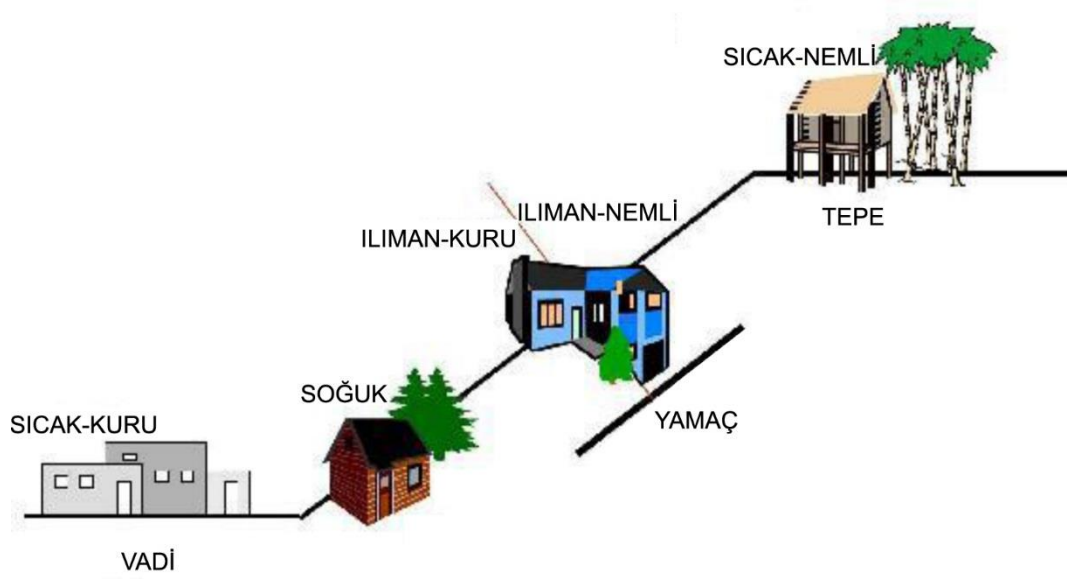
Pasif sistemler, bina iç mekanı için gerekli aydınlatma, ısıtma, soğutma ve havalandırma ihtiyaçlarının iklim koşullarından en yüksek düzeyde yararlanma sağlayarak karşılanmasıdır (Dikmen, 2011). Bu doğrultuda tasarım aşamasında veya mevcut yapıların yenilenmesi ile pasif sistemlerin uygulandığı bir yapıda binanın konumu, yönelimi, opak ve saydam malzemelerin özellikleri, doğal havalandırma gibi birçok faktöre dikkat edilmektedir. Pasif sistemlerin, yapılar daha tasarım aşamasında iken uygulanması en sağlıklı sonucu vermektedir. Fakat mevcut yapıların yenilenmesi işleminde de yapıya uygulanacak pasif sistemler mevcuttur. Pasif sistem tasarımında dikkate alınması gereken unsurlar alt başlıklar halinde bu bölümde açıklanacaktır.

3.1.1. Yapının konumu ve yönü

Pasif sistemlerde amaç, yapı için kullanılacak enerjinin yapının bulunduğu iklimden karşılanmasıdır. Bu nedenle yapının konumlandığı iklim koşulları enerji etkin tasarım için en önemli kriterlerden biridir. Yapıların bulunduğu konum ihtiyaç duydukları temel enerjinin belirlenmesinde temel etkidir.

Yapının konumlandığı yerin; eğim, yön ve bitki örtüsü gibi alt değişkenleri vardır. Yapıların yer seçimi belirlenirken; nem oranı yüksek yerlerde rüzgarın nem oranını düşürücü etkisinden faydalanmak için tepe ve yamaç bölgelere konumlandırılırken, nem oranı düşük yerlerde hava hareketlerinin minimum olduğu vadi tabanı ve yamaçların

tabana yakın bölgeleri tercih edilmelidir (Oral, 2010). Böylece yapıların ısıtma ve soğutma enerjisi kullanımlarından tasarruf edilebilmektedir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Farklı iklim bölgeleri için uygun arazi yerleşimi (Oral, 2010)

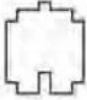
Yapıların yönelimindeki pasif ilke, güneşin ve rüzgârın avantajlarından maksimum fayda sağlayıp, dezavantajlarına karşı önlem almaktır. Yönlenme; topoğrafya, rüzgâr, güneş, manzara, mahremiyet, gürültü gibi birçok değişkenin kesişimi ile oluşturulmalıdır (Utkutuğ, 2000).

“Binaların yönlendiriliş durumlarına bağlı olarak, binayı çevreleyen kabuk elemanının dış yüzeyindeki güneş ışıınımı yeğlinliği ve dolayısıyla kabuğun birim alanından geçen ısı miktarı değişkenlik göstermektedir. Dolayısıyla binalarda iklimsel konfor koşullarının sağlanmasında yönlendiriliş durumu önemli bir parametredir” (Berköz ve diğer, 1995).

3.1.2. Yapının formu

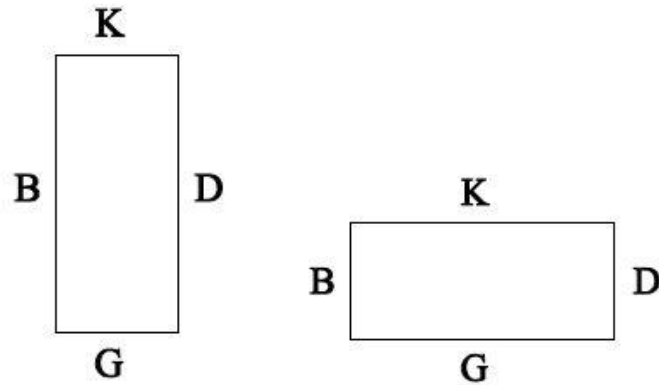
Yapıların formları, ısıtma ve soğutma enerjisi kullanımını etkileyen önemli faktörlerdir. Yapı kabuğunun yüzey alanını, yapıyı oluşturan yatay ve düşey doğrultudaki boyutları belirler. Taban alanları aynı olup farklı formlara sahip yapıların dış cephe alanları da farklı olacağı için binaların ısı kazancı veya kaybı da değişecektir (Yılmaz ve diğer, 2000).

Şekil 3.2’de mevcut proje ve alternatif tasarımlar üzerinden yapının kullanacağı ısıtma enerjisi yapının form değişkenine bağlı olarak karşılaştırılmıştır. Yaklaşık olarak aynı taban alanına sahip olmalarına rağmen en çok ısıtma enerjisi kullanımı yüzey alanının büyüklüğüne bağlı olarak Alternatif 4 de olmuştur. En az ısıtma enerjisi kullanımı ise Alternatif 1 de olmuştur.

	Mevcut proje	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4
					
Alan (m ²)	392	400	400	400	400

Şekil 3.2. Yapı formlarının ısıtma enerjisi üzerine etkisi (Gazioğlu ve diğer 2013)

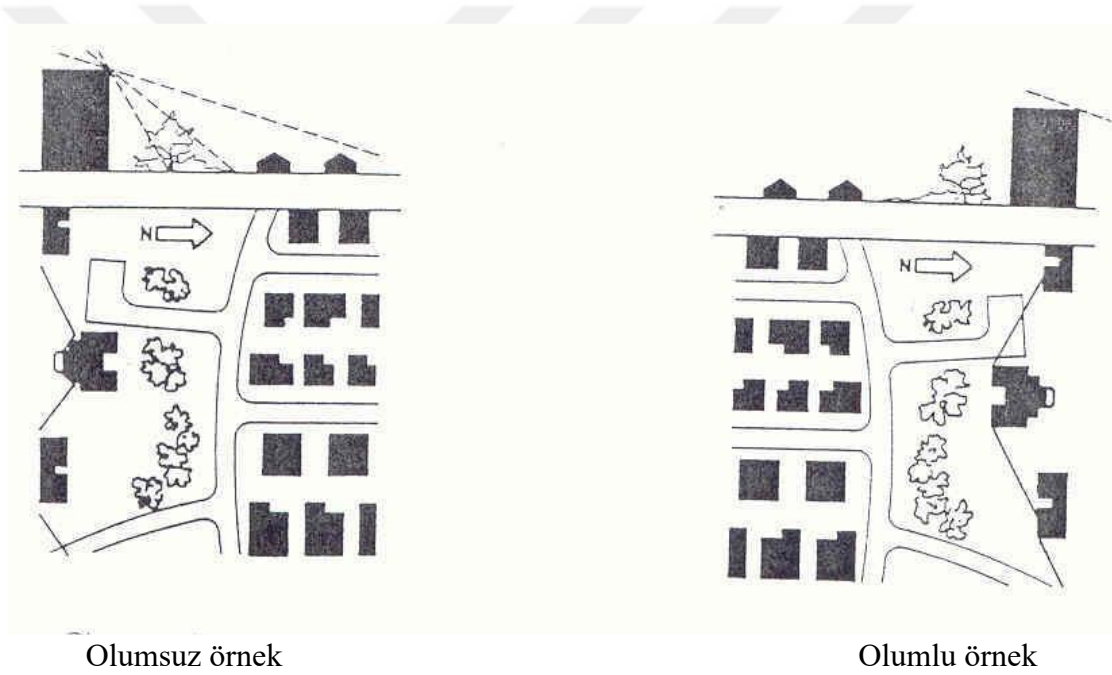
Kuzey güney aksında yerleşen, doğu ve batı yönüne geniş cephe veren bina formları güneş ışınlarında yeterince yararlanılamadığı için tercih edilmemelidir (Şekil 3.3). Tüm iklim bölgeleri için tavsiye edilen form doğu batı aksında yerleştirilen ve kuzey, güney yönüne geniş cepheler veren formlardır. Bu sayede güney cephesinin güneş verilerinden kontrollü şekilde en yüksek düzeyde yararlanılarak, kuzey cephesinde de ısı kaybını önleyecek gerekli önlemler alınarak ideal forma ulaşılabilir (Şekil 3.3.) (Soysal, 2008).



Şekil 3.3. Kuzey-güney doğrultusunda ve doğu-batı doğrultusunda konumlandırılan formlar (Soysal, 2008)

3.1.3. Yakın çevre bina aralık ve yükseklikleri

Yapıların içinde yer aldığı yerleşim dokusu, yakın çevrede bulunan yapıların yükseklikleri ve birbirlerine göre konumları gibi değişkenler yapı çevresi mikro klimayı oluşturmaktadır. Yapı grupları arasında ve çevresinde güneş ve rüzgâr hareketleri gibi ölçütler dikkate alınarak tasarımlar yapılmalıdır. Bu kriterler pasif sistemlerin temel ilkelerindendir. Pasif tasarım ilkelerinde, binalar arası açık mekân mesafeleri ve binaların boyutlarına bağlı olarak uygun konumlarının belirlenmesi gerekmektedir. Yapılar, birbirlerinin rüzgâr ve gün ışığını kesmeyecek şekilde konumlandırılmalıdır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. İmar planı ve güneş enerjisi kullanımı (Schafer ve Weigert, 1997)

3.1.4. Yapı kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri

Yapı kabuğu, binanın iç ve dış yüzeyini birbirinden ayıran yatay, düşey ve eğimli yüzeylerin bütünüdür. Yapılarda iç ve dış mekânın ayrılmasını sağlayan saydam ve opak yüzeylerin, hava sızdırmazlık düzeyi, ısı iletim katsayısı (U), pencere duvar oranları gibi özellikleri yapıların kullanacakları enerji miktarının belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Enerji etkin yapı tasarımında yapı kabuğunun binayı rüzgâra, sıcağa, soğuğa karşı koruması beklenmektedir.

Yapı kabuğunun ısı geçirme miktarı, iç hava ısısının ve iklimsel konfor koşullarının belirlenmesinde etkili olurken yapay ısıtma ve iklimlendirme için kullanılacak enerjinin miktarını da belirlemektedir (Gazioğlu, 2012).

Pasif sistemler açısından bakıldığında yapı kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri önem kazanmaktadır. Yapı kabuğunun termofiziksel özellikleri aşağıda sıralanmıştır;

Isı geçirme katsayısı (U): Opak ve saydam yüzeylerin oluşturduğu yapı kabuğunda ısı geçirme katsayısı azaldığında, yapı dış çevre iklim koşullarına daha dayanıklı hale gelmekte ve iç ortam ısı kaybı azalmaktadır. Pasif sistemli yapılar, yapı kabuğunda büyük oranda yalıtımlar yapılarak yapı kabuğunun uygun U değerinin sağlanması ile oluşturulabilir. Böylece iklimsel konfor şartlarının minimum enerji kullanımı ile sağlayacak yapı kabuğu elde edilir (Manioğlu, 2011).

Saydamlık oranı: Yapı kabuğunda duvar pencere alanlarının birbirine oranıdır. Soğuk iklim bölgelerinde yapıların kuzey cephelerinde pencere oranlarının fazla olması yapının ısıtma enerjisi ihtiyacını artıracaktır. Sıcak iklim bölgelerinde ise güney cephelerinde pencere oranlarının fazla olması soğutma enerjisi ihtiyacını artıracaktır. Saydam yüzeyler yapı iç mekânlarının gün ışığından yararlanması açısından önemlidir, iç mekân konfor koşullarına katkı sağlar. Bu nedenle yapılar uygun değerli saydamlık oranı ile tasarlanmalıdır.

Genlik küçültme faktörü: Dış ortam sıcaklığının değişimi, yapı kabuğu bileşenlerinin ısı depolama özellikleriyle doğru orantılı olarak ısı akışını yavaşlatır ve sıcaklık salınımlarının genliğini yani ortalama sıcaklık değeri sapma değerini düşürür. Buna kabuğun “Genlik küçültme faktörü” denir. İç çevre sıcaklığının ortalama sapma değerinin dış çevre sıcaklığının ortalama sapma miktarına oranı olarak belirlenir (Soysal, 2008).

Zaman gecikmesi: Gün içinde yapı kabuğunun dış yüzeyinde meydana gelen en yüksek sıcaklığın yapı iç ortam yüzeyinde en yüksek sıcaklığı oluşturuncaya kadar geçen zaman süresi olarak tanımlanmaktadır (Soysal, 2008).

Sönüm oranı: Gün içinde iç mekân yüzeyinde en yüksek ve en düşük sıcaklık farkının, dış cephe yüzeyindeki en yüksek ve en düşük sıcaklık farkına oranı olarak tanımlanır (Soysal, 2008).

Yapı kabuğunun optik özellikleri aşağıda sıralanmıştır;

- Kabuk yutuculuğu
- Kabuk geçirgenliği
- Kabuk yansıtıcılığı.

Yapı kabuğunun yani yapının dış cephe ile temasta olan elemanlarının, duvar, pencere, çatı gibi yüzeylerin kabuk malzemesinin opak veya saydam olmasına göre, yutuculuk, geçirgenlik, yansıtıcılık özelliği değişmektedir. Opak malzemeler güneş ışınlarını; yapı elemanlarının iç yüzeyine geçirmez, malzemenin yüzey özelliklerine, gelen ışınların dalga boyuna ve geliş açısına bağlı olarak bir kısmını yansıtır kalanını da ısı enerjisine dönüştürür. Şeffaf yüzeylerde ise gelen ışınların dalga boyu ısı enerjisi kazanımında etkili olmaktadır. Kısa dalga boyuna sahip ışınlar şeffaf yüzeylerden geçebilirken uzun dalga boyuna sahip ışınların geçememesi sera etkisi oluşturarak iç mekânın ısınmasını sağlar (Çengel, 1998).

Duvarlar, bir yapıda yüzey alanı en çok olan ve dış iklim koşullarına açık yapı elemanlarıdır. Bu sebeple duvarların ısı iletim katsayısı(U), ısı kaybı veya kazancı açısından önem kazanmaktadır. Dış duvarların ısı iletim katsayısını düşürmenin en etkili yolu, yapıyı dıştan, kalın ısı yalıtım malzemesi ile kaplamaktır. Dıştan yapılan yalıtım ile binada oluşacak ısı köprüleri engellenmiş olur. Dolayısıyla yapı fiziği açısından dıştan yalıtım istenen bir yöntemdir (Şenkal Sezer ve Karagöz Yeşilyurt, 2011).

Dış duvar yalıtımında dört farklı yöntem bulunmaktadır;

- Dış yüzeye yapılan ısı yalıtımı,
- İç yüzeye yapılan ısı yalıtımı,
- Çift duvar arasına yapılan yalıtım ile sandviç duvar uygulaması,
- Havalandırılmalı dış duvar yalıtımı ile giydirme cephe sistemi.

Saydam yüzeyler; bina iç mekânlarının gün ışığı alması açısından önemlidir, yapı içinde yaşayanların dış mekânla bağlantı kurmasını sağlar. Yapı kabuğunda bulunan saydam yüzeylerden pencereler genellikle çerçeve ve cam elemanlarından oluşmaktadır. Pencere seçilirken; iklim koşulları, doğal aydınlatma ihtiyacı, gürültü kontrolü gibi değişkenlere dikkat edilmelidir. Seçilen pencerelerdeki cam kalınlıkları, çerçeve malzemesi ve camlar arası dolgu malzemesi enerji tasarrufunda etkin rol oynamaktadır. Örneğin, pencerede kullanılan camlar arası boşluk kuru hava yerine argon veya kripton gazı ile doldurulursa pencerenin toplam ısı geçirgenlik katsayısı(U) düşer, böylece pencerenin ısı yalıtımı artar. Pencere yönü ve alanı kış aylarında bile %12'ye varan enerji artırımını sağlar. Ekim ve mart aylarında ölçülmüş enerji korunumu miktarının pencerenin yönü, büyüklüğü, çerçeve değeri, temizliği, camın yansımaya faktörü, havanın açık-kapalı olması gibi faktörlere bağlı olarak %15–20 oranında değişim gösterir (Anon, 1979).

Çatılar binalardaki ısı kaybının önemli bir kısmına neden olmaktadır. Çatıların ısı kazancında eğim, renk, güneş enerjisini yansıtma katsayısı gibi özellikleri etkili olmaktadır. Çatıların güneş ışığı yansıtma endeksi (SRI) değerinin düşük olması, yeşil çatı uygulaması, çatıya PV panel kurulumu gibi çatı yüzeyinin güneş ışınları ile temasını kesen uygulamalar çatı yüzeyinin ısınmasını engeller (Taygun, 2019). Bu durum yapının bulunduğu iklime göre istenen ya da istenmeyen durum olmaktadır. Sıcak ve kuru iklim bölgelerinde çatılar güneş ışınlarını yansıtmak için açık renkli, soğuk iklim bölgelerinde ise güneş ışınlarını soğurabilmek için koyu renkli yapılır.

3.1.5. Güneş kontrol sistemleri

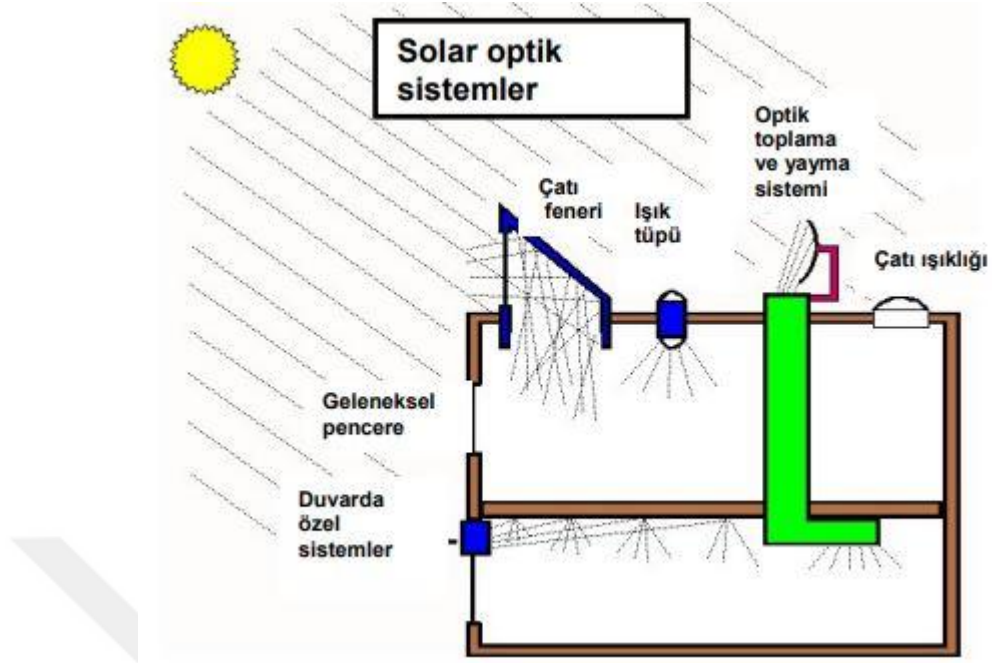
Güneş kontrol sistemlerinin pasif bir seçenek olarak projelere uygulanmasındaki amaç; kışın güneş ışınlarının ısıtıcı etkisi kullanılarak yapının ısıtma yükünün azaltılması, yazın ise güneş ışınlarının ısıtıcı etkisinden korunarak soğutma yükünün azaltılmasıdır.

Soğuk iklim bölgelerinde yapıların ısıtma giderleri daha fazla olduğu için yapıların yönelişi güneş ışınlarından maksimum fayda sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Sıcak iklim bölgelerinde ise soğutma yükleri daha fazla olacağından dolayı güneş ışınlarına karşı korunma sistemlerine ihtiyaç duyulacaktır.

Isı kazancına sebep olan güneş enerjisinden korunmak için perdeleme sistemleri bulunduğu gibi hareketli ya da sabit yatay ve düşey güneş kırıcılar da kullanılmaktadır. Yapılarda güneş ışınlarının istenmeyen etkilerinden korunmak için uygulanacak yöntemin temel ilkesi, güneş ışınlarının yapı kabuğu dışında yakalanarak durdurulmasıdır. Güneş kontrol elemanları olarak, değişik performanstaki güneş kırıcılar, kepenkler, storlar, yalıtımlı kepenkler, tenteler, jalûziler ve perdelerin yanı sıra derin balkonlar, yatay saçaklar, dikey güneş kırıcıları – kanat duvarları, yatay ve dikey elemanların birleşimi olan kompozit elemanlar kullanılmaktadır (Utkutuğ, 2000).

3.1.6. Doğal aydınlatma

Yapılar gün ışığını şeffaf yüzeyler aracılığı ile iç mekânlara alır böylece doğal aydınlatma sağlanmış olur. Yapıların gün ışığı alması pencereler ya da çatı ışıklıkları ile sağlanmaktadır (Şekil 3.5). Isıtma veya soğutma için kullanılan enerjiyi azaltmak için yapının bazı cephelerinde pencere büyüklükleri artırılır veya azaltılabilir. Pencere büyüklüklerinin azaltıldığı durumlar, doğal aydınlatma için olumsuz etkiler oluşturur. Bu gibi durumlarda yapı tek katlı ise ya da son katta bulunuyorsa ve pencerelerden yeteri kadar gün ışığı sağlanamıyorsa çatı pencerelerine başvurulabilir. Pencere büyüklüklerinde, güneş ışınlarından elde edilecek enerji ve doğal aydınlatma faktörleri için optimum oranlar belirlenmelidir.



Şekil 3.5. Gün ışığından yararlanmada kullanılan farklı teknikler (Yener, 2007)

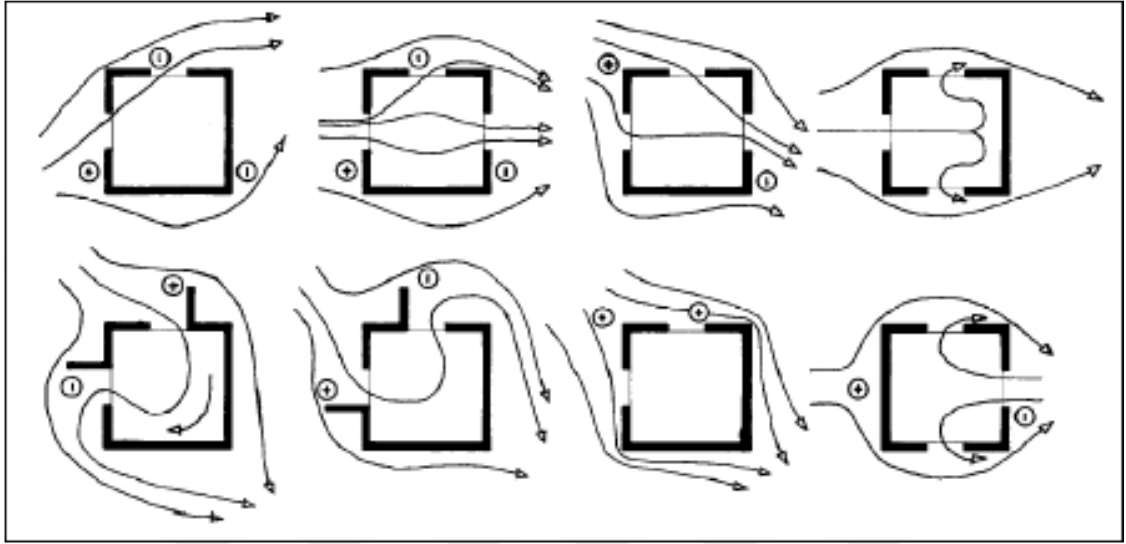
3.1.7. Doğal havalandırma

Bina kullanıcıları için iç mekân konfor koşullarından bir tanesi iç mekân hava kalitesidir. İç mekân hava kalitesinin sağlanması için yapılara ait hacimlere taze hava alınması ve içeride ki atık havanın bina dışına çıkarılması gerekmektedir.

Binalarda doğal hava sirkülasyonu basınç veya sıcaklık farkından oluşur. Rüzgâr basıncından yararlanarak, bina içi mekânların doğal yollarla havalandırılması veya soğutulması amacı ile aynı düzlemde farklı yüzeylerdeki açıklıklarla çapraz havalandırma yapılabilir (Şekil 3.6). Havalandırılacak mekânın rüzgâr üstü yüzeyi ile rüzgâr altı yüzeyi arasındaki basınç farkı, hava giriş ve çıkış açıklıklarının biçim ölçü ve konumu, rüzgârın geliş açısı; mekânda gerçekleşecek hava hızının dağılımını, hava değişim kat sayılarını belirler (Ok, 2007).

Doğal havalandırmada pasif sistemler kullanılarak, mekanik sistemlere duyulan ihtiyaç ortadan kalkacak ya da azalacağı için enerji kullanımından tasarruf edilecektir. Pasif seçenekler yardımı ile doğal havalandırma için rüzgâr bacası, çapraz havalandırma, galeri ve atriumlar ve trombe duvarın havalandırma etkisi gibi birçok seçenek bulunmaktadır (Koca, 2006).

Bina dış duvar ve çatılarda oluşan çatlaklar, kapı ve pencerelerin derzlerinden sızan kontrolsüz hava değişimleri yapılarda enerji kaybına neden olmakta ve yapı fiziği açısından istenmeyen yoğuşmaya neden olmaktadır. Hava sızıntısı toplam ısı kayıplarının %20'si ile %50'si arasında değişen bölümü oluşturmaktadır (Soysal, 2008).



Şekil 3.6. Çapraz havalandırma seçeneklerinin yapı planında gösterimi (Roaf, 2007)

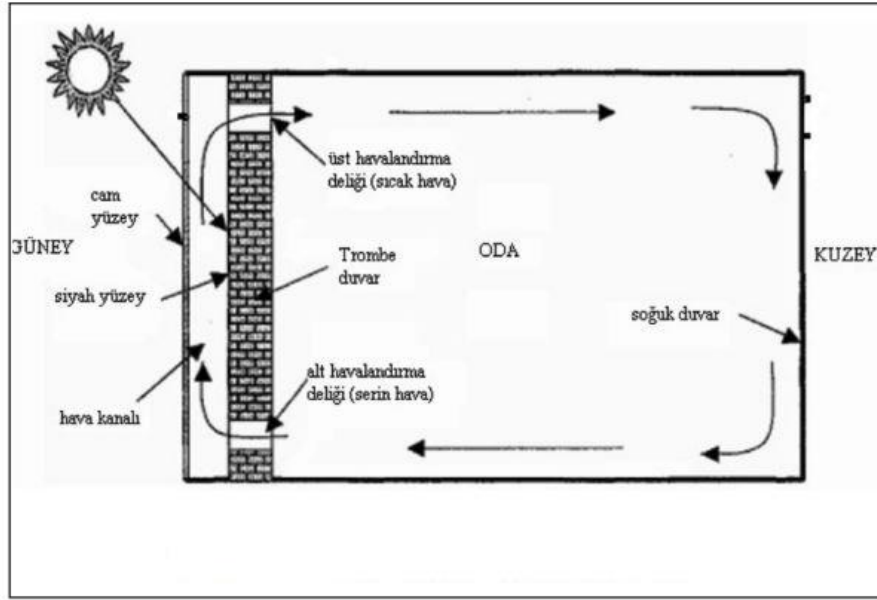
3.2. Mimaride Pasif Isıtma Sistemleri

Yapılar için ısıtmaya ihtiyaç duyulan zamanlarda; mevcut ısı kayıplarını en aza indirmek ve güneş enerjisinin ısıtma enerjisinden maksimum fayda sağlanması pasif ısıtma sistemlerinin temelini oluşturmaktadır. Bu sistemler, ısı kaçışlarını engellemek, gündüz ısı depolamak ve gecede depoladığı ısıyı yaymak şeklinde çalışmaktadır.

Pasif ısıtma ve soğutma sistemleri doğrudan ve dolaylı sistemler olmak üzere ikiye ayrılır. Doğrudan sistemlerdeki amaç, güneş ışınlarının doğrudan iç mekâna girmesi ile ısı enerjisi elde edilmesidir. Dolaylı sistemlerde ise güneş ışınları daha sonra kullanılmak üzere toplanıp depolanmaktadır. Dolaylı sistemler pasif ısıtma için kullanılabileceği gibi pasif soğutma içinde kullanılmaktadır (Efe,2009).

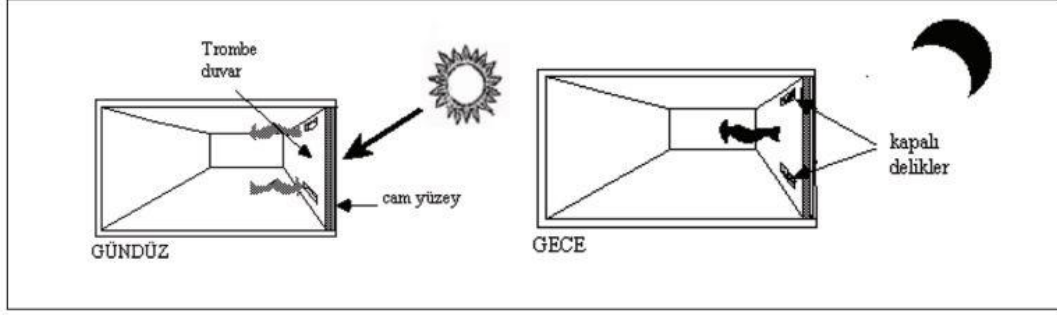
3.2.1. Trombe duvarı kullanımı

Trombe duvarının tarihçesi 1950'lere dayanmaktadır. Felix Trombe, duvarların ısıyı emip dağıtma etkisinden faydalanarak kendi adını verdiği Trombe duvarını oluşturmuştur. Trombe duvarı güneş enerjisini depolayan ve iç mekâna yayan bir güneş kolektörü gibi çalışmaktadır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Trombe duvarı çalışma prensibi (Doğan ve Pırsacı, 2009)

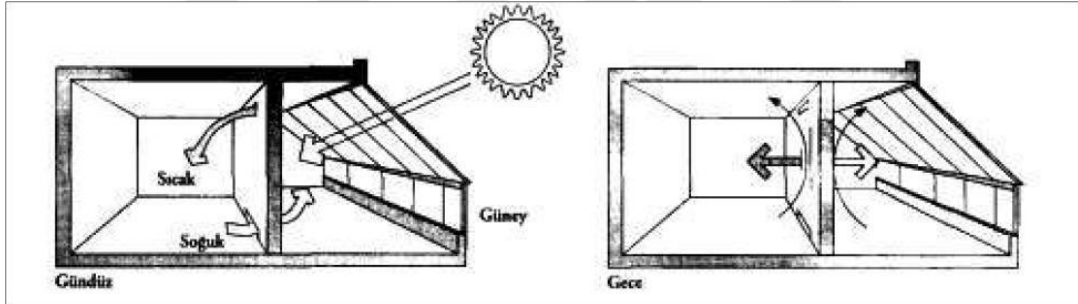
Trombe duvarı; duvar ve duvardan belli mesafeye yerleştirilmiş cam yüzeyden oluşan, dış yüzeyi güneye bakan, güneş ışınlarını toplayıcı ve depolayıcı duvarlardır. Trombe duvarının alt ve üst kısmında termal hava sirkülasyonu için hava kanalları vardır. Camdan geçen güneş ışınları koyu renkli Trombe duvarı tarafından absorbe edilerek ısı duvar içinde depolanır. Gündüz güneş ışınları sayesinde cam ve duvar arasında kalan hava ısınır, genleşir ve yükselerek duvarın üst kısmındaki hava kanalından iç mekâna geçer. İç mekânda bulunan soğuk hava alçaldığı için duvarın alt kısmında bulunan hava kanalından cam ile duvar arasına geçer, ısınır ve bu döngü güneş ışınları olduğu sürece devam eder (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Trombe duvarının gece ve gündüz çalışma prensibi (Doğan ve Pırasacı, 2009)

3.2.2. Güneş odaları (Seralar)

Güneş odaları, soğuk ya da ılıman iklim bölgelerinde tercih edilmektedir. Yapıların güney cephelerine yapılan güneş odaları yapı tasarım aşamasında planlanabileceği gibi yapı bittikten sonrada eklenebilmektedir.



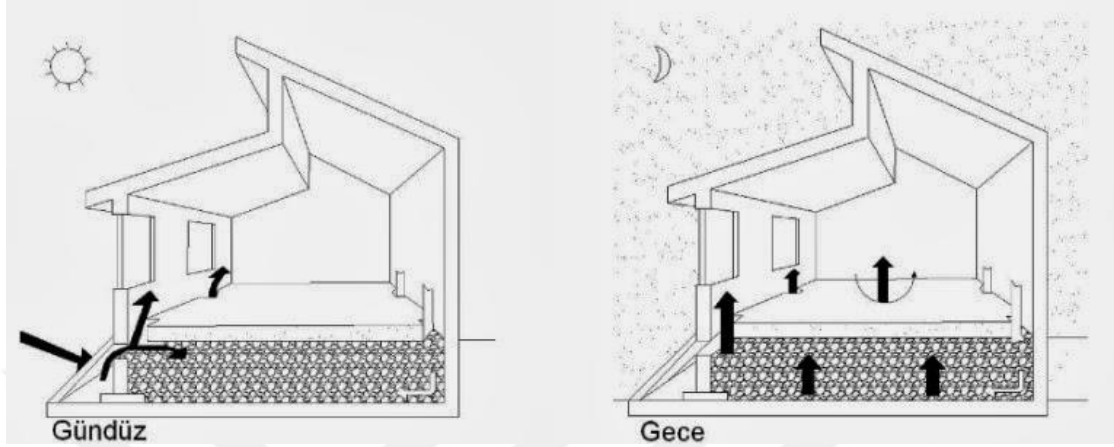
Şekil 3.9. Güneş odalarının pasif ısıtma sistemi olarak kullanılması (Ülgen, 1995)

Güneş odalarında, güneşe bakan cam yüzeyler arttıkça ısı enerjisi kazanımı artmaktadır (Şekil 3.9). Güneş odalarında kış akşamları için gece yalıtımı, yazları istenmeyen güneş ışınları için güneş kırıcılar kullanılmalıdır (Alparslan, 2010).

3.2.3. Çakıl yatağı

Çakıl yatağı sistemleri; yapıların güneye bakan yamaçları üzerinde, yapıların yaşam alanlarından bağımsız olarak tasarlanmaktadır. Çakıl yataklarında; toplayıcı ve depolayıcı kısım yapının altına yerleştirilip, ısınan havanın yükselip soğuyan havanın

alçalması özelliğinden yararlanılmaktadır. Toplayıcıda ısınan hava doğrudan iletilmekte ya da depolanıp günün farklı saatlerinde kullanılmaktadır. (Ülgen, 1995, sy.6).



Şekil 3.10. Pasif sistem olarak çakıl yatağının çalışma prensibi (Anonim, 2012)

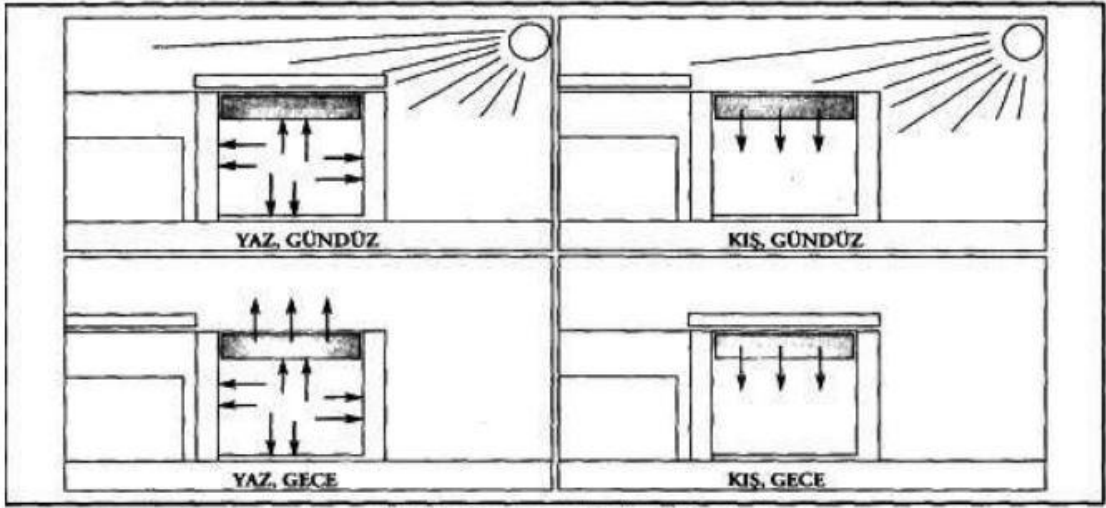
Şekil 3.10’da görülen çakıl yatağı sistemlerinde, gündüz süresince depolama alanından ısı kaçıışı, cam takviyeli polyester kaplama, polietilen kaplama gibi malzemeler ile önlenebilmektedir. Çakıl yatağı sistemlerini kontrol edebilmek için hava çıkışı ve hava emişi için havalandırma fanları kullanılmaktadır (Çarkacı, Özkorucu ve Atmaca, 2012).

3.2.4. Su kütlesi

Su kütlesi pasif ısıtma sistemlerinde iki şekilde karşımıza çıkmaktadır;

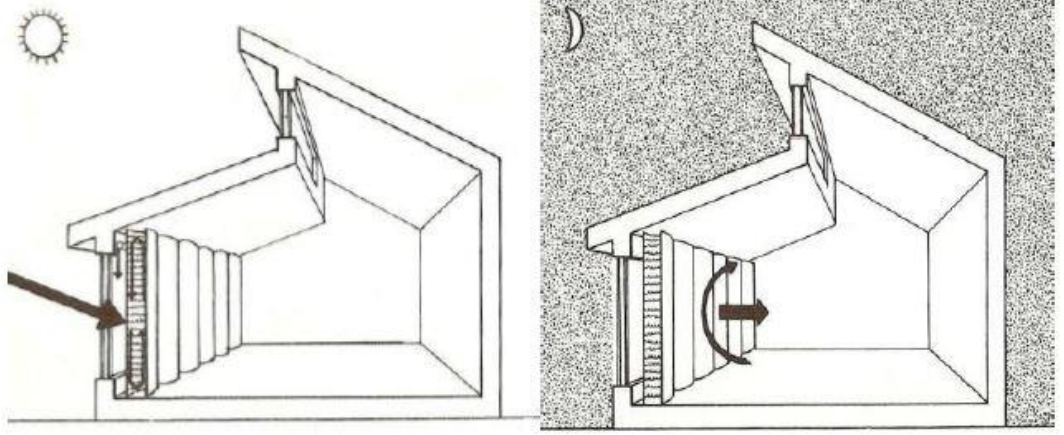
- Çatı havuzu
- Su duvarı

Çatı havuzu: Genellikle cam, plastik ve fiberglas kaplarda depolanan su, ısıtım ve taşıyım yoluyla alttaki mekâna kış aylarında ısıtma, yaz aylarında soğutma sağlar. Çatı havuzlarının üzeri yalıtım malzemesi ile istendiği zaman kapatılabilmektedir. Şekil 3.11’de gösterilen çatı havuzu kullanımında, kışın gündüzleri çatı havuzlarının üzeri açılarak güneş enerjisi ile ısı elde edilmekte, geceleri ise ısı kaybını önlemek için üzerleri kapatılmaktadır. Yazın tam tersi gündüzleri fazla ısı oluşumunu önlemek için çatı havuzunun üzeri kapatılır, geceleri de serinlik sağlama için üzeri açılır (Uslusoy, 2012).



Şekil 3.11. Pasif sistem olarak Çatı havuzunun gece/gündüz ve yaz/kış uygulama yöntemleri (Ülgen, 1995)

Su duvarı: Su duvarlarında ısı depolama kütlesi olarak su ile dolu yüksek dayanımlı plastik veya metal bidonlar kullanılmaktadır. Su duvarlarında içten dışa sırası ile su dolu bidonlar, cam, açılıp kapanabilen kapak kullanılmaktadır. Isıya ihtiyaç duyulan dönemde dış cephede bulunan kapak açılıp cam yüzeye gelen güneş ışınları bidonların içindeki suyun ısınmasını sağlar. Isınan bidonlardaki ısı taşınım yoluyla iç mekânın ısıtılmasını sağlar. Geceleri oluşacak ısı kaybını önlemek için dış cephedeki kapak kapatılır. Böylece dış cephede bulunan açılıp kapanabilen kapak sayesinde ısı kazancı kontrollü şekilde gerçekleşmektedir (Şekil 3.12, Şekil 3.13). Su duvarı sistemleri; buharlaşma, korozyon, iç mekânda kapladıkları alan ve görsel estetik kaybı sebebiyle günümüzde pek tercih edilmemektedir (Uslusoy, 2012).



Şekil 3.12. Pasif sistemlerde su duvarı uygulama örneği (Alparslan, 2010)



Şekil 3.13. Su duvarı uygulanmış örneği (Mazria, 1979)

3.3. Pasif Soğutma Sistemleri

Sıcak iklim bölgelerinde özellikle yaz aylarında iç mekânın ısınısını azaltmak için klima gibi mekanik soğutma sistemleri kullanılmaktadır. Mekanik soğutma sistemleri kullandıkları enerji bakımından karbon salınımını artırmakta ve enerji yoksunu ülkeler için ekonomik kayıplara sebep olmaktadır.

Pasif soğutma sistemlerinde amaç, mekanik sistemlerin yükünü azaltmak veya tamamen kaldırmaktır. Pasif soğutma sistemlerinde, ısı kazançlarının istenmediği dönemlerde önlenmesi, bina kabuğunun ısı depolama kapasitesinin artırılması, iç ortamdaki ısınan havanın atılması önem taşımaktadır (Yıldız ve Durmuş Arsan, 2009).

Pasif soğutma sistemlerinde binaların; rüzgâra karşı yönü, bitki örtüsü, güneş kırıcı kullanımı gibi faktörler ön plana çıkmaktadır. Bitki örtüsü ve peyzaj düzenlemesi yapının serinliğini ve uygun nem dengesini sağlanmasına yardımcı olmaktadır. Yapının rüzgâra göre yönlendirilmesi ile gerektiğinde rüzgârın serinletici etkisi yapı içine alınarak iç mekân ısısı düşürülebilmektedir. Yapı cephesinde güneş kırıcılar kullanılması, istenmeyen güneş ışınlarının yapıya gelmeden durdurulmasını sağlar. Yapıda kullanılan pencerelerin; açıklıkları, boyutları, yönleri ve cam tipleri de soğutma yükünü etkilemektedir.

Uygun yapı kabuğu yalıtımı ile yaz ve kış aylarında enerji tüketmeden yada çok az tüketerek optimum iç hava ısısına ulaşmak mümkündür (Soubdhan, Feuillard ve Bade, 2005).

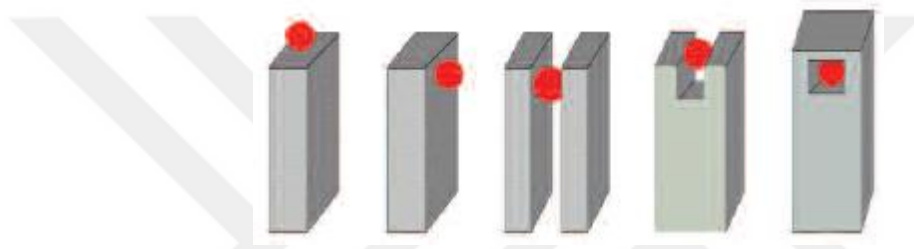
3.4. Mimaride Aktif Sistemler

Aktif sistemler, yenilenebilir enerji kaynaklarından çeşitli donanımlar aracılığıyla ısıtma, soğutma, aydınlatma gibi yapı için ihtiyaç duyulacak enerjinin üretilmesidir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanan aktif sistemler; fotovoltaik paneller (PV paneller), güneş toplayıcıları (güneş kolektörleri), rüzgâr türbinleridir.

Rüzgâr Türbinleri: Rüzgârda bulunan hareket enerjisini mekanik enerjiye ve elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Rüzgâr türbinlerinin bulunduğu bölgenin aldığı rüzgâr, türbinlerin kapasitesi gibi değişkenlere bağlı olarak türbinlerden elde edilen enerji miktarı değişmektedir. Rüzgâr türbinleri üç grupta incelenmektedir,

- Yapıdan bağımsız rüzgâr türbinleri: yapıdan ve yapılı çevreden bağımsız olarak tasarlanan sistemlerdir. Rüzgâr çiftlikleri bu gruba örnektir.
- Yapıya eklenmiş rüzgâr türbinleri: yapıları kule olarak kullanan türbin örnekleridir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Yapıya eklenmiş rüzgâr türbinleri ve kütle ilişkisi (Günel, Ilgın, 2008)

- Yapıya ile bütünleşmiş rüzgâr türbinleri: mimari tasarım ile bütüncül tasarlanan rüzgâr türbinleridir (Şekil 3.15). Mimari tasarımın etkin ve verimli bir rüzgâr enerjisi kullanımını temel almasıdır (Yasan, 2011).



Şekil 3.15. Yapı ile bütünleşmiş rüzgâr türbin örnekleri (Günel, Ilgın, 2008)

Güneş toplayıcıları (Güneş kolektörleri): Yapılara sıcak su sağlamada kullanılan sistemlerdir. Sisteme verilen soğuk su, güneşten yayılan radyasyonun toplanması ve yoğunlaştırılması ile ısınır. Sistemin yalıtımının yapılması ile en önemli dezavantajlarından olan kış mevsiminde yaşanan donlara karşı önlem alınabilmektedir. Güneş ışınlarının verimliliği aldıkları güneş ışınlarıyla doğru orantılıdır (Özdoğan, 2005).

Güneş Pilleri (Fotovoltaik Paneller): Yapıların ısıtılması, soğutulması ve aydınlatılması amacı ile elektrik enerjisinin karşılanmasıdır. Ulaşımı en kolay, temiz ve bol olan güneş enerjisi bu sistem ile elektrik enerjisine dönüştürülmektedir (Alparslan vd, 2014). Yapıların kabuklarında, bahçelerinde kısaca güneş ışınlarını alan her yerde kullanılabilir (Şekil 3.16). Güneş pillerinin ömürlerinin uzun, bakımlarının kolay olması kullanımlarını artırmıştır. Dezavantajı ise fazladan üretilen elektriğin depolama alanı olmamasıdır (Tetik, 2014).



Şekil 3.16. Çatı örtüsüne monte edilmiş PV uygulaması örneği (Özkılıç Keleş, 2008)

Isı pompası: Farklı sıcaklıklardaki ortamlar arası ısıyı iletebilen soğutma ve ısıtma için kullanılan ısıyı taşıyabilen sistemlerdir. Kaynaklarına göre üç çeşittirler. Toprak kaynaklı sistemler, 1.2-1.5m derinlikte bulunan toprağın yıl boyunca 7 ile 13 derecede sabit kalması ilkesine; su kaynaklı sistemler, yer altı sularının 8 ile 12 derecede olması ilkesine; hava kaynaklı sistemler ise havayı evaporatöre kanalla getirip ısısı alındıktan sonra dışarı atmak suretiyle çalışan ısı pompası sistemleridir (Sarı, 2014; Kıncay, 2017).

3.5. Kaynak Özetleri

Piccardo vd. (2020) tarafından yapılan bir çalışmaya göre, yaklaşık ömrü 50 yıl kabul edilen bir yapının hem yapı kabuğu yenilenmiş hem de elektrik enerjisi kaynağı yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmış ve böylece yapının ömrü boyunca yapacağı CO₂ emisyonu değişimi tespit edilmiştir. Yapı kabuğunda yalıtımı sağlamak için bina cephesi ve pencereleri ısı yalıtımlı hale getirilmiştir. Yenilenen binada CO₂ emisyonu %50 ile %82 arasında azaldığı gözlenmiştir.

Han vd. (2018)'nin çalışmasına göre, Çin'in Hongcun kırsalında bulunan geleneksel evlerde pasif tasarımlı ısıl güçlendirme analizleri yapılmıştır. Yapılan çalışmaya göre, kırsalda bulunan geleneksel konutlarda iç ortam hava kalitesini artırmak amaçlanmıştır. Energy Plus simülasyon programı kullanılarak pencere ve duvarlar yalıtımlı hale getirilmiş, dış cephenin ısı depolama katsayısı artırılmış, böylece iç ortam ısı talebinin dış ortamdan karşılanması amaçlanmıştır. Yapılan simülasyon çalışmaları sonucunda ısıtma enerjisi kullanımında %50'den fazla tasarruf yapıldığı tespit edilmiştir.

Heracleous vd. (2018) bir benzetim yazılımı aracılığıyla Kıbrıs'taki eğitim binalarında; doğal havalandırmanın mevcut ve gelecek iklim koşullarında ısıl konfora etkisini incelemişlerdir. Çalışmaya göre; gece havalandırma stratejisinin, sıcak yaz döneminde kapalı alanların soğutulmasına olumlu katkısı olduğu, gündüz havalandırmasının azaltılması ile aşırı ısınmanın azaldığı gözlenmiştir. 2050 ve 2090 yıllarında mevcut sıcaklıkların artacağı kabulü ile yapılarda kullanılan pasif sistemlerin etkin kullanılması ve gerekli durumlarda aktif sistemlerinde kullanılması tavsiye edilmiştir.

Yu C-R. vd. (2020) Hong Kong'daki kiralık bir konut binasının yıllık enerji tüketimini EnergyPlus programını kullanarak simülasyon çalışmasını yapmışlardır. Binaya simülasyon programı üzerinden farklı pasif soğutma teknikleri uygulanmıştır. En etkili pasif soğutma sistemleri; yeterli ısı yalıtımı, pencerelerin iyileştirilmesi, pencere-duvar oranının düşürülmesi, düşey gölgeleme elemanları kullanımı ve bina kabuğundaki sızmanın önlenmesi şeklinde sıralanmıştır.

Mahar vd. (2020) Pakistan Quetta’da temsili bir konut binasında enerji simülasyon çalışmaları yapmışlardır. Çalışma, pasif tasarım stratejilerinin duyarlılık analizi ile iç mekân termal konforu için en etkili tasarım değişkenlerini belirlemeyi amaçlamıştır aynı zamanda daha sonraki tasarımlar için de yol gösterici olması planlanmıştır. Çalışmalar sonucunda, termal kontrol, pasif güneş enerjisiyle ısıtma, güneş kontrolü ve pasif soğutma gibi pasif tasarım ilkelerinin kullanılmasıyla iç mekân konforunun mekanik çözümler eklenmeden geliştirilebileceği doğrulanmıştır. Aktif sistemlerin potansiyeli ve performansları, yıl boyunca daha fazla konfor elde etmek için daha sonra istenirse kullanılabilir. Çalışmada, termal konforu artırmak için duvarların, tavanın, zeminin ısı yalıtımının çok önemli olduğu ve Quetta’daki evlerin inşası için yüksek yalıtımlı termal kütle, pasif güneş enerjili ısıtma, gölgeleme elemanları, doğal havalandırma ve düşük emisyonlu çift camlı pencereler kullanılması önerilmiştir.

Akande (2010) Nijerya’nın sıcak ve kuru iklim bölgesinde konut yapıları için pasif tasarım stratejileri üzerine çalışma yapmıştır. Çalışmada amaç, konutlarda elektrik talebine ve enerji kullanımına aşırı bağımlılığı azaltmaktır. Çalışmanın sonucu, uygun yapı malzemesi seçimi, uygun bina yönelimi, yeterli doğal havalandırma ve bazı tasarım öğelerinin uygulanması yoluyla belirli pasif tasarım stratejilerinin benimsenmesinin doğal soğutma sağlayabileceğini ve binalarda soğutma için kullanılan enerjiyi azaltabileceğini göstermektedir. Bir evin soğutma yükleri uygun ağaçlandırma ile %10 - %40 arasında azalacağı, atrium ve avlu kullanımı ile hem doğal havalandırma sağlanacağı hem de soğutma yükleri azalacağı, evaporatif soğutma ile suyu buharlaştırarak iç hava sıcaklığı düşürülebileceği yapılan çalışmada belirtilmiştir.

Almatawa vd. (2012) Suudi Arabistan’da sürdürülebilirlik için hibrit tasarım üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmanın amacı, pasif tasarım ve yerel mimaride sürdürülebilirliğin gelişimini araştırmaktır. Pasif tasarım kriterlerini sürdürülebilir modern tasarımlar ile bütünleştirerek hibrit bir yaklaşım benimsenmesi gerektiği ve böylece enerji verimliliğini artırmak ve binaların karbon ayak izini azaltmak amaçlanmaktadır.

Gargab vd. (2021) Fas’taki güneş enerjili su ısıtıcı kurulumlarının potansiyelini vurgulamayı amaçlayan çalışma yapmışlardır. Çalışma, binalarda enerji verimliliği için

aktif ve pasif çözümlerin karşılaştırılmasını içermektedir. Binanın zarf şeklinde (pencere ve duvar) yalıtılması ve güneş enerjisi ile sıcak su elde edilmesi şeklinde iki farklı senaryo oluşturulmuştur. Fas'ta bulunan farklı iklim bölgeleri için senaryolar denenmiş ve sonuçların her bölgede aynı olmadığı gözlenmiştir. Sonuçlar karşılaştırıldığında; güneş enerjisi ile su ısıtılmasından elde edilen tasarruf, binanın zarf şeklinde yalıtılmasından elde edilen tasarruftan her bölge için daha fazla olmuştur. Ayrıca pencere ya da duvarın ayrı ayrı yalıtılması değil ikisinin de aynı anda yalıtımı yapılması ile tasarruf oranının artacağı vurgulanmıştır.

Cillari vd. (2021) sinerjik pasif güneş enerjisi üzerine makale çalışması yapmışlardır. Çalışma, farklı koşullarda enerji tasarrufu açısından pasif güneş enerjisi stratejilerinin etkilerini ölçmeyi amaçladığı bütüncül bir yaklaşım izlemektedir. Çalışmanın sonucunda; doğrudan, dolaylı ve gölgeleme sistemlerinin uygun bir kombinasyonu, kış mevsiminin çoğunda pasif ısıtmayı garanti edebileceği ve yazın aşırı ısınmayı en aza indirebileceği belirtilmiştir. Sinerjik tasarım, HVAC katkısı ihtiyacını en aza indirmek ve sıfır enerjili bir binanın elde edilmesini desteklemek için farklı sistemlerin kombinasyonunu optimize etmektedir. Mevcut bir kamu ofis binasındaki özel pasif güneş çözümleri ile enerji tasarrufu %12'yi aşmazken, farklı çözümlerin de bir arada kullanılması ile enerji tüketiminde neredeyse %20'lik bir azalma görüldüğü belirtilmiştir. Sinerjik pasif güneş enerjisi sistemlerinin uygulanması ile ısıtma enerjisi talebinin % 50'sinden fazlasının ve soğutma yükünün % 36'sına kadar olan kısmının karşılanabileceği belirtilmiştir.

Esen'in (2019) yaptığı çalışmada; sıcak-nemli iklim tipi için örnek bir yapı modeli oluşturulmuş ve enerji tüketim alternatifleri incelenmiştir. Örnek yapı, Autodesk Revit programında modellenmiş, GBS-Green Building Studio ve Autodesk Insight programlarında da YEM oluşturulmuştur. Çalışmada, YBM kullanılarak erken tasarım aşamasında yapının ömrü boyunca kullanacağı enerjinin tespit edilmesi, enerji etkin tasarım parametrelerinin YBM aracılığıyla alternatif senaryolar oluşturularak modele uygulanması ve optimum enerji kullanımının belirlenmesi hedeflenmektedir. Çalışma sonucunda, enerji etkin tasarım parametreleri uygulanan yapı ilk haline göre; elektrik tüketiminde %56.7, yakıt tüketiminde ise %89 oranında tasarruf sağlamıştır.

Köksal (2018) yaptığı çalışmada; Milli Eğitim Bakanlığı tarafından projelendirilmiş tip bir ilköğretim okulu projesinin enerji etkin iyileştirilmesi bağlamında çalışmalar yapmıştır. Yapıya ait tasarım parametrelerinde değişiklikler yaparak alternatif senaryolar oluşturulmuş ve oluşturulan senaryoların enerji tüketim değerleri irdelenmiş, seçilen bir derslik üzerinden aktif sistemler devre dışı bırakılıp pasif sistemin etkin olması durumunda derslik için iklim değişkenleri incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, okul yapılarında pasif sistemlerin etkin kullanılmasıyla aktif sistemlere duyulan ihtiyacın azalacağı ve ısıtma enerjisi kullanımının azaltılabileceği görülmüştür.

Çetin (2020) yaptığı çalışmada, soğuk iklim bölgesinde bulunan Erzurum'daki mevcut fakülte binasının enerji modelini yapmış ve çıkan enerji kullanım verilerini gerçek verilerle karşılaştırmıştır. Daha sonra mevcut model üzerinden alternatif senaryolar üreterek enerji tüketim değerleri hesaplanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, bina yönlenmesi, yapı kabuğu termofiziksel özellikleri, yapı kabuğu saydamlık oranı, yapı formu ve cam türlerinin bina enerji tüketimini etkilediği görülmüştür.

Gazioğlu (2012) tez çalışmasında, pasif tasarım değişkenlerine bağlı olarak ısıtma enerjisi harcamalarını incelemiş ve ısıtma enerjisi harcamalarını azaltmayı amaçlamıştır. Çalışmada, tasarım aşamasındaki bir bina TS-825'e uygun olarak modellenmiş, daha sonra farklı pasif tasarım değişkenlerine sahip bina alternatifleri oluşturulmuş ve oluşturulan bu alternatiflerin ısıtma enerjisi kullanımının önemli olduğu ılıman-nemli, ılıman-kuru ve soğuk iklim bölgelerini temsil eden İstanbul, Ankara, Erzurum illerinde uygulandığı varsayılmıştır.

Çalışma sonucunda, yapıların önemli miktarda enerji tüketmesine sebep olan ısıtma enerjisi, tasarım aşamasında iken yalnızca pasif tasarım alternatiflerine yönelik tasarımlar yapılarak ılıman ve soğuk iklim bölgelerinde, ısıtma enerjisi harcamalarında %20'lerde tasarruf sağlanabileceği belirtilmiştir.

Elbi (2019) çalışmasında; çok katlı bir toplu konut projesinde YBM ile enerji simülasyonlarının etkisini incelemiştir. Pencere, duvar gibi birçok yapı elemanının ve HVAC sistemlerinin alternatiflerini öneren program sayesinde farklı tasarım alternatifleri ortaya çıkmıştır. Çalışmalar sonucunda, YBM aracılığı ile bir yapının erken tasarım aşamasında enerji etkinliğinin geliştirilebileceği görülmüştür.

Aşıkoğlu (2014) çalışmasında; yurt dışında yaygın olarak kullanılmaya başlanan Pasif sistemlerin ülkemizde de kullanılabilirliği ve pasif sistemlerin kullanımının enerji tasarrufuna yapacağı etki konularına değinmiştir. Çalışmalar sonucunda, Türkiye’de pasif sistem çözümlerinin belirli standartlar ve yönetmelikler aracılığı ile uygulanması sonucunda, enerjinin etkin ve verimli kullanılması sağlanmış olacak ve yenilenebilir kaynakların kullanılması ile de ülke ekonomisinin enerjide dışa bağımlı konumu azalacak, sürdürülebilir mimari hedefine ulaşılacaktır.

Soysal (2008) çalışmasında; konut bloklarında yönlenme, yapı kabuğu U değeri, duvar-pencere oranları, ısıtılmayan dairelerin diğer dairelere etkisi konularına değinmiştir. Çalışmada ECOTECT 5.5V programı kullanılarak ısıtma yükleri simülasyonu yapılmıştır. Soysal’ın araştırmasına göre yapılar, yapı bloğunun içinde bulunduğu çevreden bağımsız düşünülmemeli; yapı boyutları, konumları, yönlenmeleri gibi önemli değişkenler güneş ve rüzgâr etkileri dikkate alınarak tasarlanmalıdır. Simülasyon sonucunda elde edilen veriler ile genelleme yapıldığında; kabuk bileşenlerinin U değeri, duvar / pencere oranı, yönlenme, camlı yüzeylerin yönü, balkonların camla kapatılması, ısıtılmayan mekânlar ile ısıtılan mekânlar arasındaki yalıtım ve katların güneşten yararlanma miktarları, ısıtma yükleri arasında farklılıklar oluşturan temel parametreler olmuşlardır.

4. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölümde YBM aracılığıyla mevcut bir yapının ısıtma enerjisi analiz edilmiştir. Yapının genel özellikleri, dış çevre özellikleri, bina kabuğunun termofiziksel özellikleri hakkında bilgi verilmiştir. Mevcut yapının 3 boyutlu modeli yapılmış daha sonra web tabanlı yazılımlar aracılığı ile ısıtma enerjisi kullanımı analiz edilmiştir. Pasif sistemler olarak yapının; pencerelerinde ve dış duvarlarında farklı U değerine sahip alternatiflerin ısıtma enerjisi üzerine etkisi irdelenmiştir. Yapının cephelerinin pencere-duvar oranlarında değişiklikler yapılarak enerji değişimi incelenmiştir. Aktif sistemler olarak da bina ısıtma sistemi üzerinde değişiklikler yapılmış, PV paneller eklenmiş ve yapılan bu değişikliklerin ayrı ayrı ısıtma enerjisi kullanımına etkisi belirlenmiştir.

4.1. YBM Aracılığıyla Mevcut Bir Yapının Isıtma Enerjisi Analizi

Çalışmanın bu bölümünde mevcut bir yapının Autodesk Revit ile 3 boyutlu modeli oluşturulmuştur. Revit'in web tabanlı yazılımı olan Insight 360 ile de enerji modeli oluşturularak yapı YBM sürecine dâhil edilmiştir. Enerji modeli ile yapının mevcut ısıtma enerjisi tüketimi tespit edilmiştir. Yapı üzerinde bazı parametrelerde değişiklikler yapılarak, bu durumun ısıtma enerjisi üzerine etkisi araştırılmıştır. Yapının;

- Saydam ve opak yüzey oranları,
- Saydam ve opak yüzey özellikleri U değerleri,
- Enerji etkin sistemler gibi bileşenleri üzerinde değişiklikler yapıp çıkan sonuçların ısıtma enerjisi üzerine etkisi araştırılmıştır.

4.1.1. Analiz edilen yapının genel özellikleri ve tanıtımı

Isıtma enerjisi analizlerinin yapılması için eğitim yapısı olan mevcut bir yüksekokul yapısı seçilmiştir. Seçilen eğitim yapısı Samsun ilinin Kavak ilçesinde 2012 yılında yapılmış olup 2 katlıdır. Yapının tam adı; Samsun Üniversitesi, Kavak Meslek Yüksekokulu olup, açık adresi Mehmet Paşa Mah. 16. Sok. No: 10 55850 Kavak / Samsun'dur. Yapının enlem ve boylamı: 41 dr. 04 dk. Kuzey, 36 dr. 02 dk. Doğu şeklindedir.

Yapının bodrum kat planı şekil 4.1’de gösterilmiştir. Yapının bodrum kat kuzeydoğu cephesinde derslikler ve öğrenci yemekhanesi; kuzeybatı cephesinde derslikler ve tesisat birimleri; güneybatı cephesinde öğretim görevlisi yemekhanesi, derslik ve teknik birimler; güneydoğu cephesinde kafeterya ve yemekhaneler bulunmaktadır.



Şekil 4.1. İncelenen Kavak MYO eğitim binası bodrum kat planı

Yapının zemin kat planı şekil 4.2’de gösterilmiştir. Yapının zemin kat kuzeydoğu cephesinde derslikler ve öğrenci girişi; kuzeybatı cephesinde derslikler; güneybatı cephesinde personel odaları, derslikler, ortak kullanım alanları ve depolar; güneydoğu cephesinde yapının ana girişi, ortak kullanım alanları bulunmaktadır.



Şekil 4.2. İncelenen Kavak MYO eğitim yapısı zemin kat planı

İncelenen yapıya ait dış cephe görselleri Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. İncelenen yapı kuzey yönü öğrenci girişi



Şekil 4.4. İncelenen yapının kuzey doğu cephesi



Şekil 4.5. İncelenen yapının kuzeybatı cephesi



Şekil 4.6. İncelenen yapının güneybatı cephesi



Şekil 4.7. İncelenen yapının güneydoğu cephesi



Şekil 4.8. İncelenen yapının doğu yönü ana girişi

Yapıya ait iç mekân görselleri Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11’de gösterilmiştir.



Şekil 4.9. İncelenen yapının ana girişi ve ana girişten iç mekana bakış (zemin kat)



Şekil 4.10. İncelenen yapının kafeterya önü ve hol (bodrum kat)



Şekil 4.11. İncelenen yapının bodrum kata inen merdiveni ve hol (bodrum kat)

4.1.2. Yapıya ilişkin değişkenler

Yapının yeri, formu, yönelimi, yapıda bulunan mekânların dağılımı, yıllık ısıtma enerjisi kullanımı, opak ve saydam yapı kabuğu özellikleri gibi değişkenler yapıya ilişkin değişkenleri oluşturur.

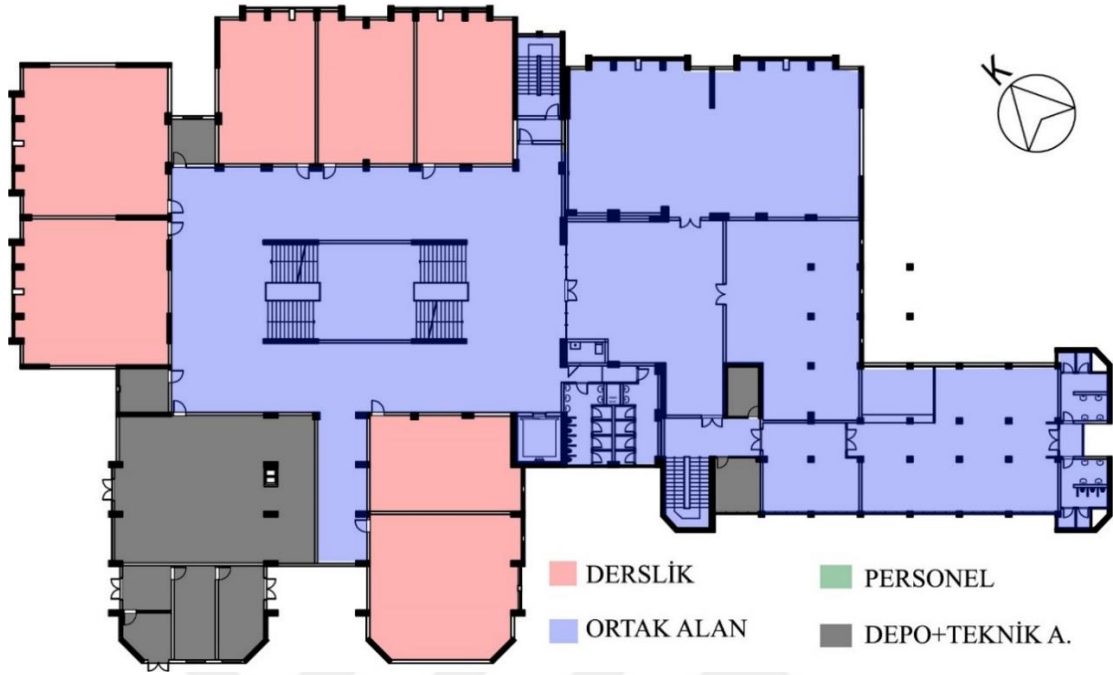
Örnek olarak incelenen yapı, 2. Derece-gün bölge illerinden olan, ılıman nemli Samsun ikliminde bulunmaktadır. Yakın çevresinde güneş ışınlarının yapıya ulaşmasını engelleyen yapılaşma bulunmamaktadır. Yapı, çevresindeki hâkim rüzgâr etkilerine açık konumdadır (Şekil 4.12).



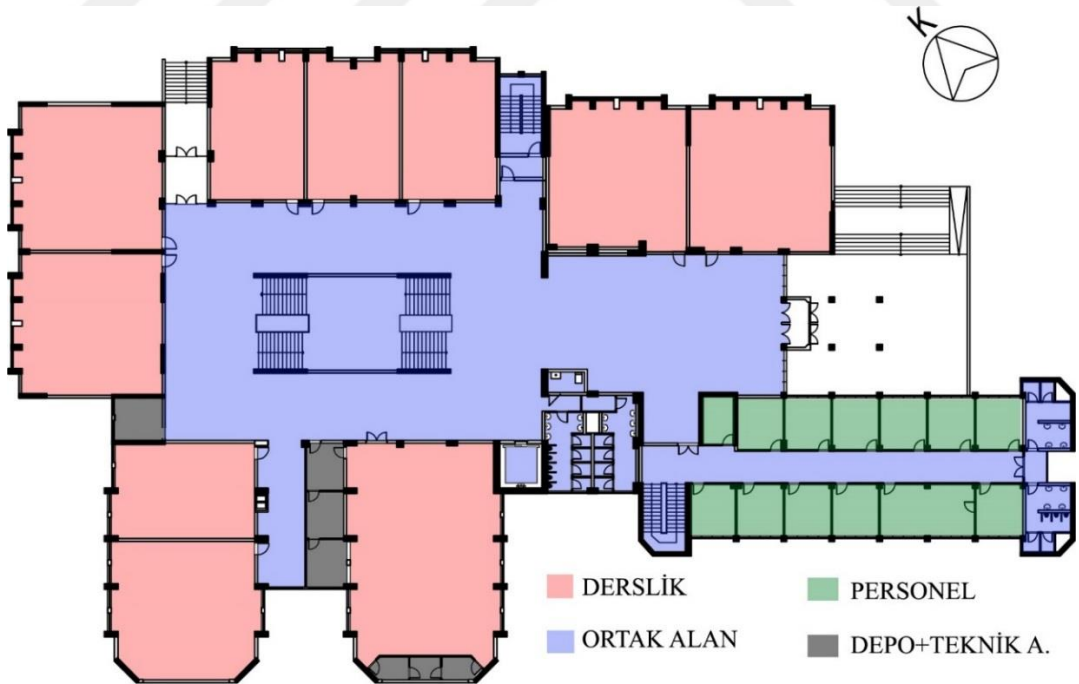
Şekil 4.12. İncelenen yapının yakın çevresi ile görünümü (Google Earth)

İncelenen yapı serbest planlı forma sahip ve derinliği fazladır. Yapının derinliğinin fazla olması, cephelere açılmayan ortak alanların yeteri kadar gün ışığı alamamasına sebep olmaktadır.

Derslikler, personel odaları ve yemekhane gibi birimler yapının cephelerinde konumlandırılmış gün ışığı alan mekânlar iken, dolaşım alanları yapının merkezinde gün ışığı alamayan mekânlardır. Yapının bodrum kat planı ve zemin kat planı; derslik, personel, ortak alan, depo+teknik oda şeklinde gruplandırılmış ve Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'te gösterilmiştir.



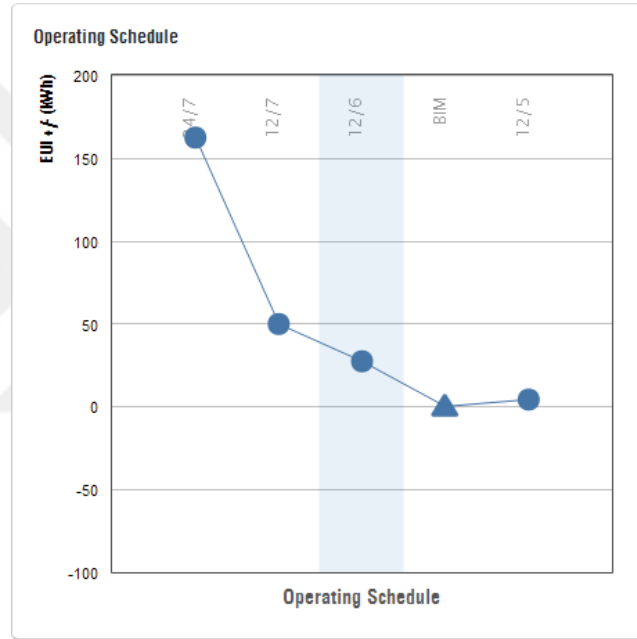
Şekil 4.13. Bodrum kat planı şematik gösterim.



Şekil 4.14. Zemin kat planı şematik gösterim.

4.1.3. Kullanıcı bilgileri

İncelenen yapı eğitim binasıdır ve kullanıcı sayısı 25 personel, 1 094 öğrenci olmak üzere toplam 1 119'dur. Autodesk Revit programında enerji simülasyonu yapılacak olan yapıların, kullanım türlerine (konut, hastane, okul vb. gibi) göre yapı kullanım aralıkları tanımlanmıştır. İncelenen yapının kullanım aralığı, yükseköğrenim yapısı olduğundan 5/12 olarak seçilmiştir. Yapıya ait kullanım periyodu grafiği Revit programı ile birlikte çalışan Insight yazılımında şekil 4.15.'deki gibi görülmektedir.



Şekil 4.15. İncelenen yapı kullanım periyodu grafiği

4.1.4. Dış çevreye ilişkin değişkenler

Topoğrafya, bitki dokusu, yapıli çevre, iklim gibi veriler analiz edilen yapının dış çevreye ilişkin değişkenleridir.

İklim özellikleri

İklim özellikleri için yapının bulunduğu il olan Samsun ilinin iklim verileri kullanılmıştır. Şekil 4.16’da Samsun ilinin 1929-2019 tarihlerinde aylara göre ortalama sıcaklık ve yağış tablosu verilmiştir.

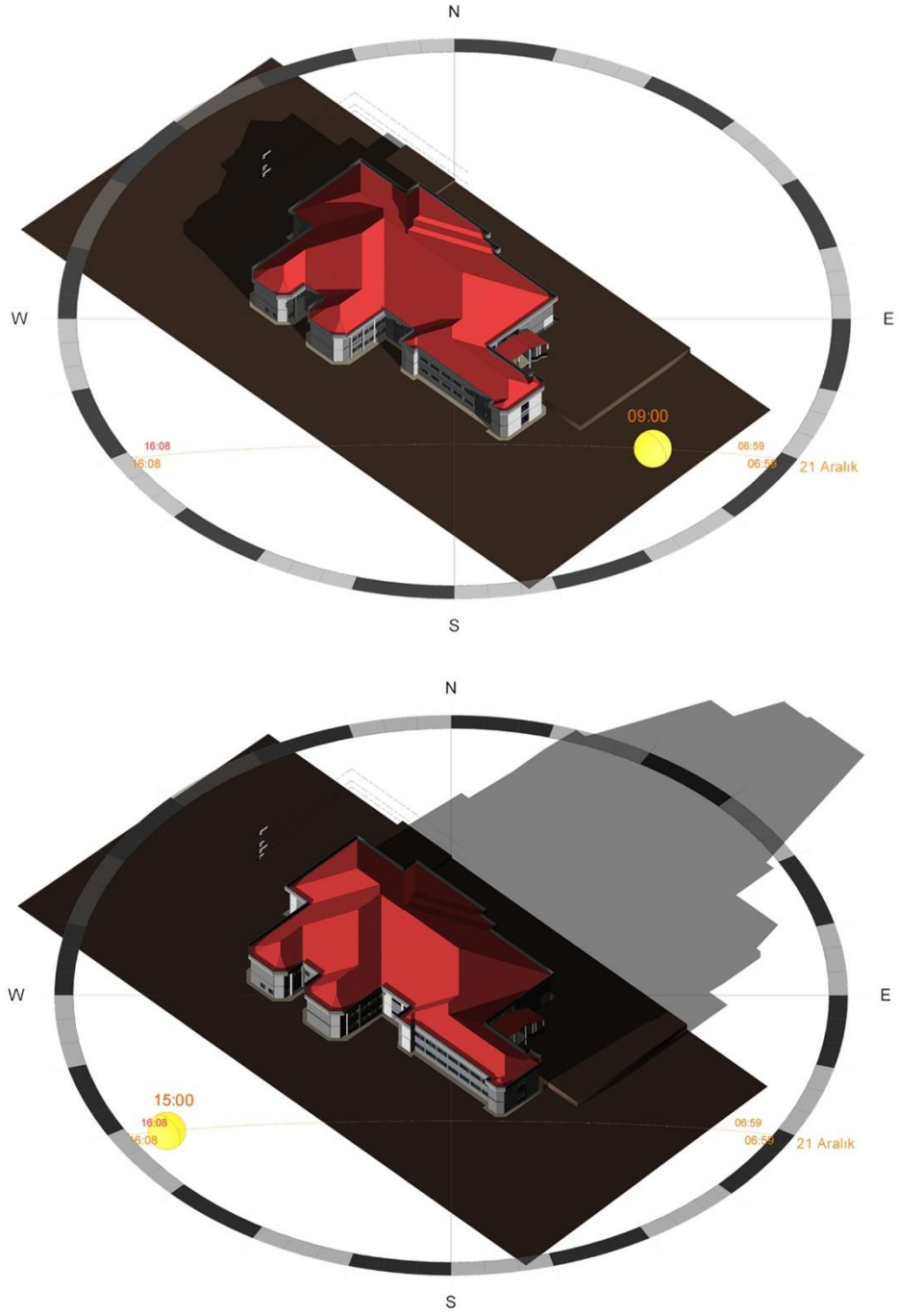
SAMSUN	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1929 - 2019)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	7.1	7.1	8.0	11.2	15.5	20.2	23.1	23.5	20.2	16.4	12.7	9.3	14.5
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	10.6	10.9	12.0	15.2	19.1	23.6	26.4	27.0	23.9	20.3	16.7	13.0	18.2
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	4.0	3.8	4.6	7.8	12.1	16.1	19.0	19.6	16.4	12.9	9.3	6.2	11.0
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.6	3.2	3.5	4.6	6.2	8.2	8.7	8.1	6.3	4.6	3.7	2.7	62.4
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	13.5	13.6	15.2	13.5	12.7	9.2	6.0	6.3	9.6	12.0	11.9	12.9	136.4
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	71.5	58.4	66.8	57.1	48.5	45.5	35.2	37.5	53.7	78.9	83.3	81.9	718.3

Şekil 4.16. Samsun ilinin 1929-2019 tarihlerinde aylara göre ortalama sıcaklık ve yağış tablosu (Anonim, 2021c)

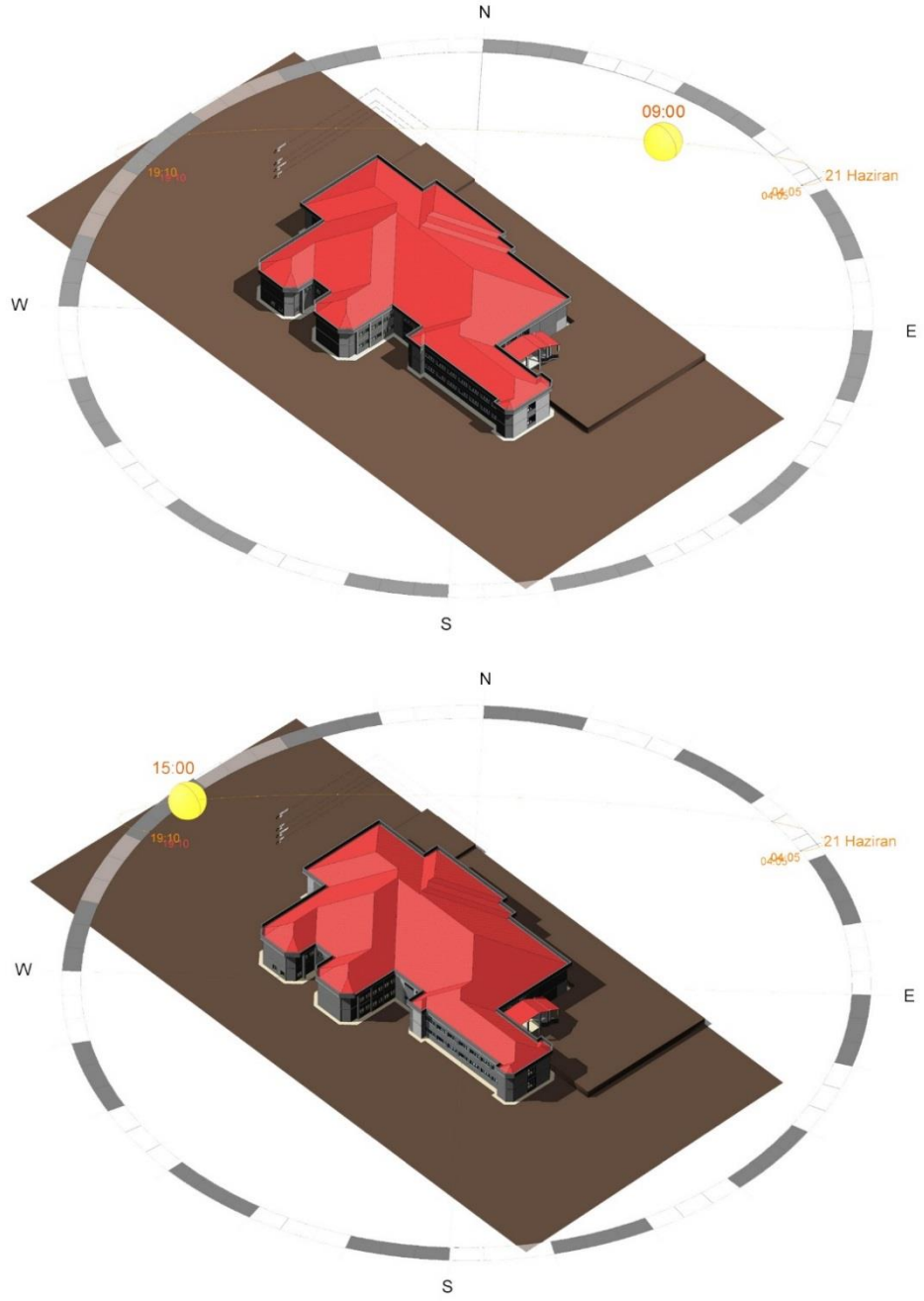
Samsun ili için ısıtma istenilen zaman dilimi kasım ile mayıs ayları da dâhil yaklaşık 7 ayı kapsamaktadır. Tasarlanacak herhangi bir yapının ısıtma istenilen zaman dilimine göre tasarlanması, yapının ısıtılması için kullanılacak enerjiyi azaltacaktır.

Güneş analizleri

İncelenen yapı için Revit programı ile yapı kütlesi üzerine düşen güneş ışıını analiz edilmiştir. Yapının konumu ve yönlendirilişi Revit programına girilerek, yapının belirli tarihlerdeki güneş ve gölge alanları incelenmiştir. Şekil 4.17.’de 21 Aralık tarihinde; 9.00 ve 15.00 saatleri için yapılan güneş ve gölge analizleri, şekil 4.18’de 21 Haziran tarihinde; 9.00 ve 15.00 saatleri için yapılan güneş ve gölge analizleri verilmiştir.



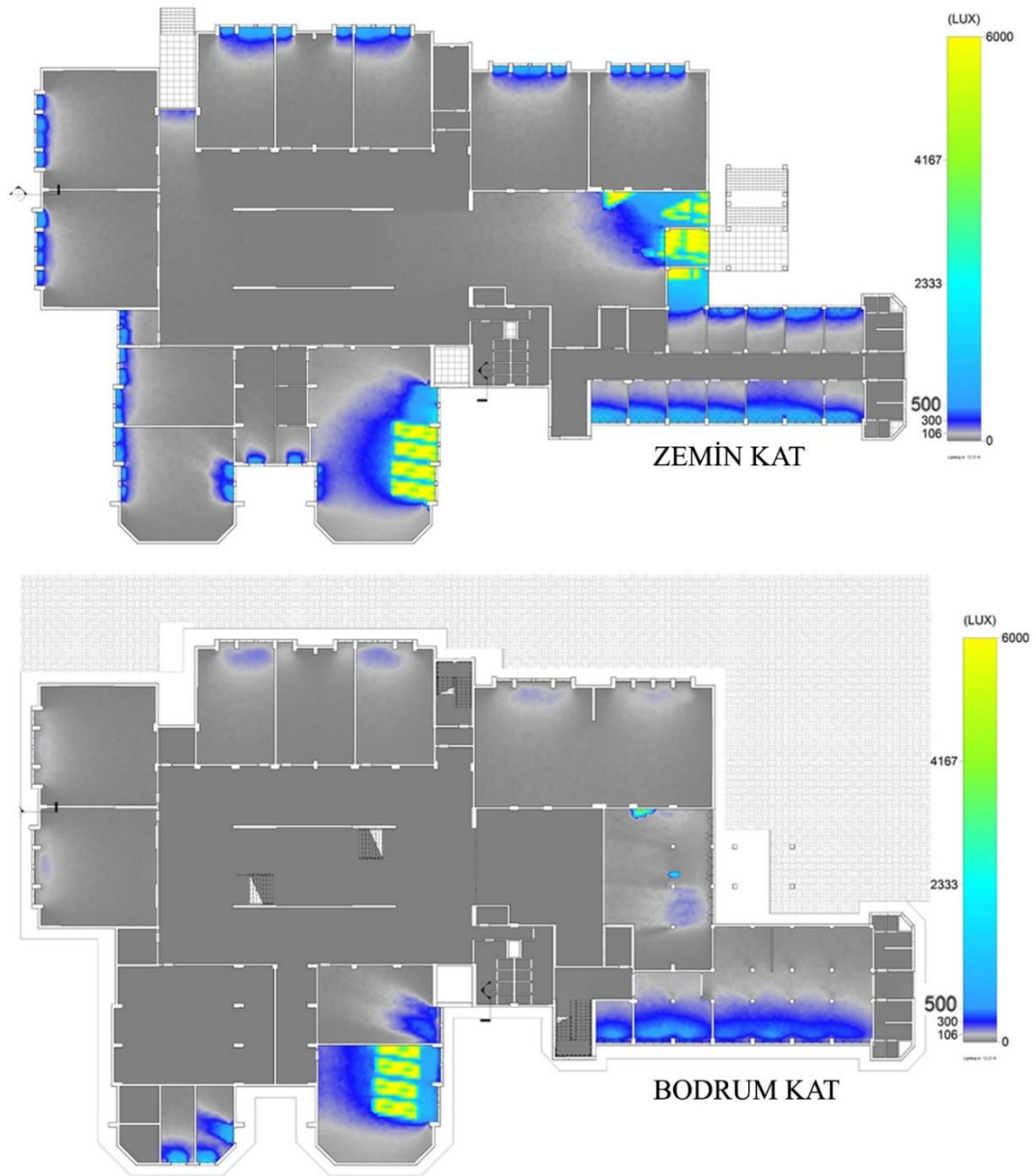
Şekil 4.17. 21 Aralık tarihinde; 9.00 ve 15.00 saatleri için yapılan güneş ve gölge analizleri



Şekil 4.18. 21 Haziran tarihinde; 9.00 ve 15.00 saatleri için yapılan güneş ve gölge analizleri

Gün ışığı ve gölge analizleri

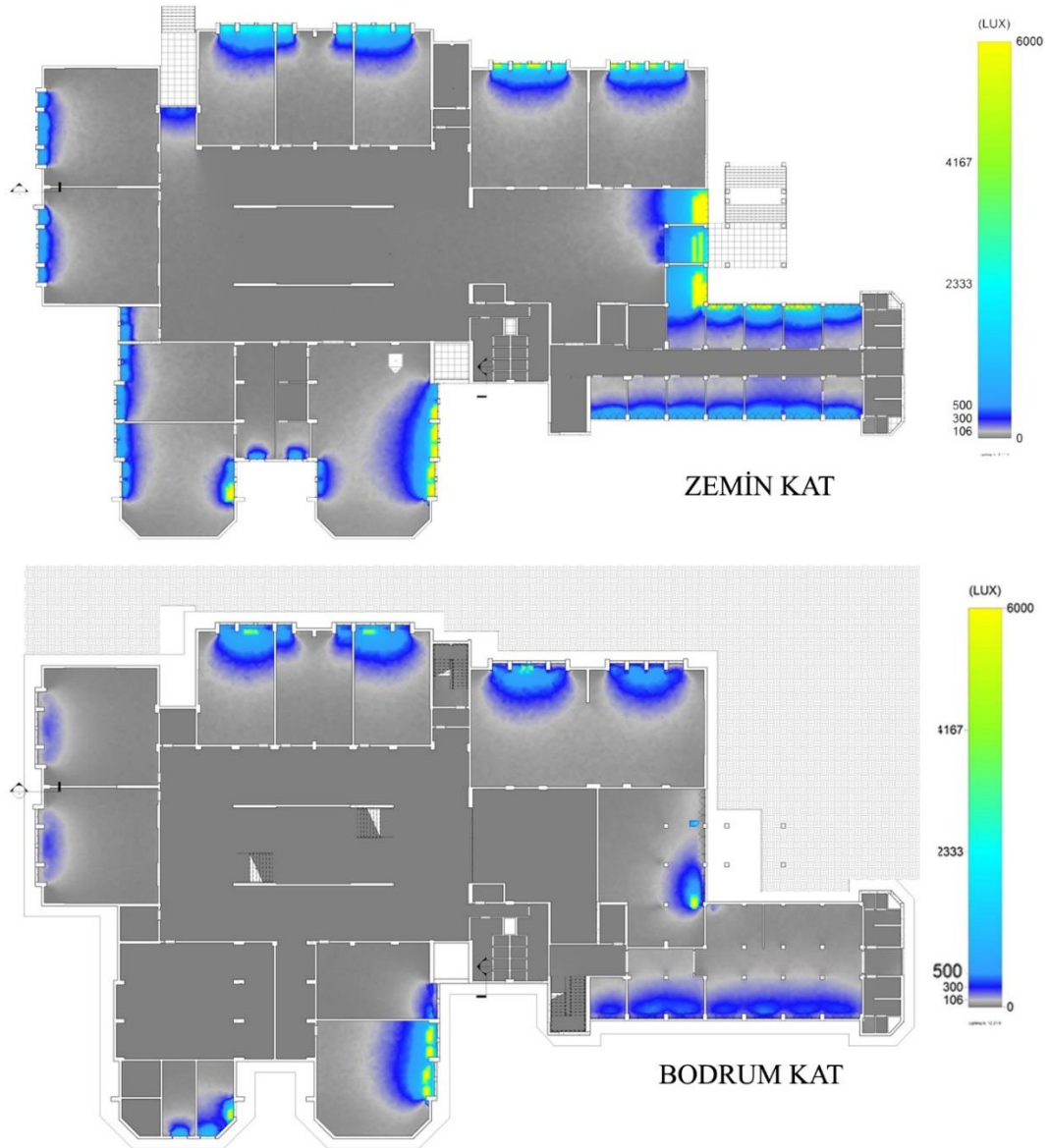
Samsun ili verileri Revit programının web tabanlı eklentisi olan Insihgt'a girilerek incelenen yapının iç mekân gün ışığı ve gölge alanları incelenmiştir. Analizler 21 Haziran ve 21 Aralık tarihlerinde saat 9.00 için yapılmıştır (Şekil 4.19, Şekil 4.20).



Şekil 4.19. İncelenen yapı bodrum kat ve zemin kat, 21 Aralık saat 09.00 için iç mekân gün ışığı analizi

Eğitim yapılarında derslikler için aydınlık düzeyi alt eşik değeri 500 L x olarak belirlenmiştir(Elektrik Mühendisleri Odası). Insight verilerinde; gri tonlamalar 300 l x n altındaki aydınlık alanları ifade etmektedir. Mavi, yeşil ve sarı renkler ise 300 l x n üzerindeki aydınlık alanları ifade etmektedir.

Derinliği fazla olan yapının ortak kullanım alanları gün işığını 300 l x n altında almaktadır.

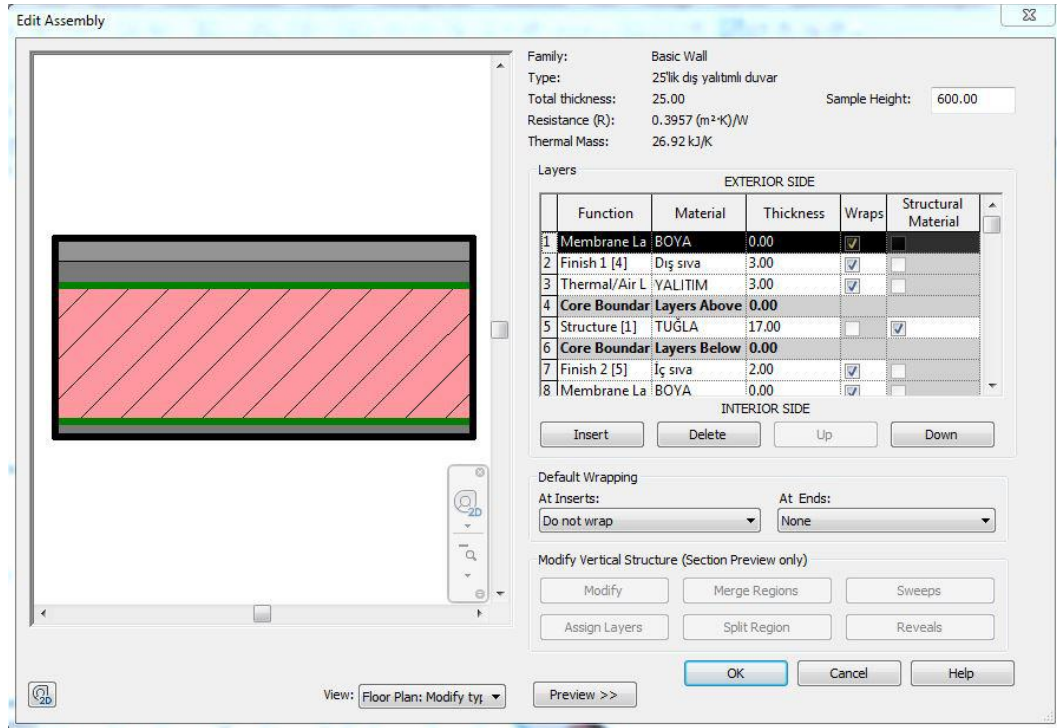


şekil 4.20. İncelenen yapı bodrum kat ve zemin kat, 21 Haziran saat 09.00 için i  mekân gün işığı analizi

4.2 YBM ile Yapının 3 Boyutlu Modelinin Yapılması

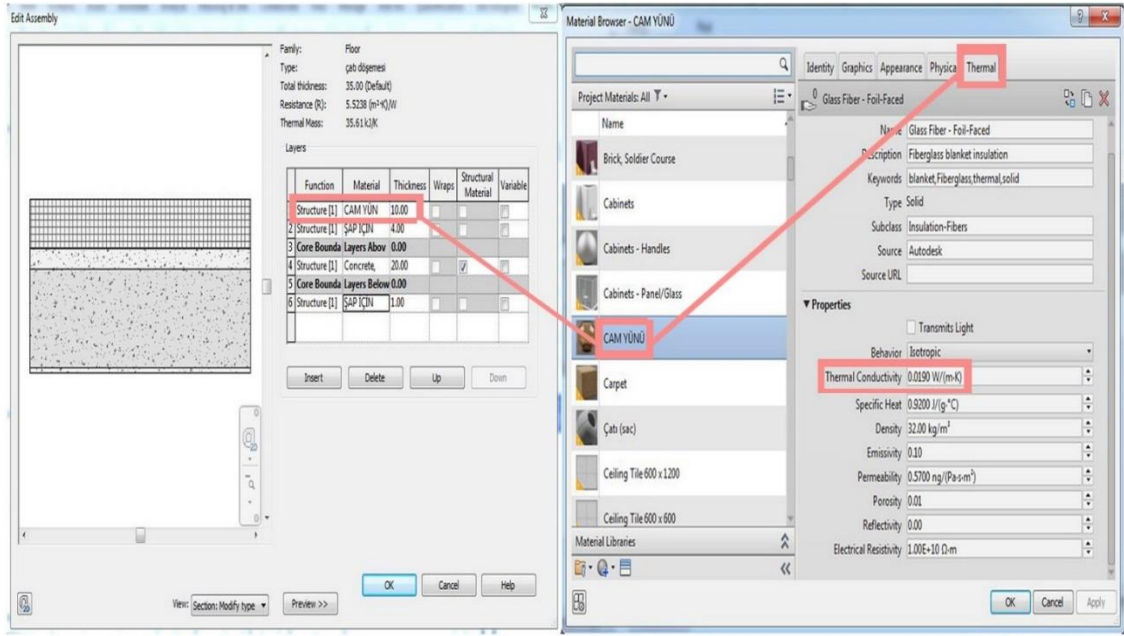
4.2.1 Autodesk Revit ile yapı modeli oluşturma ve enerji analizi ayarları

Revit yazılımı ile yapının modelini oluşturmak için yapıya ait malzeme özellikleri akıllı nesneler aracılığıyla ayrıntılı ve eksiksiz olarak programa işlenmiştir (Şekil 4.21). Bunun amacı enerji analizinde doğru veriye ulaşmaktır.



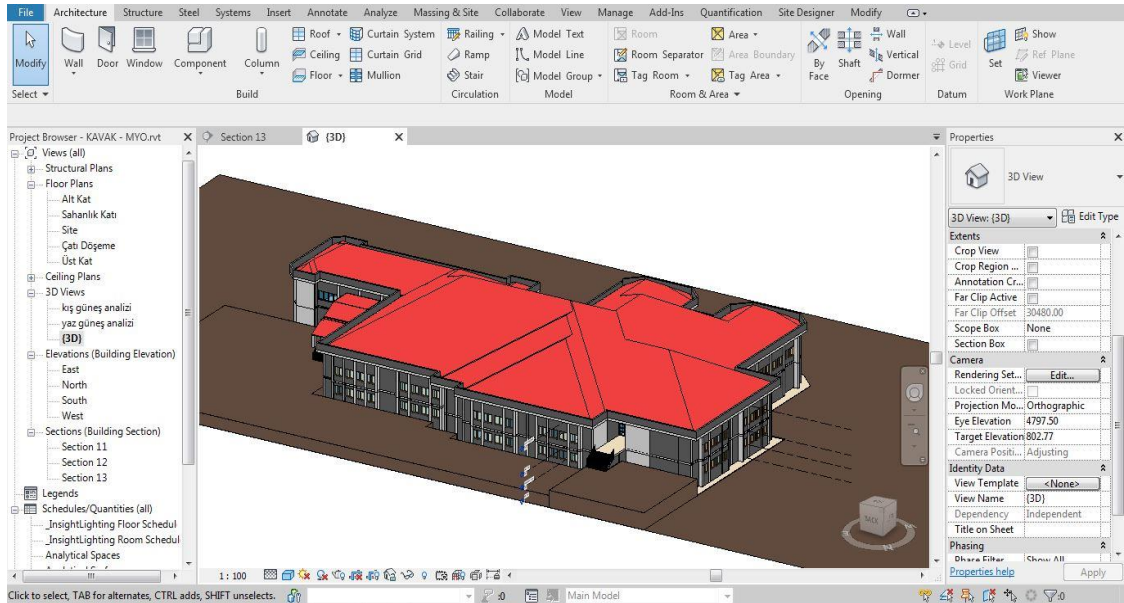
Şekil 4.21. Yapı dış duvar katmanları detaylı modelleme penceresi

Model; kütle modeli, detaylı yapı elemanlarıyla oluşturulan model ya da hem kütle modeli hem detaylı yapı elemanları ile oluşturulan model şeklinde oluşturulabilmektedir. Yapı bileşenlerine ait her bir U değeri, yapı dijital ortamda inşa edilirken detaylı olarak modele işlenmelidir. Şekil 4.22’de görüldüğü gibi her yapı katmanının programda tanımlı U değeri mevcuttur.

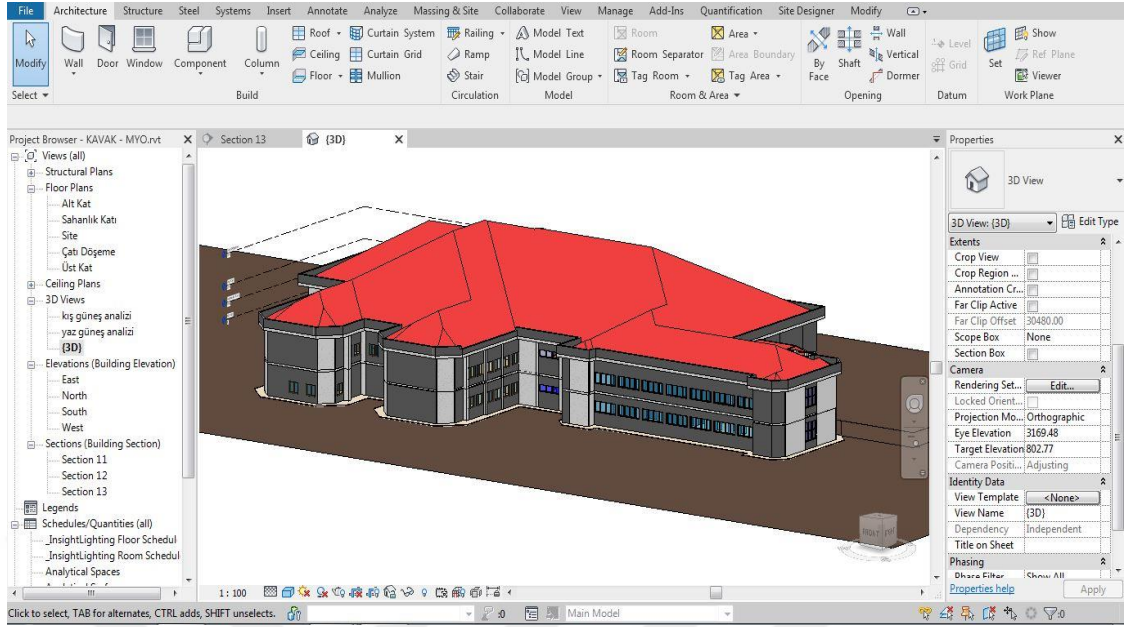


Şekil 4.22. Revit'te yapının detaylı modelinin oluşturulması, yapı elemanı katmanları ve termal özelliklerin gösterimi

Şekil 2.23 ve Şekil 2.24'te yapıya ait, Revit programında oluşturulan model görselleri verilmiştir.



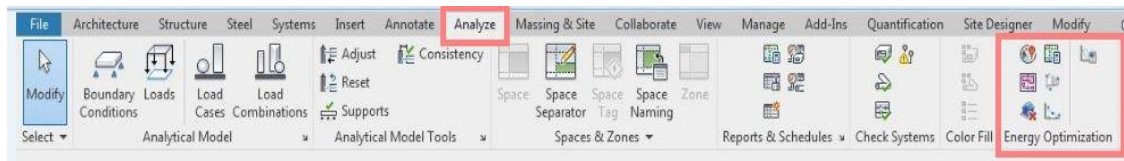
Şekil 4.23. İncelenen yapının model görseli



Şekil 4.24. İncelenen yapının model görseli

Model oluşturulduktan sonra yapıya ait enerji tanımlamaları yapılmıştır. Revit'te Analize sekmesi altında enerji ayarları mevcuttur. Analize sekmesinde (Şekil 4.25) Enerji Optimization bölümünde:

- Yapının konumu,
- Yapı tipi, plan düzlemi,
- Yapının günlük kullanım aralığı,
- HVAC işletim sistemi,
- Enerji analizinde mekanların hacim ya da alan olarak tanımlanması,
- Modelde kullanılan yapı malzemelerin detaylandırılması,
- Yapı modeli oluştururken ki malzeme özelliklerinin enerji modeline aktarılıp aktarılmayacağı gibi enerji ayarları mevcuttur (Şekil 4.26, Şekil 4.27, Şekil 4.28).



Şekil 4.25. Autodesk Revit Analize sekmesi gösterimi

Energy Settings

Parameter	Value
Energy Analytical Model	
Mode	Use Building Elements
Ground Plane	Üst Kat
Project Phase	New Construction
Analytical Space Resolution	45.72
Analytical Surface Resolution	30.48
Perimeter Zone Depth	457.20
Perimeter Zone Division	☒
Average Vertical Void Height Threshold	182.88
Horizontal Void/Chase Area Threshold	0.093 m ²
Advanced	
Other Options	Edit...

[How do these settings affect energy analysis?](#)

OK Cancel

Şekil 4.26. Revit enerji ayar (Energy Settings) parametreleri

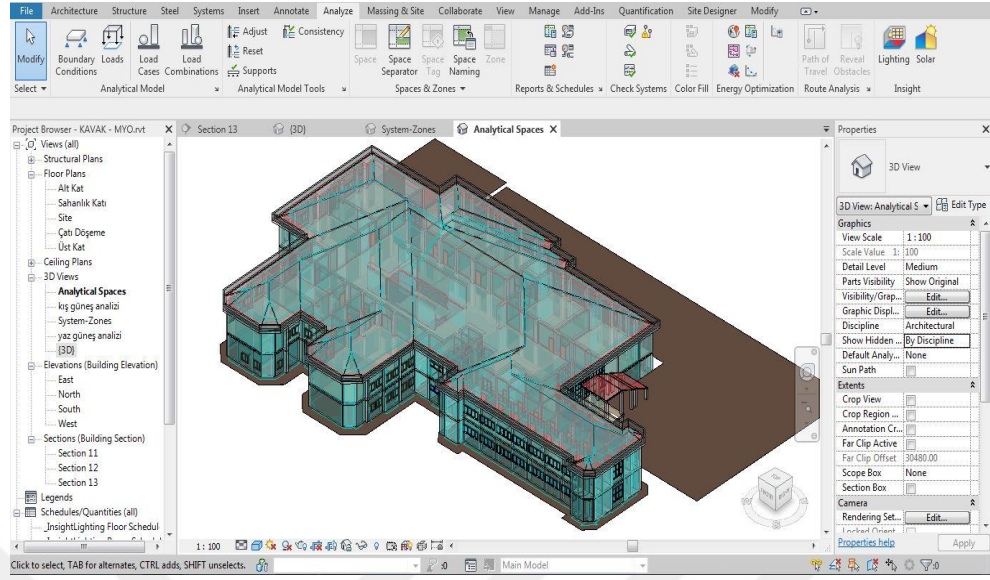
Advanced Energy Settings

Parameter	Value
Detailed Model	
Target Percentage Glazing	0%
Target Sill Height	75.00
Glazing is Shaded	☐
Shade Depth	45.72
Target Percentage Skylights	0%
Skylight Width & Depth	91.44
Building Data	
Building Type	School or University
Building Operating Schedule	12/5 Facility
HVAC System	11.3 EER Packaged VAV, 84.4% boiler heating
Outdoor Air Information	Edit...
Room/Space Data	
Export Category	Rooms
Material Thermal Properties	
Conceptual Types	Edit...
Schematic Types	<Building>
Detailed Elements	☒

[How do these settings affect energy analysis?](#)

OK Cancel

Şekil 4.27. Revit gelişmiş enerji ayar (Advanced Energy Settings) parametreleri

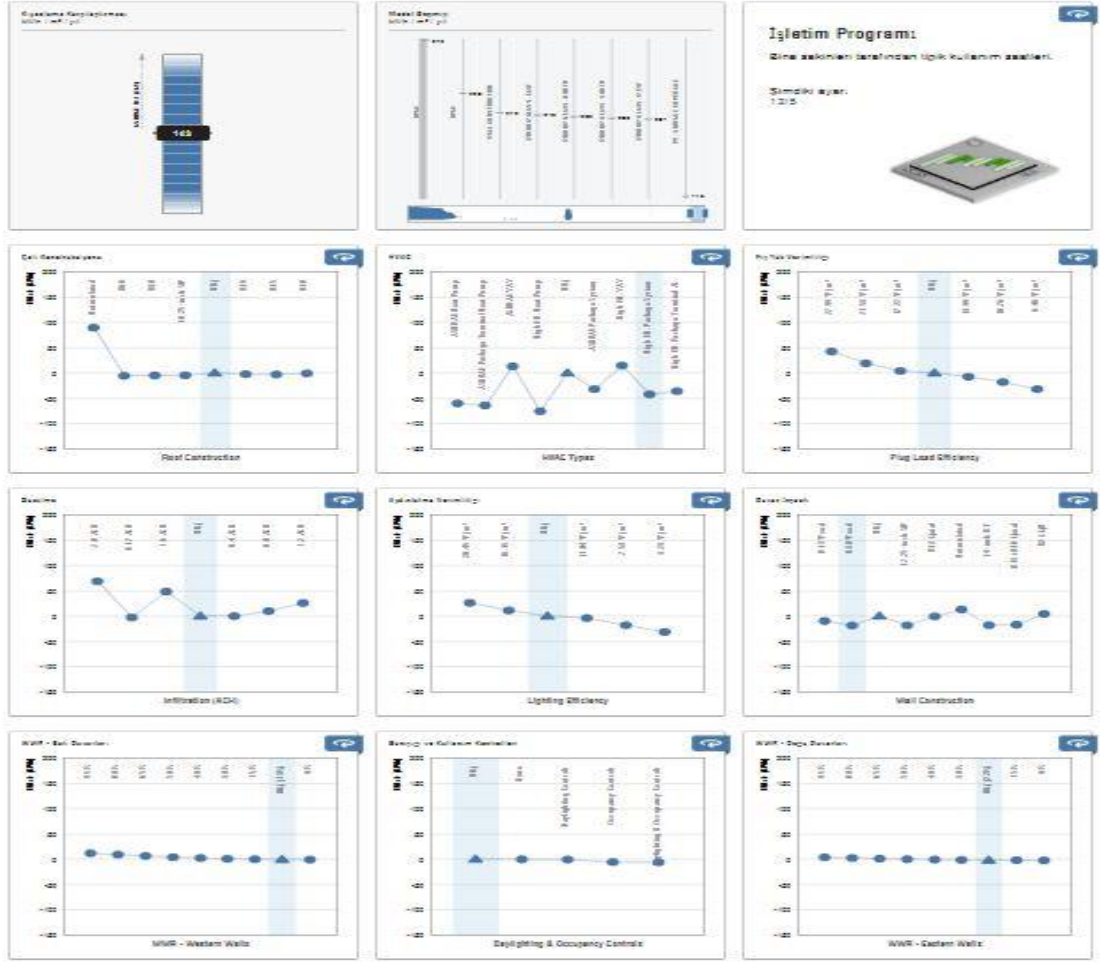


Şekil 4.28. Yapının enerji ayarları yapıldıktan sonra ki analitik alanların (Analytical Spaces) görüntüsü

4.2.2 Autodesk Insight 360 eklentisi ile enerji analizi

Autodesk Insight 360, web tabanlı yazılım olup Revit ile bütünleşmiş bir şekilde çalışmaktadır. Bir yapının Insight ile enerji simülasyonunun yapılabilmesi için Revit'te modelinin yapılmış olması ve enerji ayarlarının tanımlanması gerekmektedir.

Yapı modeli üzerinde tanımlanan değerler Autodesk Revit üzerinden çevrimiçi olarak Autodesk Insight'a yönlendirilir ve web sitesi üzerinden değerler elde edilir. Insight programında çeşitli ayarlamalar yapılarak alternatif enerji kullanım senaryoları oluşturulabilmektedir. Insight da duvar, pencere, çatı, HVAC işletim sistemi, yapı yönü gibi birçok parametre bulunmaktadır. Herhangi bir veya birden çok parametrede yapılan değişikliğin enerji kullanım miktarına etkisi anlık olarak görülmektedir (Şekil 4.29).



Şekil 4.29. Insight 360 yapı bileşenleri alternatifleri ekranı

5. BULGULAR

5.1. İncelenen Yapının Isıtma Enerjisi Analizi

İncelenen yapının ısıtılması için 2019 yılında yaklaşık 30 ton fuel-oil kullanılmıştır. Yıllık ısıtma süresi olarak 7 aylık süre (kasım, aralık, ocak, şubat, mart, nisan, mayıs) baz alınmıştır.

Yıllık toplam enerji formülü aşağıda verilmiştir (Anonim, 2021b).

$$Q = B * Hu * \eta$$

Q = Toplam yük (Yıllık Toplam Enerji, kWh)

B =Yakıt miktarı (kg)

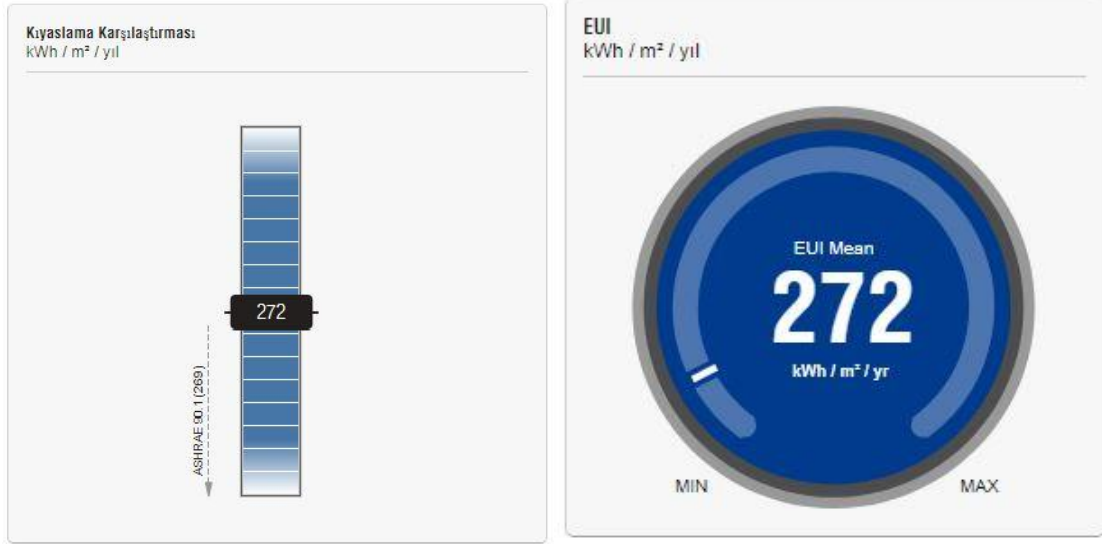
Hu = Yakıtın alt ısı değeri (kWh/kg)

η = Verim (%)

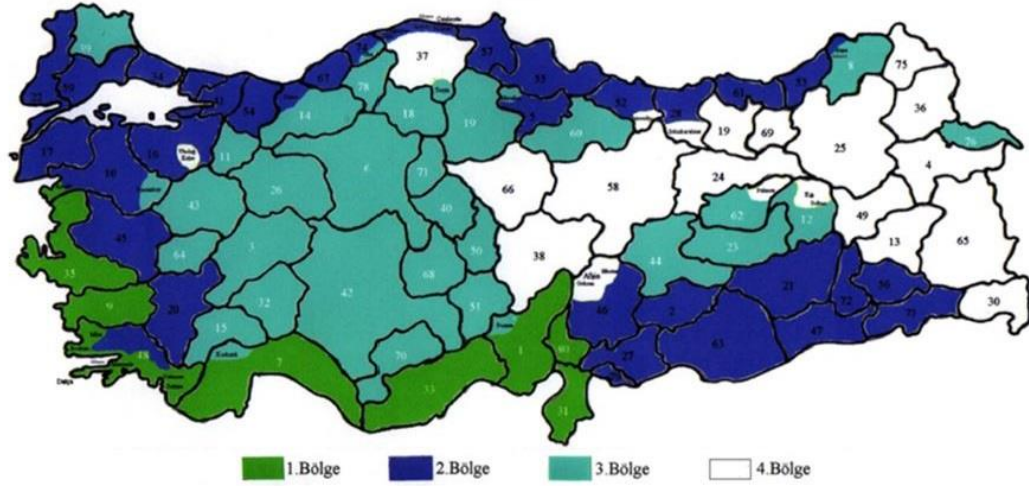
Fuel-oil yakıtının alt ısı değeri 10.69 kWh/kg, yanma verimliliği %80'dir (Anonim, 2021a).

Değerler formülde yerine konulduğunda bir yılda tüketilen toplam ısıtma enerjisi 256 560 kWh'dir. Bulunan değer, yapının yıllık ısıtılma süresi olan 150 gün * 12 saat ve ısıtılan toplam alan olan 4 589 m²' ye oranlanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda mevcut yapının 2019 yılı için ısıtma enerjisi kullanımı 268 kWh/m²/y'dir.

Yapının, Autodesk Revit programında YBM oluşturulduktan sonra Revit programının web tabanlı uzantısı olan Insight 360 yazılımında ısıtma enerjisi kullanımı incelenmiştir. İlk olarak yapıya ait veriler programa girilmiştir. Program verileri sonucunda yapının yıllık ısıtma enerjisi kullanımı 272 kWh/m²/y olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.1). Hesaplamalar yapılırken priz ve aydınlatma yükleri hesaplamalara dahil edilmemiştir. 2019 yılı ısıtma enerjisi kullanımı ve YBM ile oluşturulan modelin yıllık ısıtma enerji kullanımı kıyaslandığında %1.49'luk yanılma payı ile ASHRAE yönetmelik 14'te tavsiye edilen % 5 üst sınır değerlerin altında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.1. Autodesk Insight 360 programında, enerji kullanım miktarını gösteren ekran.



Şekil 5.2. Derece-gün bölgelerine göre illerimiz (TS 825, Mayıs 2008).

Çizelge 5.1. TS 825' e göre farklı iklim bölgeleri için azami kabuk U değerleri.

	U _D (Duvar)	U _T (Tavan)	U _t (Taban)	U _P (Pencere)
1. Bölge	0,70	0,45	0,70	2,4
2. Bölge	0,60	0,40	0,60	2,4
3. Bölge	0,50	0,30	0,45	2,4
4. Bölge	0,40	0,25	0,40	2,4

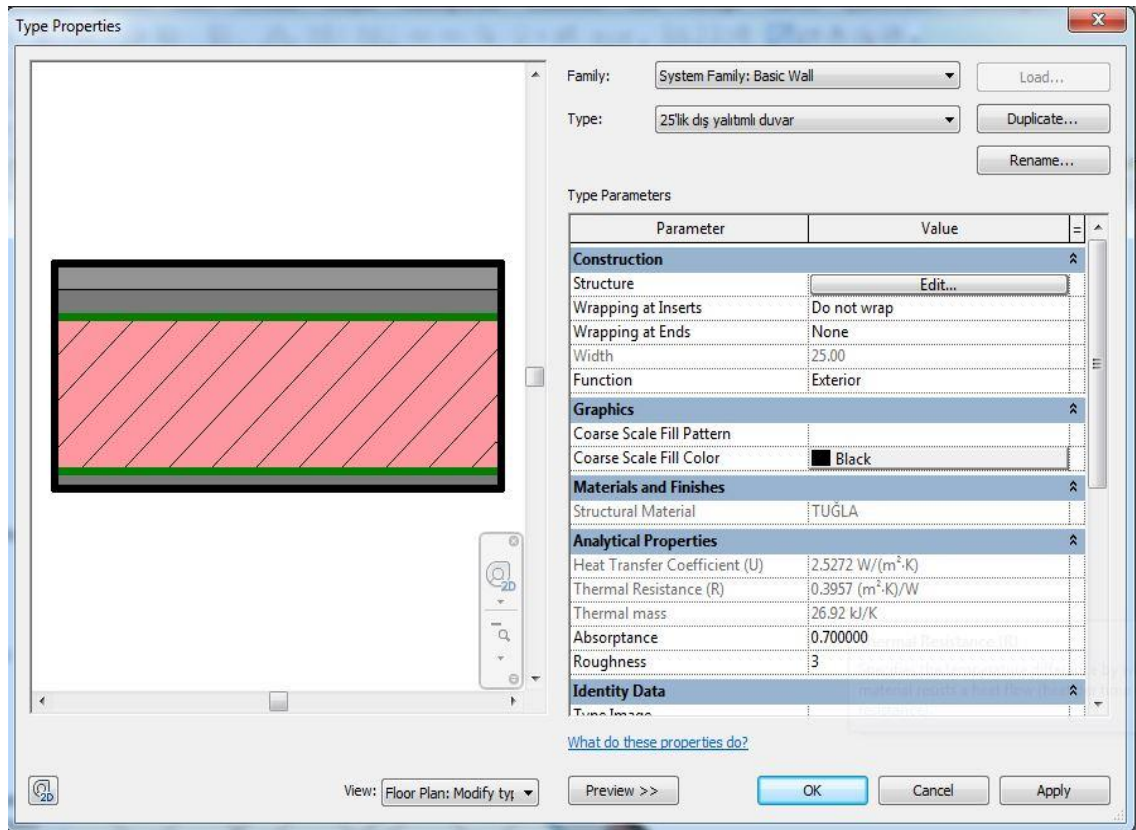
Çizelge 5.2. İncelenen yapı kabuk bileşenlerinin fiziksel yapıları ve ısı geçirme katsayı değerleri

	Malzeme	Kalınlık	Isı Geçirme Katsayısı, U (W/m ² K)	TS 825'de maksimum U değeri (W/m ² K)
Dış Duvar	Dış Cephe Boyası		2,52	0,60
	Dış Sıva	3 cm		
	XPS Yalıtım	3 cm		
	Tuğla Duvar	17 cm		
	İç Sıva	2 cm		
	İç Cephe Boyası			
Çatı Döşemesi	Cam Yünü	10 cm	0,18	0,40
	Şap	4 cm		
	Betonarme Döşeme	20 cm		
	Sıva	2 cm		
	Boya			
Taban	Seramik	1 cm	0,72	0,60
	Harç			
	Şap	3 cm		
	Betonarme Radye Temel	75 cm		
	Koruma Şapı	5 cm		
	Çift Kat Membran			
	Grobeton	10 cm		
	Blokaj	8 cm		
	Toprak Zemin			
Pencere	PVC Doğrama		2,74	2,40
	Cam	6 mm		
	Hava Boşluğu	13 mm		
	Cam	6 mm		

5.1.1. Yapı dış duvarları için farklı U değer alternatiflerin ısıtma enerjisi kullanımına etkisi

Türkiye, TS 825' e göre ortalama sıcaklık değerleri temel alınarak 4 farklı gün derece bölgesine ayrılmıştır (Şekil 5.2). Farklı gün derece bölgeleri için duvar, tavan, taban ve pencere bileşenlerine ait azami ısı geçirime katsayısı (U) belirlenmiştir (Çizelge 5.1).

İncelenen yapı dış duvarlarının ısıtma enerjisi üzerine etkisini araştırmak için dış duvarlar hariç diğer bütün bileşenler sabit tutulmuştur.



Şekil 5.3. Revit programında düzenlenen dış duvar planı ve U değeri

Web tabanlı Insight 360 programı üzerinden farklı U değerli duvar alternatifleri denenmiştir (Şekil 5.4, Çizelge 5.3).

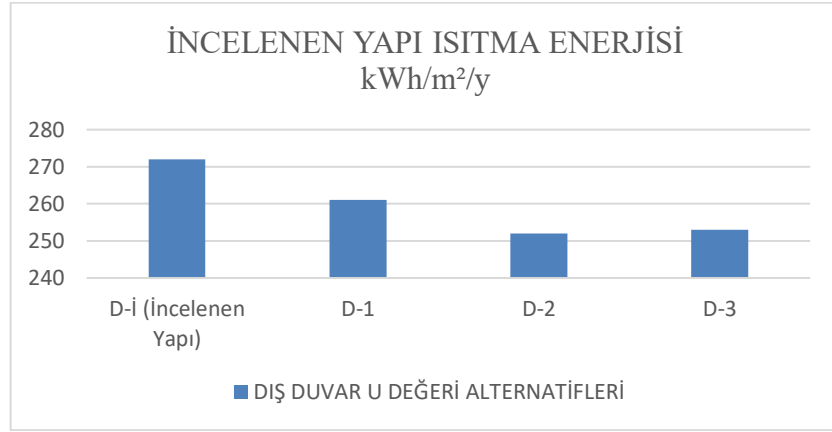


Şekil 5.4. Duvar inşaatı-EUI grafiği (kWh/m²/y)

Çizelge 5.3. Dış duvar için farklı U değerine sahip alternatifler

Alternatif İsimlendirme	Insight 360 İsimleri	Isı Geçirme Katsayısı, U (W/m ² K)
D-İ (İncelenen yapı)	BIM	2.5272
D-1	R 13 Wood	0.5056
D-2	R 38 Wood	0.1544
D-3	14-inch ICF	0.1968

Insight 360 programında mevcut duvar seçenekleri U değerleri referans alınarak enerji kullanım miktarları karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmada duvar seçeneklerinin malzeme bileşenleri dikkate alınmamıştır. U değeri 2.5272 W/m²K olan mevcut yapının ısıtma enerjisi kullanımı 272 kWh/m²/y, U değeri 0.5056 W/m²K olan D-1 alternatifin ısıtma enerjisi kullanımı 261 kWh/m²/y, U değeri 0.1544 W/m²K olan D-2 alternatifin ısıtma enerjisi kullanımı 252 kWh/m²/y, U değeri 0.1968 W/m²K olan D-3 alternatifin ısıtma enerjisi kullanımı 253 kWh/m²/y olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.5. Dış duvar için farklı U değerine sahip alternatifler ve enerji tüketimine etkisi

İncelenen yapı için farklı U değerli alternatifler incelendiğinde, U değeri arttıkça yapının ısı transferi arttığı için enerji kullanım miktarının da arttığı görülmüştür (Şekil 5.5).

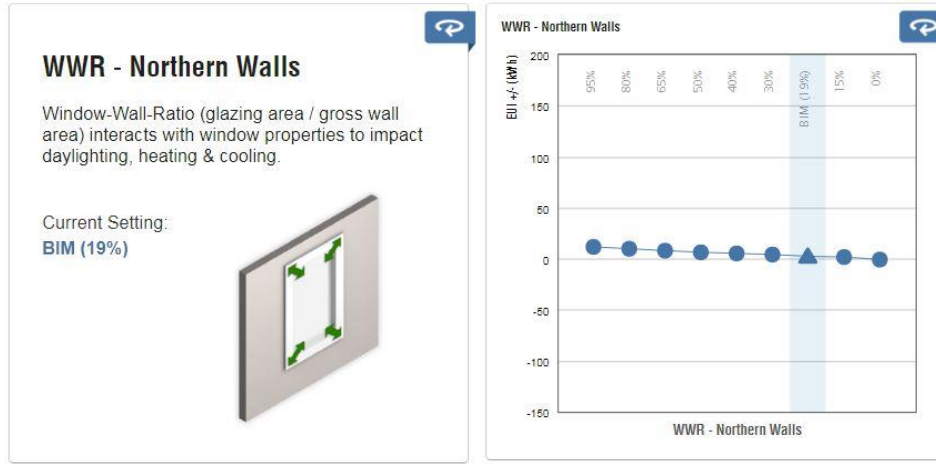
5.1.2. Cephelerdeki saydam yüzey oranlarının ısıtma enerjisi kullanımına etkisi

Yapı cephelerinde bulunan saydam yüzeyler güneş ışınlarını yapı içine alarak yapının içini aydınlatır. Saydam yüzeyler sahip oldukları termofiziksel özellikleri ve güneş ışımasını sayesinde yapıların ısıtma enerjisi kullanımında oldukça etkilidir.

İncelenen yapı cephelerindeki saydam yüzey oranlarının ısıtma enerjisi üzerine etkisini araştırmak için cephelerdeki saydam yüzey oranlarında Insight 360 programı aracılığıyla değişiklikler yapılmıştır.

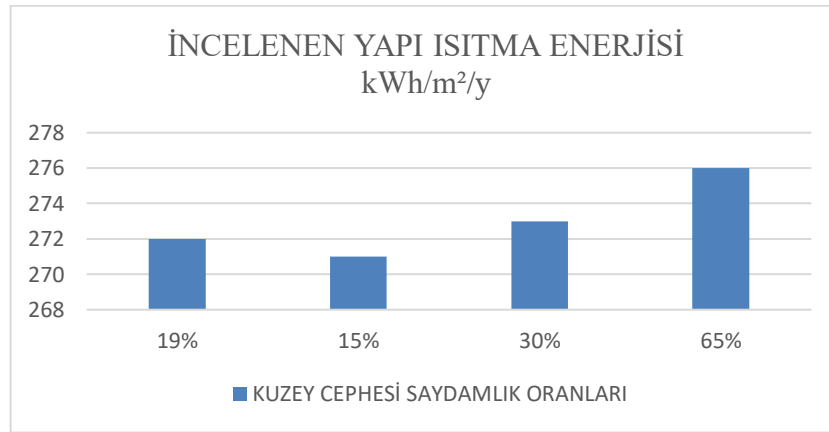
Kuzey cephesi saydamlık oranı

İncelenen yapıda kuzey cephesi saydamlık oranı %19 olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.7). Oluşturulan alternatiflerde yalnızca kuzey cephesi saydamlık oranları değiştirilmiştir, diğer değişkenler sabit tutulmuştur. % 15, %19, % 30, % 65 saydamlık oranlarının ısıtma enerjisi üzerine etkisi incelenmiştir.



Şekil 5.6. Autodesk Insight programında pencere-duvar oranı ayarları sayfası.

Kuzey cephesi incelenen yapı saydamlık oranı %19 iken ısıtma enerjisi kullanımı 272 kWh/m²/y, %15 iken 271 kWh/m²/y, %30 iken 273 kWh/m²/y, %65 iken 276 kWh/m²/y'dir. Yapının kuzey cephesinde saydamlık oranı arttıkça ısıtma enerjisi kullanımı artmaktadır.

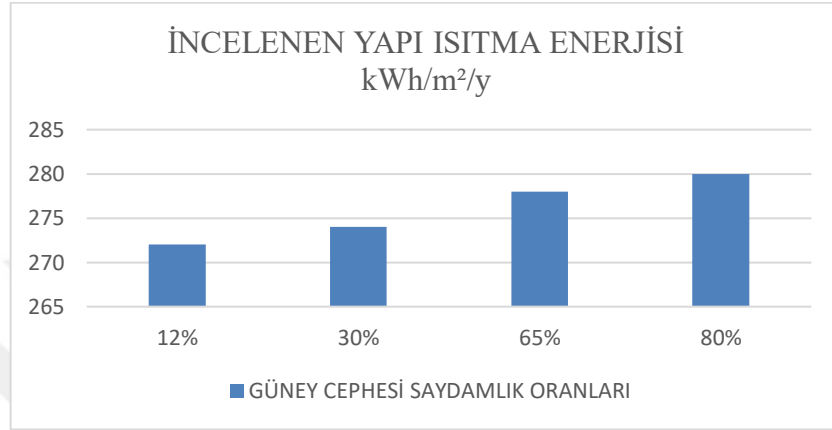


Şekil 5.7. İncelenen yapı kuzey cephesi saydamlık oranları ve enerji tüketim değerleri

Güney cephesi saydamlık oranı

İncelenen yapıda güney cephesi saydamlık oranı % 12 olarak hesaplanmıştır. Oluşturulan alternatiflerde yalnızca güney cephesi saydamlık oranları değiştirilmiştir, diğer değişkenler sabit tutulmuştur. % 12, % 30, % 65, %80 saydamlık oranlarının ısıtma enerjisi üzerine etkisi incelenmiştir.

Analiz edilen yapı güney cephesi saydamlık oranı %12 iken ısıtma enerjisi kullanımı 272 kWh/m²/y, %30 iken 274 kWh/m²/y, %65 iken 278 kWh/m²/y, %80 iken 280 kWh/m²/y'dir (Şekil 5.8).

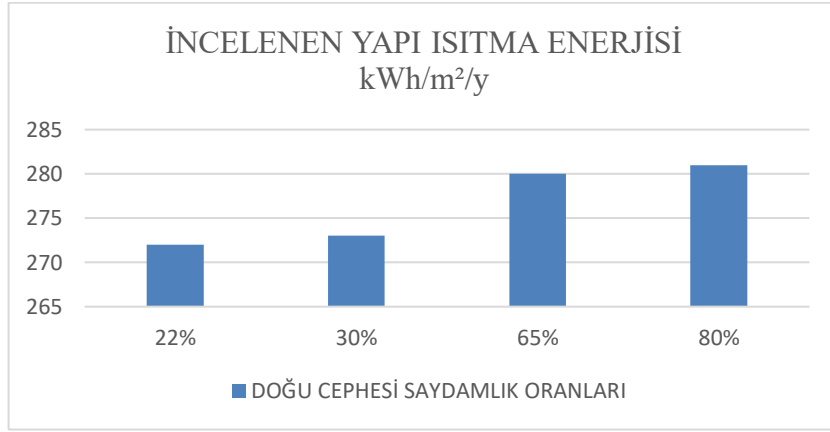


Şekil 5.8. İncelenen yapı güney cephesi saydamlık oranları ve enerji tüketim değerleri

Doğu cephesi saydamlık oranı

İncelenen yapıda doğu cephesi saydamlık oranı % 22 olarak hesaplanmıştır. Oluşturulan alternatiflerde yalnızca doğu cephesi saydamlık oranları değiştirilmiştir, % 12, % 30, % 65, %80 saydamlık oranlarının ısıtma enerjisi üzerine etkisi incelenmiştir. Diğer değişkenler sabit tutulmuştur.

İncelenen yapı doğu cephesi saydamlık oranı %22 iken ısıtma enerjisi kullanımı 272 kWh/m²/y, %30 iken 273 kWh/m²/y, %65 iken 280 kWh/m²/y, %80 iken 281 kWh/m²/y'dir (Şekil 5.9).

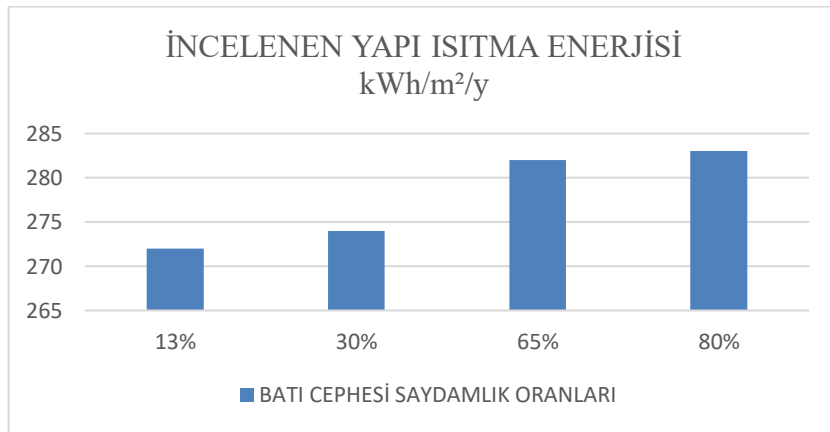


Şekil 5.9. İncelenen yapı doğu cephesi saydamlık oranları ve enerji tüketim değerleri

Batı cephesi saydamlık oranı

İncelenen yapıda, batı cephesi saydamlık oranı % 13 olarak hesaplanmıştır. Oluşturulan alternatiflerde yalnızca batı cephesi saydamlık oranları değiştirilmiştir, % 13, % 30, % 65, %80 saydamlık oranlarının ısıtma enerjisi üzerine etkisi incelenmiştir. Diğer değişkenler sabit tutulmuştur.

İncelenen yapı batı cephesi saydamlık oranı %13 iken ısıtma enerjisi kullanımı 272 kWh/m²/y, %30 iken 274 kWh/m²/y, %65 iken 282 kWh/m²/y, %80 iken 283 kWh/m²/y'dir (Şekil 5.10).



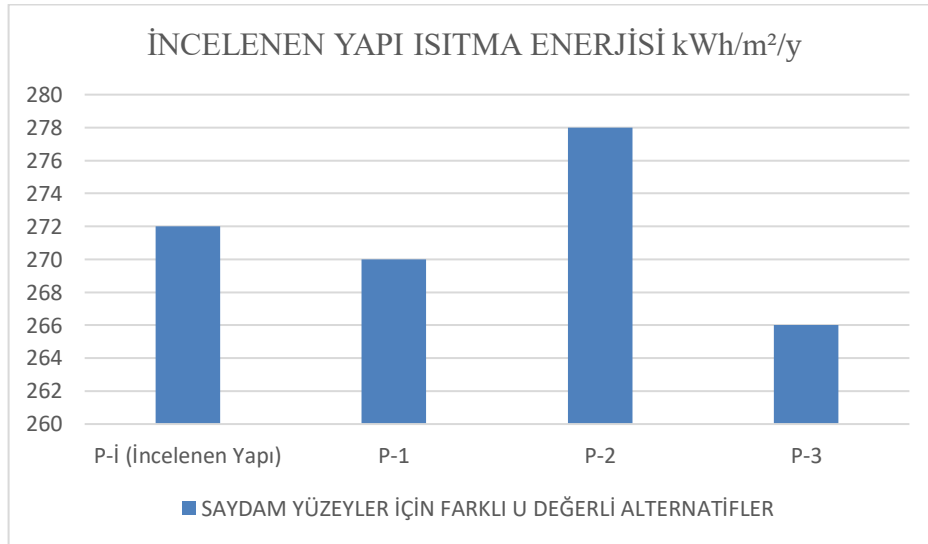
Şekil 5.10. İncelenen yapı batı cephesi saydamlık oranları ve enerji tüketim değerleri

5.1.3 Saydam yüzey elemanları için farklı alternatiflerin ısıtma enerjisi kullanımına etkisi

İncelenen yapıda, 6mm çift cam arası 13 mm hava boşluklu çift cam kullanılmıştır. Mevcut camın ısı geçirme katsayısı (U) 2.74 W/m²K'dır. Yapı bileşenlerine ait U değeri ile ısıtma enerjisi kullanımı arasında bağlantı olduğu bilinmektedir (Çizelge 5.4).

Çizelge 5.4. Saydam yüzey elemanları alternatifleri ve U değerleri

Alternatif İsimlendirme	Insight 360 İsimleri	Malzeme Bileşenleri	Isı Geçirime Katsayısı, U (W/m ² K)
P-İ (İncelenen yapı)	Double Clear	6 mm cam+ 13mm hava boşluğu (h. b.) +6mm cam	2.74
P-1	Double Low E	3mm cam+13mm hava boşluğu+3mm cam	1.99
P-2	Single Clear	6mm cam	6.17
P-3	Triple Low E	3 mm cam + 6 mm h.b. + 3mm cam+ 6mm h. b + 3 mm cam	1.55



Şekil 5.11. İncelenen yapı saydam yüzeyleri için farklı U değerli alternatifler ve enerji tüketimlerine etkisi

Şekil 5.11. de görüldüğü gibi kullanılan pencerelerin U değeri azaldıkça ısıtma enerjisi kullanımı da azalmıştır.

5.1.4 Aktif sistem alternatifleri ve ısıtma enerjisi kullanımına etkisi

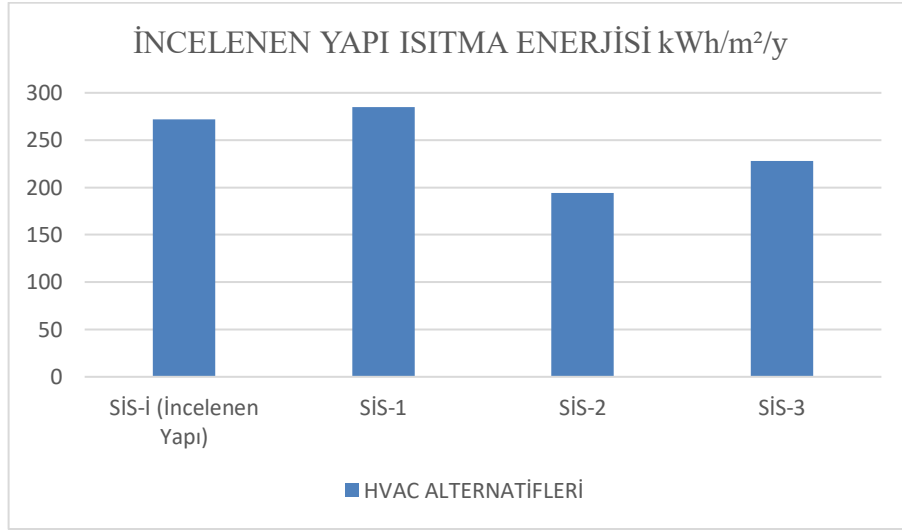
Enerji kullanım değeri belirlenen yapıda aktif sistemler üzerinde değişiklikler yapılarak enerji kullanım miktarını azaltmak hedeflenmiştir. HVAC işletim sistemi alternatifleri denenmiş, PV paneller eklenmiştir.

İncelenen yapıya uygun HVAC sistemi olarak, % 84.4 verimli kazan ısıtma sistemi kabul edilmiştir (Çizelge 5.5).

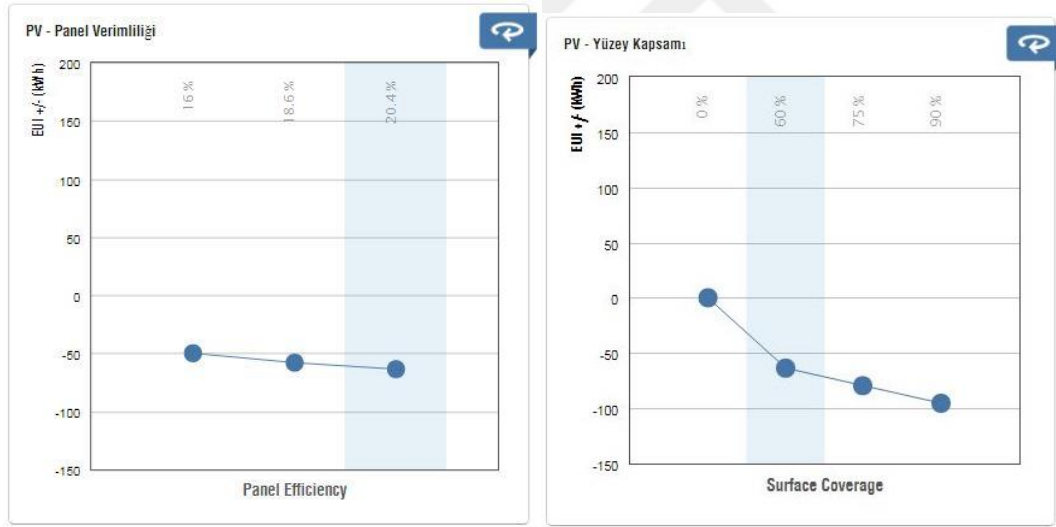
Çizelge 5.5. İncelenen yapı HVAC işletim sistemi alternatifleri

Alternatif İsimlendirme	Insight 360 İsimleri	Özellikleri
SİS-İ (İncelenen Yapı)	BIM	11.3 EER Packaged VAV, 84.4 Boiler Heating
SİS-1	ASHRAE VAV	VAV, ASHRAE 90.1-2010, COP 6.10 Chiller, Gas Boiler, 75F economizer
SİS-2	High Eff. Heat Pump	HP, 17.4 SEER, 9.6 HSPF, Electric Heat
SİS-3	High Eff. Package System	PTAC 12.7 EER, 90.4 % Gas Boiler

İncelenen yapının HVAC sistemi % 84.4 verimli kazan ısıtma (SİS-İ) iken kullanılan yıllık ısıtma enerjisi miktarı 272 kWh/m²/y, ASHRAE 90.1 VAV (SİS-1) tipi işletim sistemi kullanıldığı zaman 285 kWh/m²/y, yüksek verimli ısı pompası (SİS_2) kullanıldığında 194 kWh/m²/y, %90.4 verimli gaz kazanlı sistem (SİS-3) kullanıldığında ise 228 kWh/m²/y olmaktadır (Şekil 5.12).

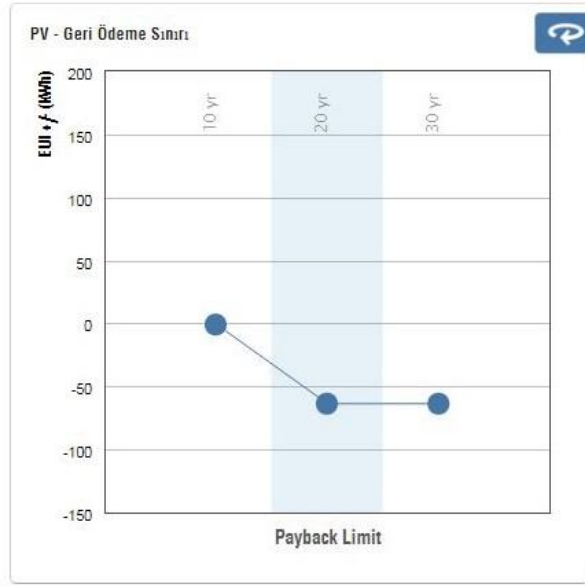


Şekil 5.12. İncelenen yapıda kullanılan HVAC işletim sistemi alternatifleri ve yıllık ısıtma enerji kullanım miktarına etkisi incelenmiştir



Şekil 5.13. Autodesk Insight aracılığı ile yapıya entegre edilen PV panel ayarları ekranı

Şekilde görüldüğü gibi panel verimliliği ve yüzey kaplama alanı arttıkça PV panellerden gelen enerji artmış, bu enerji yapıda kullanılmış ve yapının dışarıdan talep ettiği ısıtma enerjisi kullanım miktarı da azalmıştır (Şekil 5.13). Mevcut yapıda PV panel bulunmamaktadır.



Şekil 5.14. Autodesk Insight aracılığı ile yapıya entegre edilen PV panel ayarları ekranı

Şekil 5.14'te görüldüğü gibi PV panelin geri ödeme süresi uzadıkça enerji kullanım miktarı üzerinde azaltıcı etki yapmaktadır. PV panel verimi %20.4, yüzey alanı kaplama %60 ve geri ödeme süresi 20 yıl seçildiğinde yıllık ısıtma enerjisi kullanımı 272 kWh/m²/y'dan 208 kWh/m²/y'a düşmüştür.

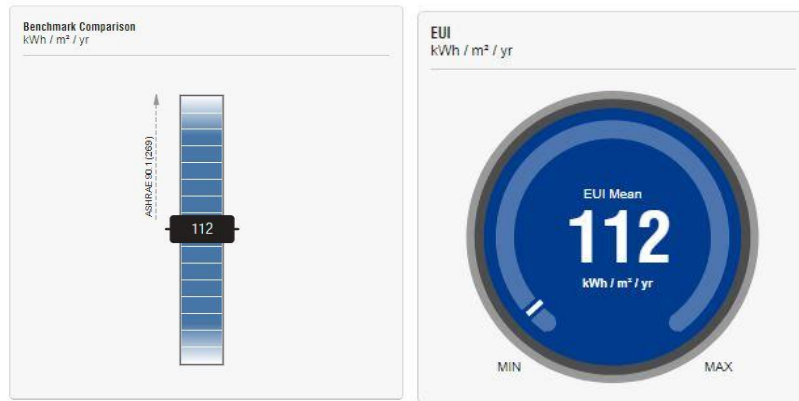
5.1.5 İncelenen yapı için alternatif bir yenileme senaryosu

Mevcut yapı ve alternatif benzetimlerin enerji kullanım miktarları göz önünde bulundurularak bütüncül bir benzetim hazırlanmıştır. İncelenen yapının mevcut pencere-duvar oranları korunmuştur. Yapının tüm pencerelerinde üçlü ısı camlı pencere olan P-3 seçeneği kullanılmıştır. Taban ve tavan bileşenleri sabit tutulmuş, duvarlar için ise farklı U değerli alternatiflerden U değeri 0.1544 W/m²K olan D-2 seçeneği tercih edilmiştir. HVAC sistemi, yüksek etkili ısı pompası (High Eff. Heat Pump) olan SİS-2 seçeneği kabul edilmiş ve yapıya PV panel eklenmiştir (Çizelge 5.6). Eklenen PV panelin verimliliği %20.4, sistem geri ödeme süresi 20 yıl ve panellerin yüzey alanı %60 olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 5.6. İncelenen yapı; duvar, pencere, HVAC sistem alternatifleri ve yapıya PV panel eklenmesinin ısıtma enerjisi tüketimine etkisi

Yapı Bileşenleri	Alternatif İsimlendirme	Isı Geçirir Katsayısı (U) (W/m ² K)	Isıtma Enerjisi Tüketimine Etkisi kWh/m ² /y
Duvar	D-İ (İncelenen yapı)	2.52	272
	D-1	0.50	261
	D-2	0.15	252
	D-3	0.19	253
Pencere	P-İ (İncelenen yapı)	2.74	272
	P-1	1.99	270
	P-2	6.17	278
	P-3	1.55	266
HVAC	SİS-İ (İncelenen yapı)	-	272
	SİS-1	-	285
	SİS-2	-	194
	SİS-3	-	228
PV panel	PV-İ (İncelenen yapı)	-	272
	PV-Var	-	208

Insight 360 yazılımı aracılığı ile yapılan hesaplamalar sonucunda yapının ısıtma enerjisi kullanımı 112 kWh/m²/y olarak bulunmuştur. Böylece yapı ısıtma enerjisi kullanımı %58 oranında azalmıştır. (Şekil 5.15).



Şekil 5.15. incelenen yapı için alternatif bir yenileme senaryosu ve ısıtma enerjisi kullanımı değeri

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Hızlı sanayileşme ve artan insan nüfusu ile birlikte şehirleşmeler hızlanmış ve enerji kullanımı artmıştır. Bireylerin konfor talepleri ve enerji ihtiyacının her geçen gün bilinçsizce artması fosil enerji kullanımını artırmış ve çevre felaketleri de beraberinde gelmiştir.

Yapıların enerji tüketimi, tasarım ve yapım aşamasında göz önünde bulundurulması gereken temel kriterlerden biridir. Yapıda bulunan mekânların ısıtılması, soğutulması, havalandırılması ve aydınlatılması ile harcanacak enerji, tasarım ve yapım aşamasında alınan kararların sonucudur. Atmosfere salınan CO₂ gazının büyük kısmından yapılar sorumludur. Yapıların; inşa, kullanım ve yıkım aşamaları yapıya ait CO₂ ayak izini artırmaktadır.

Bir yapının hem iç mekân konforundan ödün vermeden hem de çevreye vereceği zararı minimuma indirerek planlanması, yerel kaynakları dikkate alarak ve gerekli teknolojik gelişmelerden yararlanarak bütüncül bir tasarım anlayışı ile mümkün olabilmektedir. Yapının; konumu, yeri, yönü, kullanılan malzemelerin optik ve termofiziksel özellikleri, pasif ısıtma sistemleri, pasif soğutma sistemleri, pasif aydınlatma sistemleri, doğal havalandırma, doğal aydınlatma, güneş kontrol elemanları gibi değişkenlerin her birinin tek tek ve bütüncül olarak enerji tüketiminde etkili olduğu gözlenmiştir. Bütün değişkenlerin yapıya ait erken tasarım aşamasında sinerjik tasarım anlayışı ile yapıya dahil edilmesi gerektiği ve böylece yapının kullanacağı enerjinin de minimuma ineceği düşünülmektedir.

Bu çalışmada mevcut bir yüksekokul yapısı üzerinde, YBM programları yardımıyla ısıtma enerjisi kullanımına yönelik iyileştirme simülasyonları yapılmıştır. Yapı bilgi modeli oluşturulan yapının, YBM programları ile bağlantılı web uzantılı enerji simülasyon programları kullanılmıştır. Simülasyonlarda, pencere-duvar oranları, dış duvar U değeri, pencere U değeri ve HVAC sistemleri gibi değişkenler üzerinde iyileştirmeler yapılmıştır. Aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Dış duvarlar ve pencereler için simülasyon sonuçları değerlendirildiğinde; yapı elemanlarına ait ısı geçirme katsayıları (U) düştüğünde yapının dış iklim koşullarına bağlılığı azalmaktadır.

- Yüksekokul yapısının bulunduğu 2. derece gün bölgesinde bulunan ılıman nemli Samsun iklimi için U değeri düşük yapı elemanlarının kullanılması, yapının ihtiyaç duyacağı ısıtma enerjisi miktarını azaltmaktadır.
- Yapı cephesi saydamlık oranlarına bakıldığında; saydamlık oranı arttıkça ısıtma enerjisi kullanımının arttığı görülmüştür.
- HVAC sistemleri simülasyonunda ise yüksek verimli ısıtma sistemlerinin diğer sistemlere göre daha avantajlı olduğu ve ısıtma enerjisi kullanımını azalttığı görülmüştür.
- Yapının dışarıdan talep ettiği enerji miktarını azaltmak için yapının çatısına PV panel önerilmiştir. PV panel simülasyonunda; panel verimliliği ve panellerin yüzey kaplama alanları arttıkça yapının dışarıdan talep ettiği ısıtma enerjisi miktarı azalmıştır. PV panellerin kullanım ömrü uzadıkça yapıya sağlayacakları enerjiden dolayı yapının dışarıdan talep edeceği enerji miktarı azalmaktadır.

Yapılan simülasyon çalışmaları sonucunda, tasarım aşamasındaki bir yapının yada iyileştirme çalışması yapılmak istenen mevcut bir yapının, YBM kullanılarak enerji modelleri oluşturulabilmekte, yapılara aktif ve pasif tasarımlar entegre edilerek, yapılar başarılı bir şekilde enerji etkin hale gelebilmektedir. Yapılarda iç mekân konforunu sağlamada, termal kontrol, pasif güneş enerjisiyle ısıtma gibi pasif tasarım ilkelerinin kullanılmasıyla mekanik çözümlere olan ihtiyacın en aza indirilebileceği görülmüştür.

Tez çalışmasının bulgularına göre aşağıdaki öneriler geliştirilmiştir;

- Yapıların bütüncül olarak tasarlanması, formu, yeri, yönlenmesi gibi değişkenler dikkate alınarak erken tasarım aşamasında iken enerji etkin hale getirilmesi gerekmektedir.
- Yapılarda iç mekân termal konforu sağlanırken yapıya ait karbon ayak izini azaltmak adına mevcut yerel malzemelerin araştırılması ve uygun olan malzemelerin kullanılması önemlidir.
- Yapı çevresine ait peyzaj düzenlemesi yapıdan bağımsız düşünülmemeyeceği ve yapıya olan etkileri göz önüne alarak tasarlanmalıdır.

- Samsun ikliminde termal kontrol, pasif güneş enerjisi kullanımı, güneş kontrolü ve pasif soğutma gibi tasarım parametreleri önemlidir. İç mekân konforunu artırmak ve mekanik çözümlere duyulan ihtiyacı azaltmak için duvarların, tavanın ve zeminin çok iyi yalıtılması gerekmektedir. Yapıların inşasında yüksek termal kütle, pasif güneş enerjisiyle ısıtma, doğal havalandırma ve düşük emisyonlu çift cam ya da üçlü cam kullanılması önerilmektedir.
- Ülkemizde; enerji verimliliği, pasif tasarım çözümleri ve yapım teknikleri hakkında eğitime ve farkındalığa ihtiyaç vardır. Yerel yönetimlerin enerji etkin tasarımları özendirilmesi sağlanmalıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı her yapı ölçeğinde özendirilmelidir. Uluslararası kurum ve kuruluşların bu andaki çalışmaları yakından takip edilmeli ve ülkemize uyarlanmalıdır.
- Ülkemizde inşa edilecek her yapının enerji etkin tasarım kriterlerine göre tasarlanması, uygulanması ve kullanılması zorunlu hale getirilmelidir. Yürürlükte olan yasa ve yönetmelikler denetlenmeli ve belirli standartlar oluşturulmalıdır. Böylece enerji konusunda dışa bağımlı olan ülke ekonomisine büyük katkılar sağlanabilecektir.

Bu tez çalışması sonucunda elde edilen verilere dayanarak; yapılarda enerji tasarrufunun hem çevrenin korunmasına katkıda bulunacağı hem de ülkemizin enerji konusunda dışa bağımlılığının azalmasına katkı yapacağı söylenebilir.

KAYNAKLAR

- Akande, O. K., 2010. Passive design strategies for residential buildings in a hot dry climate in Nigeria. WIT Transactions on Ecology and the Environment, 128, 61-71.
- Almatawa, M. S., Elmualim, A. A. ve Essah, E. A., 2012. Passive and active hybrid approach to building design in Saudi Arabia. In C. A. Brebbia (Ed.), Eco-architecture IV: Harmonisation between Architecture and Nature. Southampton, UK: WIT Press.
- Alparslan, B., 2010. Ekolojik Yapı Tasarım Ölçütleri Kapsamında Ankara’da Örnek Bir Yapı Tasarımı ve Değerlendirmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi. Ankara.
- Alparslan, E.M., Lee, S.E., Manthapuri, S., Yi W. ve Deb, C., 2014. PV (Photovoltaics) Performance Evaluation and Simulation-Based Energy Yield Prediction for Tropical Buildings. Energy, 71, 588-595.
- Anon, 1979. Energy Conservation, Design Resource Handbook, The Royal Architectural Institute of Canada, Ottawa, 9.
- Anonim, 2012. Sürdürülebilir Mimaride Kullanılan Pasif Sistemler. <http://surdurulebilir-mimari.blogspot.com/2012/09/surdurulebilir-mimaride-kullanilan-pasif.html> Erişim tarihi: 08/02/2021.
- Anonim, 2019. Türkiye’nin Toplam Seragazi Emisyonu ve Kişi Başına Düşen Emisyonlar 2017’de de Arttı. <https://www.iklimhaber.org/turkiyenin-toplam-seragazi-emisyonu-ve-kisi-basina-dusen-emisyonlar-2017de-de-artti/> Erişim tarihi: 08/02/2021.
- Anonim, Temiz Enerji Yayınları Hidrojen Enerjisi. https://habitatdernegi.org/wp-content/uploads/Y_O_Hidrojen.pdf Erişim tarihi: 08/02/2021.
- Anonim, 2020a. T.C Hazine ve Maliye Bakanlığı. <https://www.hmb.gov.tr/dis-ekonomik-iliskiler-raporlari> Erişim tarihi: 20/12/2020
- Anonim, 2020b. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <https://enerji.gov.tr/enerji> Erişim tarihi: 20/12/2020.
- Anonim, 2020c. Sera Etkisi. https://tr.wikipedia.org/wiki/Sera_etkisi Erişim tarihi: 20/12/2020.
- Anonim, 2020d. TÜİK Sera Gazı Emisyon İstatistikleri, 1990-2018. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2018-33624> Erişim tarihi: 20/01/2021

- Anonim, 2020e. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, <https://iklim.csb.gov.tr/> Erişim tarihi: 20/12/2020.
- Anonim, 2021a. Yakıtların ısı değerleri. http://3l.com.tr/v2/wp-content/uploads/ars1/yakitlarin_ısı_degerleri.pdf Erişim tarihi: 08/02/2021
- Anonim, 2021b. <https://www.samgaz.com.tr/Dosya/f6e3a5fd-e75f-4995-9d37-6d315392db00.pdf> Erişim tarihi: 04/02/2021
- Anonim, 2021c. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü. <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=SAMSUN> Erişim tarihi: 04/02/2021
- ASHRAE, ASHRAE GUIDELINE 14-2002, Measurement of Energy and Demand Savings, 8400, 2002.
- Aşıkoğlu, A., 2014. Sürdürülebilir Konut Yapılarında Pasif Sistemlerin Kullanılan Teknikler Açısından İrdelenmesi; İzmir İli İçin Bir Uygulama Önerisi. (Y. Lisans Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü/Mimarlık Anabilim Dalı, Dokuz Eylül Üniversitesi. İzmir.
- Bektaş, B., 2006. Isıtma Açısından Dış Duvarlarda Saydam Yüzey Kullanımının Araştırılması. (Yüksek Lisans Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Berköz, E., Aygün, Z.Y., Kocaaslan, G., Yıldız, E., Ak, F., Küçükdoğu, M., Enarkun, D., Ünver, R., Yener, A.K. ve Yıldız, D., 1995. Enerji Etkin Konut ve Yerleşme Tasarımı; İntag 201. İTÜ Mimarlık Fakültesi, Türk Ytong San. A.Ş ve Tübitak, İstanbul, 1-10.
- Birleşmiş Milletler Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu, 1991. Ortak Geleceğimiz, Belkıs Çırakçı (çev.), Türkiye Çevre Sorunları Vakfı Yayını, Ankara.
- BP Statistical Review of World Energy, Haziran 2019. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html> Erişim Tarihi; 04/02/2021
- BP Statistical Review of World Energy 2020. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-renewable-energy.pdf> Erişim tarihi: 20/01/2021
- Cillari G, Fantozzi F, Franco A., 2021. Passive Solar Solutions for Buildings: Criteria and Guidelines for a Synergistic Design. Applied Sciences.; 11(1), 376.
- Çarkacı, Ç., Özkorucu, K. ve Atmaca, İ., 2012. Örtü altı tasarımda alternatif iklimlendirme sistemleri ve ısı pompası kullanımının değerlendirilmesi. Tesisat Mühendisliği Dergisi, (129), 21.

- Çengel Y. A., 1998. Heat Transfer, A Practical Approach, WCB/McGraw-Hill, New York, 1-12.
- Çetin A., 2012. Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Politikaları. (Yüksek Lisans Tezi), Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kamu Yönetimi Anabilim Dalı, Niğde Üniversitesi, Niğde.
- Çetin, H.M., 2020. Soğuk İklim Bölgesi Eğitim Yapılarında Enerji Etkin Tasarım Parametrelerinin İrdelenmesi Üzerine Bir Çalışma. (Y. Lisans Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü/ Mimarlık Anabilim Dalı, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi. İstanbul.
- Dikmen, Ç. 2011. Enerji etkin yapı tasarım ölçütlerinin örneklenmesi, Politeknik Dergisi, (2), 121-134.
- Doğan, A. ve Pırasacı, T., 2009. Bina cephelerinde yalıtım yerine trombe duvar kullanımının incelenmesi. Tesisat Mühendisliği Dergisi, (112), 41-51.
- Efe, A., 2009. Pasif güneş evlerinde bina kabuğu sistemi tasarımı. (Yüksek Lisans Tezi). Fen Bilimleri Enstitüsü/Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul Teknik Üniversitesi. İstanbul.
- Elbi, D., 2019. Yapı Bilgi Modelleme Aracılığı İle Enerji Etkin Yapı Tasarımı ve Geliştirilmesi: Bir Konut Projesi Örneği. (Y. Lisans Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü/Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul Teknik Üniversitesi. İstanbul.
- Elektrik Mühendisleri Odası. https://www.emo.org.tr/ekler/9febf4375a6155f_ek.pdf Erişim tarihi; 08/01/2021.
- Enerji Verimliliği Kanunu
<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=5627&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5> Erişim Tarihi; 08/04/2021
- Esen, S., 2019. Enerji Etkin Bina Tasarım Modeli. (Y. Lisans Tezi), Lisansüstü Eğitim Enstitüsü/Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi. Isparta.
- Gargab FZ, Allouhi A, Kousksou T, El-Houari H, Jamil A, Benbassou A., 2021. Energy Efficiency for Social Buildings in Morocco, Comparative (2E) Study: Active VS. Passive Solutions Via TRNsys. *Inventions*, 6(1), 4.
- Gazioğlu, A., 2012. Enerji Etkin Bina Tasarımında Isıtma Enerjisi Harcamalarını Azaltmaya Yönelik Bir İyileştirme Çalışması. (Y. Lisans Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü/Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul Teknik Üniversitesi. İstanbul.
- Gazioğlu, A., Akşit, Ş. F., Manioğlu, G., 2013. Enerji Etkin Bina Tasarımında Isıtma Enerjisi Tüketimini Azaltmaya Yönelik Bir İyileştirme Çalışması. Tesisat Mühendisliği, Sayı 136, 41-52.

- Gökay B. , 2019. 2030 Yılında Türkiye’de Yeşil Enerji Kullanım Oranlarının Tahmin Edilmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Günel, H.M. ve Ilgın, E., 2008. Bir Mimari Tasarım Kriteri Olarak Rüzgâr Enerjisi Kullanımı (https://www.emo.org.tr/ekler/975727c448e45ab_ek.pdf?dergi=4) Erişim tarihi: 20/01/2021.
- Han J., Yang X., 2018. Analysis of Passive Energy-Saving Retrofitting of Rural Residential Houses in Southern Anhui Province – A Case in Hongcun. *Energy Procedia* 152, 470–474
- Heracleous C. ve Michael A., 2018. Assessment of overheating risk and the impact of natural ventilation in educational buildings of Southern Europe under current and future climatic conditions. *Energy* 165, 1228-1239
- Keleş, R. ve Hamamcı, C., 1993. Çevrebilim, Ankara: İmge Yayınları.
- Kıncay, O., G., 2017. Güneş Enerjisi Giriş; Yıldız Teknik Üniversitesi Lisans Ders Notu, İstanbul, 1-115.
- Koca, Ö., 2006. Sıcak Kuru ve Sıcak Nemli İklim Bölgelerinde Enerji Etkin Yerleşme ve Bina Tasarım İlkelerinin Belirlenmesine Yönelik Yaklaşım. (Yüksek Lisans Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü/Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul Teknik Üniversitesi. İstanbul.
- Koç, E. ve Şenel, M.C., 2013. Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu - Genel Değerlendirme, *Mühendis ve Makina*, 54(639), 32-44.
- Köksal, T., 2018. Enerji Etkinliği Açısından Bir İlköğretim Binasının Aktif ve Pasif Sistem Olarak Performansının Değerlendirilmesi. (Y. Lisans Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü/Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul Teknik Üniversitesi. İstanbul.
- Lechner, N., 2009. Heating, Cooling, Lighting – Sustainable Design Methods for Architects. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 21,59.
- Manioğlu, G., 2011. Enerji etkin tasarım ve yenileme çalışmalarının örneklerle değerlendirilmesi, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, (126), 35-47
- Mazria, E., 1979: The Passive Solar Energy Book, Emmaus, Pennsylvania: Rodale Press.
- Mahar WA, Verbeeck G, Reiter S, Attia S., 2020. Sensitivity Analysis of Passive Design Strategies for Residential Buildings in Cold Semi-Arid Climates. *Sustainability*. 12(3), 1091-1112
- Mucuk, M., & Uysal, D., 2009. Türkiye Ekonomisinde Enerji Tüketimi ve Ekonomik Büyüme, *Maliye Dergisi* (157), 106-115

- Ok V., 2007. Sağlıklı Kentler için Pasif İklimlendirme ve Bina Aerodinamiği. VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 25-28 Ekim, İzmir, 213-227.
- Oral, G.K., 2010. Güneş Enerjisi ve Yapı, diyARCH bülten, s:8-20
- Özdoğan, H.P., 2005. Ekolojik Binalarda Bina Kabuğunda Kullanılan Fotovoltaik Panellerin Tasarım Bağlamında İncelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi. İstanbul.
- Özkılıç Keleş, C., 2008. Türkiye'de Binalarda Enerji Verimliliği Açısından Fotovoltaik Sistemlerin Kullanılmasına Yönelik Bir İnceleme. (Y. Lisans Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü/Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul Teknik Üniversitesi. İstanbul.
- Özorhon, G., 2013. Sürdürülebilir Mimarlık, Yarının Binaları Ve Bir Örnek. XI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 1473-1478.
- Pelc, R. ve Fujita, R.M., 2002. Renewable energy from the ocean, Marine Policy, 26: 471-479.
- Piccardo C. , Dodoo A., Gustavsson L., 2020, Retrofitting A Building To Passive House Level: A Life Cycle Carbon Balance. Energy & Buildings 223, 110135, (1-13).
- Roaf, S., 2007. Ecohouse: A design guide. elsevier Ltd (3rd Edition). London.
- Sarı, B., 2014. Isı Pompası Sistemleri Genel Bilgiler; Makine Mühendisleri Odası Isı Pompası Seminerinde sunuldu, Ankara.
- Schafer C. R., Weigert , G., 1997. Heizen mit der Sonne, München, 10-22.
- Şenkal Sezer F., ve Karagöz Yeşilyurt, N., 2011. Türkiye'deki Çift Duvar Arası Isı Yalıtım Uygulamalarında Isı Köprülerinin Analizi ve Yurtdışı Uygulamaları ile Karşılaştırılması. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, cilt 16, no. 1, 1-10.
- Sev, A., (2009). Sürdürülebilir Mimarlık. YEM Yayınevi, s.14-53, İstanbul.
- Soubdhan, T., Feuillard, T. ve Bade, F., 2005. Experimental evalution of insulation material in roofing system under tropical climate. Solar Energy, (79/3), 311-320.
- Soysal, S., 2008. Konut Binalarında Tasarım Parametreleri ile Enerji Tüketimi İlişkisi. (Y. Lisans Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi. Ankara.
- Tetik, G., 2014. Akdeniz İklim Şartlarında Güneş Odaklı Enerji Etkin Yapı Tasarımının Su Isıtmalı Sistem Bağlamında Değerlendirilmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Aydın Üniversitesi, İstanbul.
- Uslusoy, S., 2012. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kullanan Enerji Etkin Binaların Yapı Bileşeni Açısından İrdelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

- Utkutuğ, G., 2000. Yeni Bin Yıla Girerken Sürdürebilir Bir Gelecek İçin Ekolojik ve Enerji Etkin Hedefler ile Bina Tasarımı ve İşletimi, Ulusal Enerji Verimliliği Kongre Kitabı, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara, 148.
- Ülgen, K., 1995. Binaların pasif güneş enerjili sistemler yardımıyla ısıtılması. Tesisat Mühendisliği Dergisi, (22), 6.
- Yasan, A. S., 2011. Bina Tasarım Parametrelerinin Enerji Harcamalarına Etkilerinin Belirlenmesine Yönelik Bir Çalışma. (Y. Lisans Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü/Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul Teknik Üniversitesi. İstanbul.
- Yener, A. K., 2007. Binalarda Güneşten Yararlanma Yöntemleri: Çağdaş Teknikler. VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 25-28 Ekim, İzmir, 231-241.
- Yıldız, Y. ve Durmuş Arsan, Z., 2009. Binalarda pasif soğutma stratejileri konulu son on yıla ait yayın taraması. Uluslararası Ekolojik Mimarlık ve Planlama Sempozyumu, Antalya, 103-110.
- Yılmaz, Z., Koçlar Oral, G., Manioğlu, G., 2000. Isıtma Enerjisi Tasarrufu Açısından Bina Kabuğu Isı Yalıtım Değerinin Bina Formuna Bağlı Olarak Belirlenmesi. Proje No: 985 Sonuç Raporu, İ.T.Ü.
- Yu C-R, Guo H-S, Wang Q-C, Chang R-D., 2020. Revealing the Impacts of Passive Cooling Techniques on Building Energy Performance: A Residential Case in Hong Kong. *Applied Sciences*, 4188, 10(12)
- Yüksel T., 2019. Mevcut Bir Binanın Yenilenmesinde Pasif Ve Aktif Seçeneklerin Enerji Verimliliği Ve Maliyet Açısından Değerlendirilmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.