

**T.C.
ISPARTA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

ENERJİ ETKİN BİNA TASARIM MODELİ

Sinem ESEN

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Melik Ziya YAKUT**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2019**



© 2019 [Sinem ESEN]

TEZ ONAYI

Sinem ESEN tarafından hazırlanan "**Enerji Etkin Bina Tasarım Modeli**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

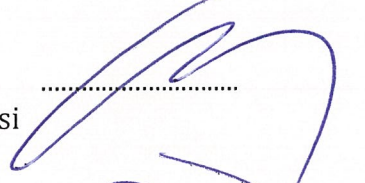
Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Melik Ziya YAKUT
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi



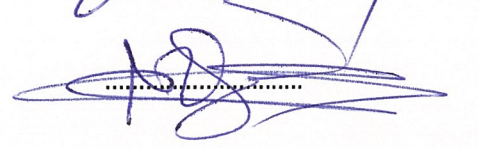
Jüri Üyesi

Prof. Dr. Arzu ŞENCAN ŞAHİN
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. İbrahim ÜÇGÜL
Süleyman Demirel Üniversitesi



Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Yusuf UÇAR

.....

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Sinem ESEN



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Enerji Etkin Bina Tasarım Parametreleri	6
1.1.1. Kullanıcıya ilişkin parametreler	6
1.1.2. Dış çevreye ilişkin parametreler	8
1.1.2.1. Topografya.....	8
1.1.2.2. İklimsel koşullar	9
1.1.2.3. Bitki dokusu ve peyzaj elemanları	14
1.1.2.4. Yakın çevredeki yapılaşma.....	16
1.1.3. Binaya ilişkin parametreler	16
1.1.3.1. Binanın yeri	16
1.1.3.2. Bina formu	17
1.1.3.3. Bina yönelimi	19
1.1.3.4. Bina aralıkları ve yükseklikleri	21
1.1.3.5. Mekân organizasyonu-zonlama	22
1.1.3.6. Bina kabuğu optik ve termofiziksel özellikleri	24
1.1.3.7. Güneş kontrolü ve doğal aydınlatma	32
1.1.3.8. Doğal ventilasyon düzeni.....	33
1.2. Enerji Etkin Sistemler	37
1.2.1. Pasif sistemler	37
1.2.1.1. Direkt kazanım sistemleri	38
1.2.1.2. Dolaylı kazanım sistemleri.....	38
1.2.1.3. İzole edilmiş kazanç sistemleri	40
1.2.1.4. Termosifon sistemler	41
1.2.2. Aktif sistemler	43
1.2.2.1. PV paneller ve binalarda kullanım alanları	43
1.2.2.2. Isıl güneş teknolojileri.....	49
1.2.2.3. Rüzgâr türbini ve bina-rüzgâr türbini ilişkisi.....	52
1.2.2.4. Jeotermal enerji kullanımı.....	53
1.2.2.5. Isı pompaları.....	53
1.3. Bina Bilgi Modellemesi-BIM Yazılımları.....	55
1.3.1. Bina enerji modellemesi-BEM	58
1.3.1.1. Autodesk Green Building Studio(GBS).....	58
1.3.1.2. Autodesk Insight	59
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	61
3. UYGULAMA ÜZERİNDEN ENERJİ ETKİN BİNA TASARIM MODELİ	67
3.1. Referans Binaya İlişkin Özelliklerin Belirlenmesi.....	70
3.1.1. Kullanıcıya ilişkin parametrelerin belirlenmesi	70
3.1.2. Dış çevreye ilişkin parametrelerin belirlenmesi.....	70
3.1.2.1. Topografya.....	71
3.1.2.2. İklimsel koşullar	71
3.1.3. Binaya ilişkin parametrelerin belirlenmesi	76
3.1.3.1. Binanın yeri	76
3.1.3.2. Bina formu	76
3.1.3.3. Bina yönelimi	77

3.1.3.4. Mekân organizasyonu-zonlama	78
3.1.3.5. Bina kabuğu özellikleri	79
3.1.4. Referans bina enerji performans analizi.....	80
3.2. Enerji Etkin Tasarım Kararlarının Uygulanması	81
3.2.1. Dış çevreye ilişkin parametreler üzerinde tasarım kararlarının uygulanması.....	82
3.2.1.1. Bitki dokusu ve peyzaj elemanları.....	82
3.2.2. Binaya ilişkin parametreler üzerinde tasarım kararlarının uygulanması.....	82
3.2.2.1. Bina yönelimi.....	82
3.2.2.2. Mekân organizasyonu-zonlama	83
3.2.2.3. Bina kabuğu özellikleri.....	83
3.2.2.4. Güneş kontrolü ve doğal aydınlatma	88
3.2.2.5. Doğal vantilasyon düzeni.....	89
3.2.3. Enerji etkin sistemlerin enetegre edilmesi	89
3.2.4. Enerji etkin bina performans analizi	90
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	92
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	102
KAYNAKLAR.....	104
ÖZGEÇMİŞ.....	109

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ENERJİ ETKİN BİNA TASARIM MODELİ

Sinem ESEN

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Melik Ziya YAKUT

Enerji tüketiminin yarısına yakınının binalardan kaynaklanması ve küresel enerji darboğazı, yapı sektöründe enerji etkin tasarımı gittikçe önemli kılmaktadır. Buna yönelik, enerji analiz süreci, dünyanın her yerinde artan düzenlemelerle tasarım sürecinin erken aşamasına dâhil edilmektedir. Bina Bilgi Modellemesi-BIM araçları, tasarımcıların, nihai tasarım çözümlerini uygulamaya başlamadan; enerji etkin binaların elde edilmesine, projenin farklı tasarım alternatiflerinin deneyimlenmesine, zamanın ve maliyetin etkin kullanılmasına olanak sağlayan dijital süreçlerdir. Yapılarda enerji tüketiminin denetlenebilmesi için bu süreçlerin kullanımının yaygınlaşması gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında; erken tasarım aşamasında binanın belirlenen enerji etkin tasarım parametreleri doğrultusunda tasarlanması ve bu aşamada binaya enerji etkin sistemlerin entegre edilmesiyle, enerji tüketim miktarında sağlanacak tasarruf oranının ortaya konulması amaçlanmıştır. Aynı zamanda BIM ve Bina Enerji Modellemesi-BEM süreçlerinin tasarıma dâhil edilmesinin sağladığı faydalar belirtilmiştir. Enerji etkin tasarım parametreleri; kullanıcıya, dış çevreye ve binaya ilişkin parametreler olmak üzere üçe ayrılarak incelenmiştir. Pasif ve aktif sistemler olmak üzere enerji etkin sistemler belirtilerek yapılarda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda, belirlenen enerji etkin tasarım parametreleri ve enerji etkin sistemler ışığında sıcak-nemli iklim tipi için bir uygulama örneği üzerinden enerji etkin bina tasarımı modellenmiştir. Model kapsamında, enerji etkin tasarlanan alternatifleri ile enerji tüketim miktarlarının karşılaştırılması için bir referans bina oluşturulmuştur. Referans bina üzerinden, binanın enerji performansını etkileyecek parametrelerin farklı alternatifleri değerlendirilmiştir. Bu alternatifler arasından enerji tüketimini minimuma indirecek kombinasyon oluşturularak enerji etkin bina oluşturulmuştur. Modellemede pek çok parametreden sadece en çok etki edenler incelenmiş ve program kısıtlamalarıyla hareket ederek çalışılmak zorunda kalınmıştır. Modelleme süreci oluşturulmasında BIM yazılımı Autodesk Revit kullanılmıştır. Model, enerji performans analizlerinin yapılması ve tasarım alternatiflerinin değerlendirilmesi için Green Building Studio-GBS'ye aktarılmıştır. Bu şekilde, modelin BEM süreci tamamlanmıştır. GBS, Revite entegre bir şekilde çalışan ve kullanımı gittikçe yaygınlaşan web tabanlı bir enerji modelleme yazılımıdır. Aynı zamanda enerji etkin bina özelinde, uygun tasarım kararlarının alınmasında yol gösterici olarak Autodesk Insight yazılımından da yararlanılmıştır.

Yapılan enerji performans analizleri sonucu, enerji etkin tasarım kararlarının uygulanması ile referans binaya göre; elektrik tüketiminde %56,7, yakıt tüketiminde ise %89 oranında iyileşme sağlanmıştır. Bu sonuçlar, iklim tipine uygun olacak şekilde

tasarlanmış enerji etkin binanın, enerji tüketim miktarında yaşam döngüsü boyunca önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlayabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Enerji etkin bina, enerji etkin bina tasarım parametreleri, enerji etkin sistemler, BIM, BEM.

2019, 109 sayfa



ABSTRACT

M.Sc. Thesis

ENERGY EFFICIENT BUILDING DESIGN MODEL

Sinem ESEN

**Isparta University of Applied Sciences
The Institute of Graduate Education
Department of Energy Systems Engineering**

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Melik Ziya YAKUT

The fact that almost half of the energy consumption is due to buildings and the global energy bottleneck makes energy efficient design in the building sector increasingly important. To this end, the energy analysis process is incorporating into the early stages of the design process with increasing regulations all over the world. Building Information Modeling-BIM tools, designers, final design solutions before starting to implement; these are digital processes that enable the creation of energy efficient buildings, experience of different design alternatives of the project, effective use of time and cost. In order to control the energy consumption in the buildings, the use of these processes should become widespread.

The aim of this thesis to design the building in line with the energy-efficient design parameters at the early design stage, and to integrate energy-efficient systems into the building at this stage to determine the saving rate to be provided in the amount of energy consumption. At the same time, the benefits of incorporating BIM and Building Energy Modeling-BEM processes into the design are indicated. Energy efficient design parameters; the parameters related to the user, the external environment and the building were divided into three. The use of renewable energy sources in buildings has been evaluated by specifying energy efficient systems including passive and active systems. Accordingly, the energy efficient building design is modeled through an application example for the hot-humid climate type in light of the energy-efficient design parameters and energy-efficient systems. Within the scope of the model, a reference building has been established to compare the energy-efficient alternative and the energy consumption amounts. Different alternatives of the parameters affecting the energy performance of the building were evaluated through the reference building. Energy-efficient building has been created by creating a combination that minimizes energy consumption among these alternatives. In the modeling, only the most influential of many parameters were examined and had to be studied by acting with program restrictions. Autodesk Revit, the BIM software, was used in the modeling process. The model was transferred to Green Building Studio-GBS for the analyzes of energy performance and evaluation of design alternatives. In this way, the BEM process of the model has been completed. GBS is a web-based energy modeling software that works in an integrated manner with Revit and is becoming increasingly popular. At the same time, for the energy efficient building, Autodesk Insight software was used as a guide for making appropriate design decisions.

As a result of energy performance analyzes, According to the reference building with the implementation of energy efficient design decisions; electricity consumption and fuel consumption improved by %56.7 and %89, respectively. These results show that the

energy-efficient building designed according to the climate type can provide considerable energy savings during the life cycle in the amount of energy consumption.

Keywords: Energy efficient building, Energy efficient building design parameters, Energy efficient systems, BIM, BEM.

2019, 109 pages



TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni ynlemdiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Melik Ziya YAKUT'a teőekkürümü sunarım.

Benden hiçbir yardımı esirgemeyen, sabır ve anlayışıyla bana destek olan değerli dostum Aslı ÖZCAN'a ve diğer dostlarıma teşekkür ederim. Tüm ğrenim hayatım boyunca beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımla sunarım.

Sinem ESEN
ISPARTA, 2019



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Sokrates'in güneş evi	1
Şekil 1.2. Farklı iklim bölgeleri için uygun yerleşim alanları	8
Şekil 1.3. Bina formu yüzey ilişkisi.....	17
Şekil 1.4. Bina formu/ısı kaybı ilişkisi	18
Şekil 1.5. Hâkim rüzgâr yönüne göre bina konumlandırışı.....	20
Şekil 1.6. İmar planı ve güneş enerjisi kullanımı.....	21
Şekil 1.7. Yapıdaki mekânların organizasyon şemasına bir örnek	23
Şekil 1.8. Doğal aydınlatma ve gün ışığı alma olanakları	32
Şekil 1.9. Yapılarda gün ışığından yararlanma yöntemleri	33
Şekil 1.10. Gündüz ve gece durumlarında rüzgâr bacasının ısı farkından faydalanarak çalışma prensibi	35
Şekil 1.11. Çift cidarlı cephe sistemi	36
Şekil 1.12. Çapraz(cross) vantilasyon planı.....	37
Şekil 1.13. Direkt kazanım sistemleri.....	38
Şekil 1.14. Dolaylı kazanım sistemleri.....	39
Şekil 1.15. Trombe duvar	39
Şekil 1.16. Çatı havuzu yönteminin çalışma prensibi.....	40
Şekil 1.17. İzole edilmiş kazanç sistemleri.....	41
Şekil 1.18. Termosifon sistemler.....	42
Şekil 1.19. PV hücre ve elektrik üretimi.....	43
Şekil 1.20. İnce film PV hücresi.....	44
Şekil 1.21. Şebeke bağlantılı sistem	46
Şekil 1.22. Şebekeden bağımsız sistem	46
Şekil 1.23. Çatı penceresine yarı saydam güneş pili panel uygulama örneği	47
Şekil 1.24. Çatı örtüsü ile bütünleştirilmiş bir PV uygulaması	47
Şekil 1.25. Bina kabuğuna uygulanmış PV uygulamaları	48
Şekil 1.26. Doğrusal yoğunlaştırıcılar	52
Şekil 1.27. Isı pompaları çalışma prensibi.....	55
Şekil 1.28. Isı pompası çalışma prensibi ve temel elemanları ve ideal soğutma çevrimi için P-h diyagramı.....	55
Şekil 1.29. Autodesk Revit BIM programı.....	56
Şekil 3.1. Enerji Etkin Bina Tasarım Modeli Akış Şeması.....	69
Şekil 3.2. Referans bina kullanım periyodu grafiği.....	70
Şekil 3.3. Referans bina doğu görünüşü.....	71
Şekil 3.4. Antalya ili için soğutmanın istendiği(B) ve istenmediği(A) dönem.....	72
Şekil 3.5. Aylık tasarım koşulları-sıcaklık grafiği	72
Şekil 3.6. Referans bina güneş 21 Aralık ve 21 Haziran için güneş ve gölge analizleri.....	73
Şekil 3.7. Referans bina Ocak-Aralık dönemi güneş ve gölge analizi	73
Şekil 3.8. Yıllık yataya gelen yayılmış ışınım, direkt normal ışınım ve global yataya gelen ışınım frekans dağılımı	74
Şekil 3.9. Gökyüzü kapalılığının toplam frekans dağılımı.....	74
Şekil 3.10. Yıllık bağıl nem frekans dağılımı.....	75
Şekil 3.11. Antalya ili hâkim rüzgâr yönü.....	75
Şekil 3.12. Yıllık rüzgâr hızı frekans dağılımı.....	76
Şekil 3.13. Referans bina formu.....	77
Şekil 3.14. Referans bina kuzey görünüşü	77
Şekil 3.15. Referans bina 3 boyutlu görünüşü	78
Şekil 3.16. Referans bina zemin kat planı.....	78
Şekil 3.17. Referans bina normal kat planı	79
Şekil 3.18. Referans bina yıllık elektrik ve yakıt tüketim miktarları-GBS.....	81

Şekil 3.19. Referans bina enerji performans analizi-Insight	81
Şekil 3.20. Enerji etkin bina doğu cephesi saydamlık oranı-EUI grafiği(kWh/m ² /y)	84
Şekil 3.21. Enerji etkin bina batı cephesi saydamlık oranı-EUI grafiği (kWh/m ² /y).....	84
Şekil 3.22. PV geri ödeme sınırı-EUI grafiği(kWh/m ² /y).....	90
Şekil 3.23. Enerji etkin bina enerji performans analizi-Insight.....	91
Şekil 4.1. GBS'nin oluşturduğu alternatiflerin bir bölümü	92
Şekil 4.2. GBS'nin oluşturduğu alternatiflerin toplam enerji(kWh), elektrik(kWh) ve yakıt tüketim(MJ) grafiklerinin bir bölümü	92
Şekil 4.3. Referans bina enerji performans özeti.....	93
Şekil 4.4. Enerji etkin bina enerji performans özeti.....	93
Şekil 4.5. Doğal vantilasyon potansiyeli göstergesi.....	94
Şekil 4.6. GBS PV analizi.....	95
Şekil 4.7. PV enerji analizi	95
Şekil 4.8. Referans bina aylık toplam enerji tüketim(kWh) grafiği	96
Şekil 4.9. Referans bina aylık elektrik tüketim(kWh) grafiği	96
Şekil 4.10. Referans bina aylık yakıt tüketim(m ³) grafiği	97
Şekil 4.11. Referans bina yıllık elektrik tüketim grafiği	97
Şekil 4.12. Referans bina yıllık yakıt tüketim grafiği	98
Şekil 4.13. Enerji etkin bina aylık toplam enerji tüketim(kWh) grafiği.....	98
Şekil 4.14. Enerji etkin bina aylık elektrik tüketim(kWh) grafiği.....	99
Şekil 4.15. Enerji etkin bina aylık yakıt tüketim(m ³) grafiği	99
Şekil 4.16. Enerji etkin bina yıllık elektrik tüketim grafiği.....	100
Şekil 4.17. Enerji etkin bina yıllık yakıt tüketim grafiği	100

ÇİZELGELER DİZİNİ

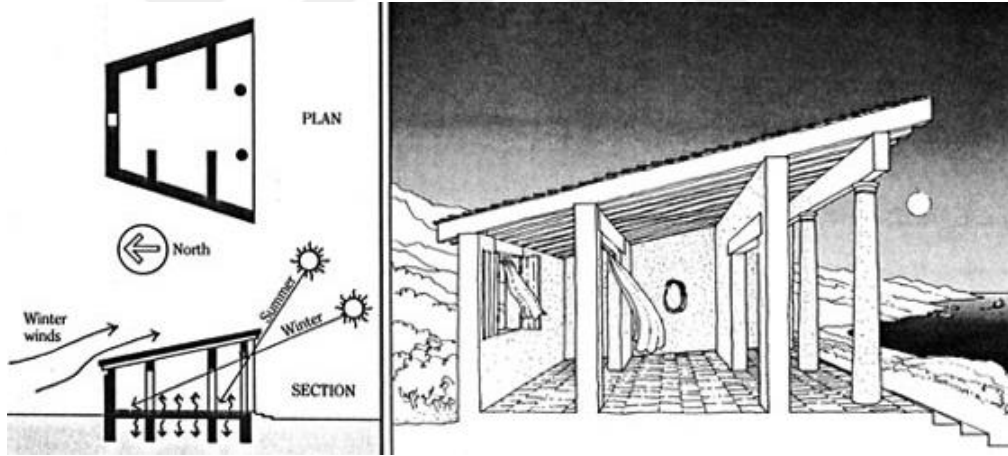
	Sayfa
Çizelge 1.1. Farklı iklim bölgelerine göre binalar arasındaki açık mekânlarda uygulanabilecek peyzaj kararları	15
Çizelge 1.2. İklim bölgelerine göre dış zemin malzeme seçimi	15
Çizelge 1.3. Farklı iklim bölgelerine göre bina formları ve yönlendiriliş durumları	19
Çizelge 1.4. İklim bölgelerine göre yöneliş	21
Çizelge 1.5. Konut içerisindeki fonksiyonların uygun yönlendirilme şeması	22
Çizelge 1.6. İklim tipine göre uygun bina kabuk özellikleri	28
Çizelge 1.7. Farklı iklim bölgelerine uygun pencere açıklıkları	30
Çizelge 1.8. Farklı camların ısı geçirgenlik katsayıları	31
Çizelge 3.1. Bölgelere göre en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U değerleri	79
Çizelge 3.2. Referans bina kabuk bileşenlerinin fiziksel yapıları ve ısı geçirme katsayı değerleri.....	80
Çizelge 3.3. Enerji etkin bina kabuk bileşenlerinin fiziksel yapıları ve ısı geçirme katsayı değerleri.....	85
Çizelge 4.1. Referans bina ve enerji etkin bina yıllık elektrik ve yakıt tüketim miktarları karşılaştırması.....	94

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a_c	Saydam bileşenin yutuculuk katsayısı
α_i	İç yüzeysel ısı iletkenlik katsayısı
α_d	Dış yüzeysel ısı iletkenlik katsayısı
a_o	Opak bileşenin yutuculuk katsayısı
BIM	Building Information Modeling- Bina Bilgi Modellemesi
BEM	Building Energy Modeling-Bina Enerji Modellemesi
BES	Bina Enerji Simülasyonu
C	Vücuttan taşınım ile ısı kaybı miktarı
Cd	Vücuttan iletim ile ısı kaybı miktarı
CFD	Computational Fluid Dynamics
Clo	Isı yalıtım direnci
d	Opak bileşeni oluşturan malzemenin kalınlığı
DXF	Drawing Exchange Format
DWG	Drawing
E	Vücuttan buharlaşma yoluyla ısı kaybı
EUI	Enerji Kullanım Yoğunluğu
GBS	Green Building Studio
HVAC	Isıtma, Soğutma ve Havalandırma
IFC	Industrial Foundation Classes
kWh	KiloWatt saat
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
MJ	Megajoule
MTEP	Milyon ton eşdeğer petrol
MET	Metabolizma düzeyi
MWs	Megawatt saat
ODBC	Open Database Connectivity
PV	PhotoVoltaic
R	Isıl direnç
r_c	Saydam bileşenin yansıtıcılık katsayısı
r_o	Opak bileşenin yansıtıcılık katsayısı
S	Vücutta depolanan enerji miktarı
SO	Saydamlık oranı
STEP	Standard for the Exchange of Product
U	Isı geçirme katsayısı
U_D	Duvar bileşeninin toplam ısı geçirme katsayısı
U_o	Opak bileşenin 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
2D	2 Boyutlu
3D	3 Boyutlu
τ_c	Saydam bileşenin geçirgenlik katsayısı
β	Yükseliş açısı
γ	Cephe-güneş azimut açısı
Σ	Azimut açısı
λ	Opak bileşeni oluşturan malzemenin ısı iletkenlik katsayısı
Ω	Profil açısı

1. GİRİŞ

Tarih boyunca bina tasarım kararlarında; yerel iklim koşulları belirleyici olmuş, doğal kaynaklardan azami düzeyde yararlanmak mimari bakış açısının temelini oluşturmuştur. Eskimolar buzdan evi/igloyu soğuktan korunmak amacıyla tasarlarken, Harran evleri sıcağa karşı bir kabuk oluşturmuştur. Vitruvius MÖ. 25 yılında konut tasarımında iklimin önemini ele aldığı *De Architectura* adlı bir kitap yazmıştır. MÖ. 470'li yıllarda Sokrates kış aylarında güneşi iç mekâna alabilen, yaz aylarında ise güneş ışınımından korunan bir ev tipi önermiştir (Demirbilek ve Eryıldız, 2001) (Şekil 1.1). Le Corbusier, güneşin doğuşundan başlayan, yükselişini, batışını içeren, yeniden doğuşuna kadar uzayan ve orada son bulan olayı, doğadaki yaşamı koşullandıran ve yönlendiren en önemli etken olarak tanımlamaktadır (Arpacıoğlu, 2010). Bütün bunların yapılmasındaki temel ihtiyaç, yerel koşullara yapısal adaptasyon sağlamaktır. Bu adaptasyon şekli, kimi zaman doğal koşullardan korunmak kimi zaman ise koşullardan optimum fayda sağlamak üzerine kurulmuştur.



Şekil 1.1. Sokrates'in güneş evi (Holloway, 2011)

Yakın çağa geldiğimizde 18. ve 19. yüzyıllarda yaşanan Endüstri Devrimi ile birlikte I. ve II. Dünya Savaşı gibi dönemler geçiren ülkeler, II. Dünya savaşı sonrası hızla büyüme ve kalkınma çabalarına girmişlerdir. Endüstrileşme, enerji ihtiyacı ve nüfus artışından kaynaklanan problemler ortaya çıkmış, bu problemlerin etkileri her sektörde görülmüştür. Yapı sektörü de tasarım kararları etkilenecek biçimde problemlerden payını almıştır. Tasarımda doğaya adaptasyon ekseninde şekillenen kararlar, artan nüfus artışına cevap verecek şekilde evrilmiş, bu evrim çevresel sorunlar ve enerji tüketimi gibi sorunlara diğer sektörlerle birlikte katkıda bulunmuştur. 1973 ve 1979-1981 petrol krizleri ve 1980'lerin başında artan sera gazı emisyonu sonrasında da yaşanan enerji

krizi ve izlenen yanlış politikalar, küresel çapta doğal kaynakların bilinçsizce kullanılmasına ve ekolojik sorunlara yol açmıştır. Fosil yakıtların enerji kaynağı olarak kullanımı, atmosferde CO2 gibi sera gazlarının emisyon değerlerinin artmasına bu da küresel ısınma ve iklim değişikliğine neden olmaktadır. Bu durum enerji politikalarında önemli değişikliklere yol açmıştır. Krizleri yaşayan ülkeler, sorunlara yönelik 1992 Rio Zirvesi, 1997 Kyoto Protokolü, 2015 Paris İklim Antlaşması ve son olarak 2018 yılında Birleşmiş Milletler İklim Zirvesi-COP24 gibi küresel platformlarda bir araya gelmiş ve iklim değişikliğine yönelik çözüm üretme çabalarına girişmişlerdir.

Paris İklim Antlaşması Aralık 2015 yılında 195 ülkenin onayıyla kabul edilmiş olup sera gazı emisyonlarının tavan yaptığına ve yüzyılın ikinci yarısında iklim sorununun çözülmesi gerektiğini dikkat çekerek, mümkün olan en kısa sürede uygulanması gereken küresel bir eylem planı ortaya koymaktadır. Antlaşmanın, küresel ısınmayı sanayi devrimi öncesine göre 2°C'nin oldukça altında ve hatta 1.5°C ile sınırlamayı amaçlayan uzun vadeli bir hedefi vardır. 2016 yılında, küresel sera gazı emisyonlarının %55'ini oluşturan en az 55 tarafın anlaşmayı onaylaması koşulunun karşılanması sonucu, Kasım 2016 yılında yürürlüğe girmiştir (Avrupa Birliği Türkiye Delegasyonu, 2016). Aralık 2018 yılında 200 ülke katılımıyla Katowice'de Birleşmiş Milletler İklim Zirvesi-COP24 gerçekleşmiştir. İklim değişikliği krizinin aciliyeti konusunda alarm veren IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change-Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli) 1.5°C Özel Raporu doğrultusunda gerçekleşen zirvede Paris Antlaşmasının Kural Kitabı kabul edilmiş olup 2020 yılından itibaren yürürlüğe girecektir. Bu gibi eylemler göstermektedir ki yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim ve enerji tasarrufuna yönelik politika ve çözümlerler geliştirmek artık küresel anlamda bir zorunluluk halini almıştır.

Günümüzde dünya elektrik tüketiminin yaklaşık yarısını yapı sektörü oluşturmakta olup konut sektörü tüm elektriğin %27'sini tüketmektedir (REN21, 2018). Bütün dünyada olduğu gibi ülkemizde de tüketilen toplam enerjinin büyük bir oranı yapılarda kullanıcı konforunu sağlamak üzere ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma gereksinimleri için kullanılmaktadır. Nüfus artışı, refah düzeyinin yükselmesi, hizmet sektörünün güçlenmesi ve sanayileşme gibi nedenlerden dolayı ülkemizin enerji kullanımı gelişmiş ülkelere göre daha hızlı artmaktadır. Birincil enerji tüketimi 2015 yılında 129,7 MTEP olarak gerçekleşerek, 2005 yılından 2015 yılına kadar %46 oranında artış göstermiştir. Birincil enerji arzında ithal enerji kaynaklarının oranı 2015 yılında %75,9 olarak gerçekleşen ülkemiz, enerjide dışa bağımlılığı yüksek olan ülkeler arasında yer

almaktadır. Son yıllarda hızla gelişmekte olan ve enerji tüketiminde bir hayli payı olan bina sektörünün de nihai enerji tüketimi 2000 yılında 19,5 MTEP iken %66 artarak 2015 yılında 32,4 MTEP değerine ulaşmıştır. Yıllık ortalama %4,4 enerji talep artışı gerçekleşen bina sektörünün nihai enerji tüketimindeki payı ise %32,8 değerine ulaşarak sanayi sektörünün de önüne geçmiştir. Söz konusu istatistiklerden görüldüğü üzere enerji tüketiminin bir hayli fazla olduğu yapı sektöründe enerji etkin bina tasarım parametrelerinin ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının tasarım sürecine dâhil edilmesi ülkemiz için önem verilmesi gereken konuların başlarında yer almaktadır (YEGM, 2018).

Belirtilen durumlar dünyada ve ülkemizde enerji tasarruflu önlemleri almayı zorunlu kılmaktadır. Buna yönelik, enerji analiz süreci, dünyanın her yerinde artan düzenlemelerle tasarım sürecinin erken aşamasına dâhil edilmektedir. Geliştirilen enerji etkin tasarım kriterleri ve verimliliği yüksek yapı standartlarıyla binaların enerji tüketimleri oldukça düşük seviyelere çekilebilmektedir. Bu hedefler yörüngesinde geliştirilen ve yaygınlaşan enerji etkin yapı tipleri vardır. Bunlar pek çok yapının yaşam döngüsü içerisinde, daha çok bir süreç olarak nitelendirilebilir. Genel olarak çevreyle uyumlu, akıllı özellikler barındırırlar. Dünyada en yaygın kullanılan tipleri; Yeşil Bina ve Akıllı Bina, Sıfır Enerjili Bina (ZEB- Zero-energy Building), Pasif Ev(PassivHaus), Aktif Ev vb. olarak adlandırılır.

Yeşil bina kavramı, USGBC, Amerika Yeşil Binalar Konseyi(US. Green Building Council), tarafından tanımlanan haliyle, binanın yerleşimini, su yönetimini, iç hava kalitesini, malzeme kullanımını ve enerji unsurlarını içerir. Sağlıklı, konforlu, sağlam, enerji verimli ve çevreye dostu binalar demektir. Yeşil binalarda, yerel olarak mevcut maddelerin tekrar kullanımı ve kaynakların korunarak sürdürülebilirliğin sağlanması için güneşten faydalanma, ısı verimliliği, güneş enerjisi uygulamaları, su tasarrufu sağlayan tesisat kullanımı, yağmur suyunu tutan ve bakım ihtiyaçlarını azaltan peyzaj gibi yöntemler kullanılabilir. Böylece atıkların değerlendirilmesi(çatıya yağmur yağmur suyunun tekrar kullanımı gibi), bina içi hava kalitesinin sağlanması, güneş kolektörlerinin sıcak su ihtiyacını karşılaması, kışın güneş enerjisinden bina ısıtmasında yararlanılması mümkün olabilmektedir. Bu tür binalar, LEED(Leadership in Energy and Environmental Design), adı verilen bir sistem ile değerlendirilebilir. Sistem her türlü binaya uygulanabilir (Olgun vd., 2009). Bu sistemin enerji ve atmosfer başlığı altında enerji performans optimizasyonu için; ön koşul olarak binanın bütüncül bir enerji modellemesi ve simülasyonunun yapılması ve ASHRAE/IESNA 90.1-2004 standardına

göre oluşturulan temel senaryo ile karşılaştırılması istenmektedir. Temel senaryodan %10,5 ile %35 arasında daha iyi performans gösterme durumuna göre 1-8 arası puan alınabilmektedir (Çelik, 2009).

Akıllı binalar, enerji tüketiminin bina dâhilinde bulunan otomasyon sistemiyle kontrol edilebildiği, kullanıcı konforunu maksimum düzeyde, tüketilen enerjiyi ise minimum düzeyde tutmayı hedefleyen bina sistemidir. Aynı zamanda, bina fonksiyon değişikliklerine uyum sağlayıp öğrenme yeteneğine sahiptirler.

Sıfır Enerjili Bina (ZEB- Zero-energy Building), aynı zamanda net sıfır enerjili bina olarak da bilinir. Geleneksel binalardan daha az enerji tüketir ve bina içinde kullanmak üzere kendi enerjilerini kendi tesislerinde üretebilir. Bu yüzden, birçoğu ulusal elektrik şebekesinden bağımsızdır. Yenilenebilir enerji teknolojileri ile enerji etkin yapım tekniklerini optimum şekilde birleştirebilen, tükettiği kadarını üreten binalardır. ZEB'ler, küreselleşmenin getirdiği çevre ve enerji kaynak sorunlarına gerçekçi bir çözüm olarak görüldüğünden son yıllarda geniş çapta uluslararası bir ilgi görmektedir.

Pasif Ev(PassivHaus); konfordan ödün vermeden ve sadece yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmadan, binalardaki ısıtma ve soğutma sistemlerinin enerji tüketiminde tasarruf sağlayan yüksek yalıtımlı yapılardır. Pasif evlerde havalandırma sistemi bir ısı aracı olarak kullanılır, ısınma ihtiyacı önceden ısıtılmış hava ile sağlanır. Doğal havalandırma pasif tasarımda önemli rol oynamasına rağmen, bu yapı tipinde termal konfor, hava sızıntısını azaltıp termal köprülerden kaçarak sağlanır. Pasif Ev'de, ısıtma ve soğutma enerjisi ayrı ayrı yılda 15 kWh/m²'den fazla kullanılmamalı, toplam birincil enerji tüketimi (ısıtma, sıcak su ve elektrik için) yılda 120 kWh/m²'den fazla olmamalıdır (Shim vd., 2018).

Aktif Ev; dışarıdan herhangi bir enerji kaynağına ihtiyaç duymadan kendi enerjisini üretmesiyle öne çıkmaktadır. Aktif binaların her geçen yıl daha yaygın hale gelmesinin nedeni pasif binaların pasif güneş sistemlerini kullanırken aktif binaların hem aktif hem de pasif güneş sistemlerini birlikte kullanmasıdır. Diğer bir sebep ise pasif binaların sadece bazı seçilmiş ortamlar için uygun olmasıdır. Bu nedenle, aktif yapılar enerji yetersizliği temelli problemler için uygun çözümler sunar (Yakut ve Esen, 2017). Aktif binaların tasarımında pasif stratejiler izlenir. Enerji tüketiminin asgari düzeyde tutulması amaçlanır ve yenilenebilir enerji kaynakları aktif olarak kullanılır. Genellikle fotovoltaik paneller ve güneş enerjili su ısıtıcıları, jeotermal ısı pompaları gibi aktif

sistemlerle kendi enerjisini üreterek enerji verimliliği sağlanır. Pasif evlerdeki kalın yalıtımlı duvarların sağlık problemlerine ve binada yer kaybına neden olması da ilgiyi aktif evlere yöneltmektedir. Ancak Pasif Ev'den daha iyi performans gösteremedikleri bilinmektedir. Sıfır enerjili bina(ZEB-Zero Energy Building)dan da fazla olarak Aktif Ev, şebekeye geri beslenebilen pozitif enerji üretir.

Enerji etkin bina tasarımı; binayı pasif stratejilerle doğaya adapte edip, yenilenebilir enerji kaynaklarıyla destekleyerek karbondioksit salınımını azaltmayı ve enerji tasarrufunu sağlamayı amaçlayan tasarım sistemidir. Bina tasarımında enerji etkinliğinin sağlanması iki aşamada gerçekleştirilebilir:

- Enerji etkin bina tasarım parametrelerinin optimum şekilde uygulanmasıyla enerji tüketim oranlarının minimize edilmesi,
- Binaya enerji kazancını arttırmaya yönelik pasif ve aktif sistemlerin entegre edilmesi.

Binalarda enerji etkinliğinin sağlanabilmesi için tasarım, yerel iklim ve coğrafyaya adapte olacak şekilde ele alınmalıdır. Bina tasarımlarında yerel çevre verilerine bağlı çözümler yapılırken, malzeme seçimi ve binaya entegre edilmiş pasif ve aktif sistemlerle, enerji üretimine katkı bulunması mümkündür. Bu hedefe ulaşabilmek için tasarımcının kontrolündeki tasarım parametrelerinin ve enerji etkin çözümlerinin doğru belirlenmesi gerekir. Enerji etkin çözümlerinin tasarım sürecine entegre edilmesi için ideal zaman ise binaların erken tasarım aşamasıdır. Bu çözümler erken tasarım aşamasının başlangıcında tasarıma dahil olduğunda, inşaatın sonraki aşamalarında kurulmuş haline kıyasla, enerji tasarrufu daha fazla sağlanmış, uygulama maliyetleri daha azaltılmış olur.

Bu başlık altında belirtilen durumlar, tez çalışmanın dinamiğini oluşturmaktadır. Bu çalışmada insanın yaşam alanı olan bölgenin tüm enerji ilişkisi detaylı bir şekilde incelenmiştir. Sadece enerji üretimi ve tüketimi değil bu sonuçlara etki eden tüm parametreler detaylıca tartışılmıştır. Bu yüzden çalışmada enerji konusu için, tez danışmanımın multidisipliner çalışmaları ve kendi eğitimimdeki multidisipliner bakış açısı yansıtılmaya çalışılmış; enerji konusuna, insanın yaşam alanına etkisine farklı disiplinlerce bakılarak değerlendirilip hazırlanmıştır. Bu bakış açısıyla kapsam anlamında geçmişten günümüze gelişen kazanımları yansıtmış bir tez çalışması olmuştur. Çalışmanın amacı, erken tasarım aşamasında binanın belirlenen enerji etkin tasarım parametreleri doğrultusunda tasarlanması ve bu aşamada binaya enerji etkin

sistemlerin entegre edilmesiyle enerji tüketim miktarında sağlanacak tasarruf oranının ortaya konulmasıdır. Aynı zamanda Bina Bilgi Modellemesi-BIM ve Bina Enerji Modellemesi-BEM süreçlerinin tasarıma dâhil edilmesinin sağladığı faydaları belirtmektir. Binanın enerji ihtiyacının minimumda tutulması ve konvansiyonel enerji kaynaklarına ihtiyacının en aza indirgenmesi hedeflenmiştir. Aşağıda belirtilen enerji etkin bina tasarım parametreleri, enerji etkin sistemler ve BIM yazılımları alt başlıkları çalışmanın 3.bölümünde enerji etkin bina tasarım modelinde kullanılmak üzere detaylıca incelenmiştir.

1.1. Enerji Etkin Bina Tasarım Parametreleri

Enerji etkin kullanıma yönelik tasarım süreci, birbirleri ile ilişkili farklı parametrelerin binanın enerji tüketim oranını minimize etmeye yönelik, ilişkilendirilmesi ile mümkündür. Yapının yaşam döngüsü boyunca harcayacağı enerji tüketim miktarını ve buna bağlı olarak maliyetini minimuma indirmek, tasarım parametrelerinin optimum şekilde belirlenmesine bağlıdır. Enerji etkin bina tasarımı sürecinde etkili olan parametreler; kullanıcıya ilişkin, dış çevreye ilişkin ve binaya ilişkin parametreler olmak üzere üç grupta incelenmiştir.

1.1.1. Kullanıcıya ilişkin parametreler

Dünya üzerinde, farklı iklim koşulları ve farklı insan profilleri yüzünden, konforlu ortam koşulları genellikle çoğunluğun memnuniyet durumuna göre belirlenmektedir. Ortam iklimlendirilmesi hakkındaki uluslararası standartlardan olan ISO 7730 ısı konfor ile ilgili olarak kişilerin en az %80'inin, ASHRAE Standart 55 ise en az %90'ının memnun olması gerektiğine değinmiştir (Yüksel, 2005). İklimsel konforda sağlanan ısı denge aşağıdaki bağıntıyla ifade edilmektedir (Dizdar, 2009).

$$H = S + E + R + C + Cd \quad (1.1)$$

Burada H vücudun ürettiği enerji miktarını(metabolizma düzeyi, W), S vücutta depolanan enerji miktarını (W), E vücuttan buharlaşma yoluyla ısı kaybını (W), R vücut ile çevre arasında ısı ışınımıyla ısı alışverişi miktarını (W), C, Cd vücuttan taşınım ve iletim ile ısı kaybı miktarını temsil etmektedir (W). Bu bağlantıda ifade edilen; vücutta oluşan ısının ısı ışınım, buharlaşma ve taşınım ile çevreye verilmesiyle ısı dengenin oluşmasıdır.

Çevreyle insan arasındaki ısı alışverişini etkileyen tüm etkenler iklimsel konforu da etkilemektedir (Dizdar, 2009).

Isıl konfor koşullarının ideal olmasında pek çok parametre etkilidir. Bu parametreler kişisel(yaş, cinsiyet, aktivite düzeyi, giysi türü vs.) ve çevresel(ortamın hacmi, izolasyonu, sıcaklığı, nemi, güneş ışığı alma durumu, hava hızı vs.) özellikler olarak 2 gruba ayrılıp incelenebilir (Yakut vd., 2013).

Kişisel özellikler; ırk, yaş, cinsiyet, aktivite düzeyi ve giysi türü olarak sıralanabilir. Aktivite düzeyi ve giysi türü, iç mekân konfor koşulları üzerinde en çok etkili olan değişkenlerdir (Özdemir, 2005).

Aktivite düzeyi(eylem şiddeti), insan vücudunun aldığı yiyecekleri yakarak birim zamanda ürettiği ve metabolizma düzeyi olarak adlandırılan enerji miktarını etkileyen önemli bir değişkendir. Metabolizma düzeyi insanın yaptığı eylem türü ile yani aktivite düzeyi ile doğrudan ilişkilidir ve çoğu kez MET birimi olarak ifade edilmektedir (Özdemir, 2005).

Giysilerin türü(termal düzeyi), giysilerin ısı yalıtım direncini ve insan ile çevresi arasındaki ısı transferi miktarını etkilediğinden iklimsel konfor koşullarının belirlenmesinde, bilinmesi gereken önemli değişkenlerdendir. Giysilerin ısı yalıtım direnci Clo birimi ile ifade edilmektedir (Özdemir, 2005).

Çevresel özellikler; ortamın hacmi, izolasyonu, sıcaklığı, nemi, güneş ışığı alma durumu, hava hızı gibi özellikler sayılabilmektedir. Normal şartlarda, bir insanın vücut iç sıcaklığını 37°C civarında, deri yüzey sıcaklığını ise ortalama 31,5-33,5°C aralığında olması gerekmektedir. Deri sıcaklığındaki 1-3 °C sıcaklık değişimi insanı rahatsız etmemektedir. Deri üzerinde ter yoğunlaşmamalı veya izafi nem %20' yi geçmemelidir. Bu şartları insanın sağlayabilmesi ise az giyimli bir insan için çevrenin 24±3 °C kuru termometre sıcaklığında, %50 izafi nemde ve rüzgâr hızının <0,2m/s olması gerekmektedir. ASHRAE standardına göre; çıplak olarak 29-31°C ile giyinik olarak 23-27°C sıcaklıkları arasındaki bir ortamda bulunan hareketsiz insan, ortamı sıcak veya soğuk hissetmediği bir denge sıcaklığındadır ve ortamı konforlu bulmaktadır (Yakut vd., 2013).

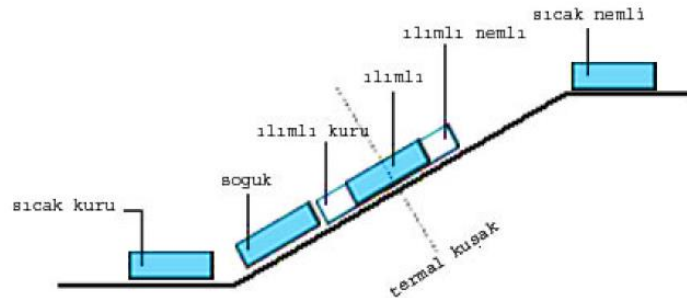
Bu tez çalışmasında kullanıcıya ilişkin parametrelerle ilgili verilen bilgiler bu bölümle sınırlandırılmış olup, enerji kullanımını yönelik etkilerinden dolayı önemi vurgulanmaya çalışılmıştır.

1.1.2. Dış çevreye ilişkin parametreler

Bu parametreler; topoğrafya, iklimsel koşullar, bitki dokusu ve peyzaj elemanları ve yakın çevredeki yapılaşma başlıkları altında incelenmiştir.

1.1.2.1. Topografya

Bina tasarımında; arazinin topografik verilerini oluşturan eğim, engebe, yükseklik ve bakı gibi jeomorfolojik özellikler ile tektonik durum, fay hattı varlığı, zemin taşıma kapasitesi, yer altı maden ve su kaynakları şeklinde sınıflanabilecek jeolojik özellikler tasarımı etkileyen temel verileri oluşturmaktadır. Topografik yapı ve binanın arazideki konumuna göre binanın ısı kazanımı veya rüzgârdan yararlanma değerleri değişmektedir. Vadi tabanına yerleşmiş binalar soğuk hava birikmesi etkisiyle daha çok ısı enerjisi kaybederken, güney yamaca konumlanmış binalar güneş ışını alma durumlarına göre daha az ısı enerjisi kaybetmektedir (Kısa Ovalı, 2009). Buna yönelik, yapılan eğim ve yön analizleriyle, vadi tabanı ile en yüksek nokta arasındaki orta yamaçların “termal kuşak” özelliği taşıdığı görülmüştür. Bu kuşakta, ısıtma ekonomisi açısından cephelerin en az dört saat güneş alma potansiyeli bulunmaktadır (Özler, 2003) (Şekil 1.2).



Şekil 1. 2. Farklı iklim bölgeleri için uygun yerleşim alanları (Koca, 2006)

İklim bileşenlerinin etkilerini değiştiren topografik şartlar, iklim koşullarının da yapılar üzerinde farklı etkilerde bulunmasına sebep olmaktadır. Örneğin; yükseklikle beraber güneş ve rüzgârın etkisi artacak ve hava sıcaklığı düşecektir. Topografik yapının

belirtilen iklimsel etkileri, yapının ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarının düzeyini dolayısıyla tüketileceği enerji miktarını belirlemektedir. Yapıların topografya ile uyumlu tasarlanması ile tüketilen enerji miktarının düşürülmesi ve enerji korunumunun sağlanması mümkündür.

1.1.2.2. İklimsel koşullar

Enerji etkin bina tasarımında iç ortam konfor koşullarının sağlanabilmesi amacıyla binanın yerel iklimsel verileri göz önünde bulundurularak tasarlanması gerekmektedir. Belirlenen enerji etkin tasarım parametreleri içinde, iklimsel koşullar dış çevresel parametreler başlığı altında ele alınmış, iklim bileşenleri hakkında bilgi verilmiştir. Aynı zamanda tasarım kararlarını yönlendirici etkiye sahip iklim bölgelerine de bu başlık altında değinilmiştir.

İklim bölgeleri; Türkiye’de iklimsel veriler analiz edilerek belirlenen beş ana iklimsel karakter ve pilot şehirler aşağıda belirtilmiştir. Bu iklim bölgeleri dikkate alınarak, kullanıcı konforu ve enerji tasarrufu sağlamak amacıyla yerel tasarım kararları verilmelidir:

- Soğuk iklim bölgesi: Erzurum
- Ilımlı-kuru iklim bölgesi: Ankara
- Ilımlı-nemli iklim bölgesi: İstanbul
- Sıcak-nemli iklim bölgesi: Antalya
- Sıcak-kuru iklim bölgesi: Diyarbakır şeklindedir.

Soğuk iklim bölgesinde iklimsel tasarım, yazlar kısa ve serin, kışlar uzun ve sert geçen iklim bölgesinde sıcaklık yılın yaklaşık yarısında 0°C’un altındadır. Bölgenin geleneksel mimarisi aşağıda belirtilmektedir (Dizdar, 2009):

- Isı kaybını azaltmak için kare planlı kompakt formlar kullanılmaktadır.
- Birilcil yaşam alanları güneşe yönlendirilmiştir.
- Bina kabuğu ısı tutuculuğu yüksek olan ağır malzemelerden yapılır.
- Isı tutuculuğu arttırmak için dış cephelerde çoğunlukla koyu renkler tercih edilir.
- Soğuk rüzgâra maruz kalacak yüzeyleri azaltmak ve toprağın sıcaklığından faydalanmak için binanın bir bölümü toprağa gömüktür.
- Binalar ısı kaybını azaltmak amacıyla bitişik nizamda olup pencere alanları küçüktür.
- Çatı türü kısa saçaklı kırmadır.

Ilımlı-kuru iklim bölgesinde iklimsel tasarım, bölgenin kışları soğuk iklimde olduğu kadar sert olmamakla birlikte iklimin belirleyici dönemi kıştır. Ortalama yıllık yağış az miktardadır Bölgenin geleneksel mimarisi aşağıda belirtilmektedir (Dizdar, 2009);

- Ilımlı-nemli iklim bölge mimarisine benzerlik göstermekle birlikte pencere alanları daha küçük, tavan yükseklikleri daha azdır. Nem problemi bulunmadığı için karşılıklı havalandırmaya ihtiyaç duyulmaz.
- Yönlendirme bakımından güney yönü tercih edilir.
- Yerleşim rüzgârdan korunum sağlayacak biçimde konumlandırılır.
- Binalar, yerel yapı malzemesi olarak çevrede oldukça çok bulunan taş ve kerpiçten oluşan yığma sistem ile yapılmaktadır. 50-60 cm' lik kalın duvarlar ısı korunumu açısından tercih edilmelidir.
- Yerleşim bitişik nizam ve dar sokaklardan oluşmaktadır.
- Planlamada ana yaşam alanları güney yönüne konumlandırılır.
- Binalar genellikle ahşaptan inşa edilmiş, üstte bulunan yazlık kat ve kerpiç duvarlardan yapılmış kışlık kat olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır.
- Planlamada sofa kullanılır.
- Pencereelerde, kepenk veya bina dışına yerleştirilen kapaklar ile dış etkilere karşı korunum sağlanır.
- Genellikle tercih edilen kırma çatılar yağmur ve güneşten korunmak amacıyla saçaklı yapıdadır.

Ilımlı-nemli iklim bölgesinde iklimsel tasarım, bölgede kışlar uzun sürdüğünden dolayı iklim belirleyicisi kış mevsimidir. Gece-gündüz farkları fazla olmayan bu iklim tipinde güneş ışınım değerleri ortalama değerlerdedir. Bölgenin geleneksel mimarisinin tasarım ilkeleri aşağıdaki belirtilmektedir (Dizdar, 2009):

- Güney yamaçların orta kısımları yerleşim alanı olarak seçilir.
- Binalar; birbirlerinin gün ışığını ve hava hareketini engellemeyecek şekilde konumlandırılır.
- Yerleşim alanı; deniz, su kaynakları veya onlardan gelen rüzgârdan korunacak şekilde tasarlanır.
- Isıtmaya duyulan ihtiyacın daha uzun dönem sürmesinden dolayı tasarımlarda güneş ışınımından faydalanmak öncelikli olmaktadır.
- Birincil mekânlar güneş ışınımı alabilmek için doğu-güney-batı yönlerini kapsayan yay içinde yer alır.
- Bina planlarında dış iklim koşullarından korunaklı bölge olarak sofa kullanılır.

- Nemi dağıtan hava hareketlerini oluşması amacıyla yapı kabuğunda karşılıklı açıklıklar bırakılır.
- Bütün mevsimler boyunca konfor koşullarının sağlanabilmesi amacıyla evin yazlık ve kışlık bölümleri ayrı ayrı düzenlenir(yaz mevsimi için büyük pencereli, yüksek tavanlı yazlık kat; kış mevsimi için küçük pencereli alçak tavanlı kışlık oda olacak şekilde düzenlemeler yapılması vb.).
- Esnek formlu, girintili çıkıntılı hacimler kullanılır.
- Cumba kullanılması ile kış mevsiminde güneş ışığının pencereler aracılığıyla içeri alınması, yaz mevsiminde ise bu kütleli çıkmanın yapacağı gölge ile diğer hacimlerin aşırı ısınması engellenir.
- Yağışlar fazla olduğu için çoğunlukla geniş saçaklı kırma-beşik çatı tipi tercih edilir.
- Çatı saçaklarının geniş tutulması ile yapının yaz mevsiminde güneş ışınlarından, kış mevsimi ise yağmurdan korunması sağlanır.
- Duvarlarda ısı tutuculuğu, kolay temin edilebilirliği ve genişleyen ev yapısına uyum sağlayabilmesi nedeniyle ahşap kullanılır.

Sıcak - nemli iklim bölgesinde iklimsel tasarım, yüksek nem oranı, hissedilen sıcaklığı arttırmaktadır. Güneş ışığını fazla alan ve gece-gündüz sıcaklık farkı çok az olan bölgenin, en önemli özelliği bol yağış almasıdır. Rüzgâr ve gölgeli alan ihtiyacı tasarımın temel faktörünü oluşturur. Bölgenin geleneksel mimarisinin tasarım ilkeleri aşağıdaki belirtilmektedir (Dizdar, 2009):

- Bölge sıcak olduğu için ısı tutuculuğu az, rüzgâr geçişine izin veren hafif konstrüksiyonlar tercih edilir.
- Yapıların konumlanması, hâkim rüzgâra karşı yerleştirilen dar uzun formdadır.
- Cephelerde çapraz havalandırmaya izin veren karşılıklı yerleştirilen geniş pencere boşlukları bulunmaktadır.
- Yapı kolonlar üzerinde yükseltiyle veya zemin katta geniş açıklıklar oluşturularak, rüzgârın bina altından geçerek soğutma yapmasına olanak sağlanır.
- Çatılar, nem kontrolünü sağlamak için havalandırılabilen “nefes alan” çatı olarak eğimli, uzun saçaklı ve hafif konstrüksiyona sahiptir.
- Şehir yerleşimi dar sokaklardan oluşur ve rüzgâr hareketlerine izin verecek şekilde konumlandırılmıştır.
- Tepe pencereleri kullanımı ile havalandırma sağlanır.

- Avlulu plan tipinde tasarlanan yapılarda, yapı malzemesi için çoğunlukla bölgede fazla sayıda mevcut ahşap ve taş yerel malzemeleri tercih edilmektedir.
- Şehir yerleşiminde yapılar konumlandırılırken, aralarında açıklık bulunması ve topografyaya uyum sağlayacak şekilde olmaları sağlanır.

Sıcak - kuru iklim bölgesinde iklimsel tasarım, karasal iklimin hâkim olduğu ve yıl ve gün içindeki sıcaklık farklarının fazla olduğu bu iklim bölgesi Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde görülmektedir. Yazları çok sıcak, kışlarıyla çok soğuk olan bölge sıcaklık farklarının fazlalığıyla çöl iklimiyle benzerlik göstermektedir. Sıcak nemli iklim bölgesinin tersine bağıl nem oranı çok düşük olduğundan kurudur. Bölgenin geleneksel mimarisi aşağıda belirtilmektedir (Dizdar, 2009):

- Bina kabuğu, ısı tutuculuğu fazla olan taş, kerpiç, çamur gibi malzemelerden veya bunların çeşitli birleşimlerinden olacak şekilde 75-100 cm kalınlığındadır.
- Güneş ışınlarından etkilenimi minimum düzeyde tutabilmek için kompakt formlar tercih edilir.
- Binanın iç içe geçmiş kütleler şeklinde planlanmasıyla gölgeli alanlar elde edilerek bina kütlesi arttırılmış olduğundan kabuğun zaman geciktirmesi uzar.
- Pencereler az sayıda, küçük ve zeminden yansıyan güneş ışınımının engellenmesi amacıyla olabildiğince yüksektedir.
- Toprağın serinliğinden yararlanmak amacıyla, binanın bir bölümü ya da tamamı toprağa gömüktür.
- Bina cepheleri açık tonlara boyanarak kütlelerin ısı tutuculuğunun azaltılması amaçlanır.
- Avlulu plan tipleri kullanılır.
- Gün boyu her yönden gelen güneş ışınlarından korunabilmek ve gölgeli, serin alan oluşturmak amacıyla eyvan ögesi tercih edilmelidir.
- Su ve bitki ögeleri kullanılan avlular etrefında revak ve eyvanlar yer alır.
- Çatılar eğimsiz, kerpiçle sıvanmış toprak damlar bölgenin karakteristik öğeleridir.
- Şehir yerleşiminde sokaklar, çok dar ve yüksek bina duvarlarının oluşturduğu etkiyle gölgelidir.

İklim bileşenleri; hava sıcaklıkları, güneş ışınımı ve güneşlenme süreleri, nem ve rüzgâr gibi iklim elemanlarından oluşmakta olup bunlar iklimsel konforu etkileyen ve yapının enerji etkinliğinde önemli rol oynayan fiziksel çevresel etmenlerdir. Bu elemanlara dair bilgiler aşağıda belirtilmektedir (Dizdar, 2009):

- Hava sıcaklıkları; büyük ölçüde güneş ışınımının etkisiyle değişen hava sıcaklığı, deniz seviyesi yüksekliğine, yüzey malzemesine ve bitki örtüsü gibi çevresel faktörlere göre değişkenlik gösterir.
- Güneş ışınımı ve güneşlenme süreleri; yeryüzüne ulaşan güneş ışınımı şiddeti, atmosfer koşulları, bulunulan konumun deniz seviyesinden yüksekliği, güneşin yükseliş açısı, güneşin azimut açısı gibi faktörlere bağlı olarak değişim göstermektedir. Güneş ışınımı havanın, toprağın ve çevredeki diğer cisimlerin ısınmalarına sebep olur. Yeryüzüne düşen güneş ışınımı miktarı, atmosferin içerdiklerine, ışının izlediği yolun uzunluğuna bağlı olarak azalacaktır. Güneş ışınları atmosferde yol alırken hava molekülleri, toz parçacıkları ve su damlacıkları tarafından saçılır ve bir bölümü su buharı, ozon, karbondioksit ve diğer gazlar tarafından absorbe edilir. Özellikle bulutlar ışınları saçır ve absorbe ederler. Işınların atmosferde aldığı yol ne kadar uzun olursa ve su buharı ve toz parçacıkları ne kadar çoksa, güneş ışınımı miktarı da o kadar az olur (Koca, 2006). Güneş ışınımı ve güneşlenme süreleri iklimsel konfor üzerinde en etkili olan değişkendir.
- Nem; güneş ışınım ve hava hareketi değişiklikleri doğrultusunda havadaki oranı değişkenlik göstermekle birlikte nemlilik; bitki örtüsü, su yüzeyleri ve topografik duruma bağlı olarak da değişmektedir.
- Rüzgâr; yeryüzüne paralel biçimde gerçekleşen hava hareketleri rüzgâr olarak tanımlanmaktadır. Ülkemizdeki ortalama rüzgâr hızları 50 m yükseklikte; en yüksek hızdaki rüzgârlar(6,5-7,5 m/s) Batı Karadeniz'de; en düşük hızdaki rüzgârlar(4,5 m/s'nin altında) Doğu ve Kuzey Doğu Anadolu'da meydana gelmektedir. Kentsel alanlarda yapıların tanımladığı açık alanlar, kırsaldaki topografik etkiyi oluşturarak hava hareketi oluşmasına sebep olmaktadır. Ancak kentsel alanların açık alanlarında oluşan rüzgâr ve hava hareketleri türbülanslı ve girdaplı olmaktadır. Yerleşme ve yapı çevresindeki hava akımları, yapıya düzenli ve paralel lifler halinde geldiğinde cephelerde basınç, rüzgâra açık yüzeylerde pozitif veya itme, yan ve rüzgâr altı arka yüzeylerdeyse negatif veya emme kuvveti şeklinde oluşmaktadır. Bu düzensiz hava hareketleri etek ve saçak girdaplarını oluşturarak konforsuz alan oluşumuna sebep olmaktadır. Bu negatif etkiler; çoğunlukla yapının tek boyutta çok büyük veya yatayda sürekli oluşundan kaynaklandığından, tasarım aşamasında önlem alınabilmektedir. Söz konusu düzensizlik mevcut olduğu takdirde en az yapı yüksekliği, en fazlaysa

yapı yüksekliğinin 5-7 katı kadar çevresinde düzensiz hava akımları meydana gelmektedir.

1.1.2.3. Bitki dokusu ve peyzaj elemanları

Bitki dokusu doğrudan ve dolaylı yollar ile çevresel şartları ve bina tasarımını etkiler. Yapılaşmış alanlarda meydana gelen çeşitli sorunlara karşı aşağıdaki şekillerde fayda sağlarlar:

- Sıcak dönemlerde güneş kontrolü sağlayıp bina kabuğunun aşırı ısınması nedeniyle meydana gelen soğutma enerji tüketiminin azalmasını sağlar,
- Soğuk dönemlerde yapraklarını döken bitkiler aracılığıyla binanın güneş ışınımından faydalanabilmesi sağlanır. Aynı zamanda binanın kuzey cephesinde daima yeşil kalan ve yaprak dökmeyen bitkiler kullanılarak rüzgâr kırıcı olarak işlev görmeleri sağlanır,
- Çatı örtülerinin bitkisel ögelerle kaplanması sonucu, çatıdan atılması gereken su miktarı azaltılarak şehir şebekesine olan yüklenme ve yapının drenaj donanım maliyeti azaltılmış olunur. Aynı zamanda çatı örtüsünün bitkilendirilmesi ile ısı yalıtımı sağlanır,
- Tozu filtreler,
- Gürültünün absorbe edilmesini sağlar.

Farklı iklim bölgelerine göre binalar arasındaki açık mekânlarda uygulanabilecek peyzaj kararları Çizelge 1.1'de anlatılmaktadır (Özdemir, 2005).

Çizelge 1.1. Farklı iklim bölgelerine göre binalar arasındaki açık mekânlarda uygulanabilecek peyzaj kararları (Özdemir, 2005)

Soğuk İklim Bölgesi	Kuzey cephesinde kısmen yükseltilmiş toprak uygulama yararlıdır. Kuzey, doğu ve batı cephelerinde daima yeşil olan çalılar ve yeşil, alçak dalları olan ağaçlar tercih edilmeli, güney de ise rüzgâr kırıcı alçak çalılar ve çim uygulanmalıdır. Binadan uzakta güneydoğu ve güneybatı yönlerinde yaprak döken ağaçlar tercih edilebilir.
Ilımlı-Kuru ve Ilımlı-Nemli İklim Bölgeleri	Kuzey cephesinde soğuk kış rüzgârlarından korunmak amacıyla daima yeşil, dalları alçak ağaçlar, güneyde alçak çalılar ya da yüksek olmayan ağaçlar tercih edilmeli, doğu ve batı cephelerinde ise güneşi engelleyen, vantilasyona izin veren yüksek gövdeli, yaprak döken ağaçlar tercih edilmelidir.
Sıcak-Nemli İklim Bölgesi	Güney cephesinde ağaçlandırmadan kaçınılmalı, kuzey cephesinde, yazın gölge etkisi sağlayan ağaçlandırma, doğu ve batı cephelerinde güneşi engelleyen, vantilasyona izin veren yüksek gövdeli, yaprak döken ağaçlar tercih edilmelidir.
Sıcak-Kuru İklim Bölgesi	Kuzey ve güney yönlerinde ağaçlandırmadan kaçınılmalı, doğu ve batı yönlerinde ise (konumlandırmalar yer değiştirebilir) çalılar, duvarlara yerleştirilmiş sarmaşıklar ve yaprak döken ağaçlar tercih edilmelidir.

Peyzaj tasarımı yapılırken zemin için, iklim bölgelerine uygun malzeme tercih edilmesine dikkat edilmelidir. Çizelge 1.2’de iklim bölgelerine göre uygun dış zemin malzemeleri verilmiştir.

Çizelge 1.2. İklim bölgelerine göre dış zemin malzeme seçimi (Yasan, 2011)

Soğuk İklim Bölgesi	Isı soğurma-depolama kapasitesi yüksek koyu renk malzemeler
Ilımlı-Kuru İklim Bölgesi	Asfalt, çim, toprak, su ögesi
Ilımlı-Nemli İklim Bölgesi	Asfalt, çim, toprak, beton, taş
Sıcak-Nemli İklim Bölgesi	Açık renk asfalt, çim, çakıl
Sıcak-Kuru İklim Bölgesi	Çim, çakıl, stabilite yol, su ögesi

1.1.2.4. Yakın çevredeki yapılaşma

Yapılaşma yoğunluğu enerji etkin tasarım açısından önemli bir etmendir. Yapılaşmanın yoğun olduğu alanlarda hava hareket hızı daha düşük, hava sıcaklığı daha yüksek ve nem oranı daha düşüktür. Yapılar birbirleri için engel oluşturarak rüzgâr etkisine ihtiyaç duyulan bölgelerde rüzgâr etkisini azaltabilir, ısınma ihtiyacı fazla olan bölgelerde güneş ışınlam kazancını düşürebilir ya da yapı toplulukları ısı adası etkisi yapabilir. Bu durumların oluşumunda, bina tasarım parametrelerinde alınan yanlış uygulama kararlarıyla birlikte yerel ihtiyaçlara cevap veremeyen imar planlarının uygulanmasının da büyük etkisi olmaktadır. İmar planları oluşturulurken yerel iklimsel bileşenlerin yapı adaları üzerinde oluşturacağı etkiler ön görülebilmeli, yapılaşma düzeni ve yoğunluk hesabı yapının iklimlendirme gereksinimlerine cevap verecek şekilde yapılmalıdır. Enerji etkinliğinin sağlanması adına tasarım aşamasında çevredeki yapılaşma düzeni göz önünde bulundurularak tasarım kararları alınmalıdır.

1.1.3. Binaya ilişkin parametreler

Enerji etkin bina tasarım sürecinde kullanıcıya ilişkin ve dış çevreye ilişkin parametrelerin yanında binaya ilişkin parametreler de büyük öneme sahiptir. Bu parametreler; binanın yeri, bina formu, bina yönelimi, bina aralıkları ve yükseklikleri, mekân organizasyonu-zonlama, pencere büyüklük ve yönelişi, bina kabuğu optik ve termofiziksel özellikleri, yalıtım, güneş kontrolü ve doğal vantilasyon düzenidir. Bina tasarım sürecinde, bu parametrelere yönelik alınan enerji etkin kararlar ile enerji tüketiminin azaltılabilmesi mümkündür.

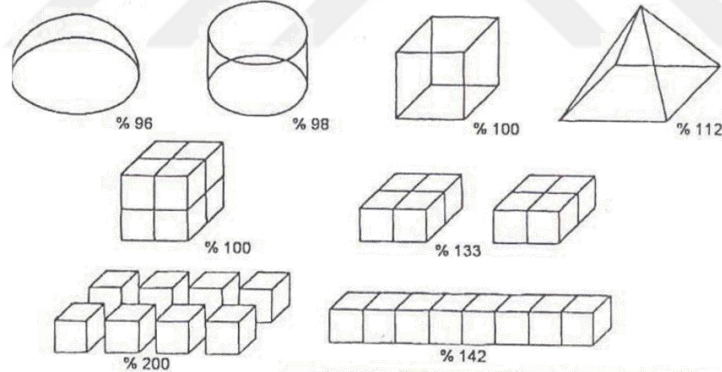
1.1.3.1. Binanın yeri

Yer, iklim ve hava kirliliği kontrolünde etkili olan bir tasarım parametresidir. Bu parametre, yerey parçasının eğimi, baktığı yön, yamaçtaki konumu ve örtüsü(veya güneş ışınlamı yansıtma özelliği) gibi bir grup alt parametreler bütünüdür. Bu parametrelere ilişkin en uygun değerler, yörede geçerli olan iklimsel koşullar ve insan ihtiyaçlarına bağlı olarak belirlenirler ve yerleşmeler için en uygun olan bölgeleri tanımlarlar (Demirel, 2013). Yapılar; yer seçimi açısından, nem oranı yüksek arazilerde tepe ve yamaç bölgelerine konumlandırılarak rüzgârdan fayda sağlanabilirken, nem oranı düşük arazilerde hava hareketlerinin pasif olduğu vadi tabanı ve tabana yakın yamacın alt bölgeleri tercih edilmelidir. Güneşten maksimum fayda sağlanmak istenen bölgelerde

güney yamaçlara, güneş korunumu istenen bölgelerde ise tepelere ve vadi tabanlarına yerleşmek uygundur. Yapılar için iklimsel koşullara uyum sağlayabilecek şekilde belirlenen yer seçimi ile birlikte ısıtma, soğutma enerji ihtiyaçlarının minimum düzeyde olması sağlanabilmektedir.

1.1.3.2. Bina formu

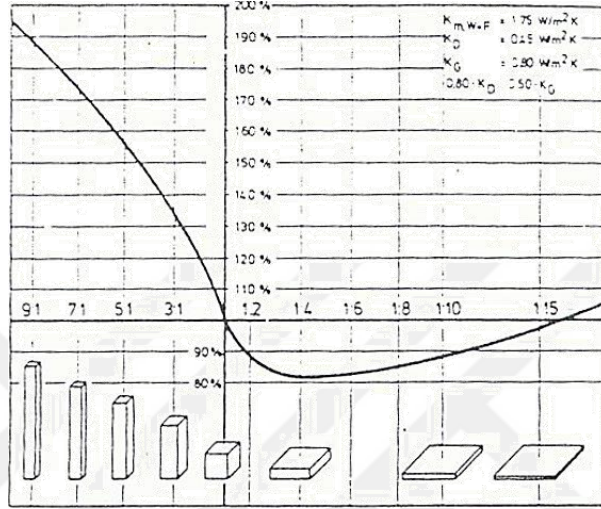
Bina formu, ısı kaybı ve kazancını etkileyen önemli bir etkidir. Plandaki bina uzunluğunun bina derinliğine oranı, bina yüksekliği, çatı türü, eğimi, cephe eğimi ve çıkıntıları gibi binayı oluşturan geometrik değişkenler ile tanımlanmaktadır. Binaların ısı kaybı-kazancı, mekânı oluşturan yüzeylerin hacime olan oranlarına bağlı olarak artar ya da azalır. Aynı hacime sahip farklı geometrik formların yüzey alanlarının düşükten yükseğe doğru sıralanışı; küre, silindir, küp ve dikdörtgen prizmasıdır. Şekil 1.3'te farklı geometrik formlarla aynı büyüklükteki hacimler oluşturulmuş olup küpün yüzey alanı %100 kabul edilerek diğer geometrik formların yüzey alanları ile kıyaslanmıştır. En düşük dış yüzey alanı(%96) yarı kürenindir. Küpün 8 küpe bölünerek oluşturulduğu hacimde ise yüzey alanı iki katına çıkmıştır (%200) (Soysal, 2008).



Şekil 1.3. Bina formu yüzey ilişkisi (Soysal, 2008)

Tasarımda plan şemasındaki fazla hareketli dış konturlar bina yüzeyinin gereksiz büyümesine neden olmakta olup soğuk iklim tipleri için ısıtma enerjisini yükseltmektedir. Kuzey-güney aksında yönlenecek tüm formlar kış ve yaz dönemlerinde geniş doğu ve batı cephesi vermeleri sebebiyle uygulanılmamalıdır. Neredeyse tüm iklim bölgeleri ve enlemlerde doğu-batı yönünde konumlandırılan binalar geniş güney cephesinde kontrollü güneş kazancı sağlarken, kuzey cephelerde ısı kaybının minimize edilmesi koşulu ile en uygun çözümü sunarlar. Form uzunluğunun en uygun hali iklim türüne bağlıdır. Soğuk veya sıcak-kuru iklim tiplerinde kompakt formlar nispeten daha


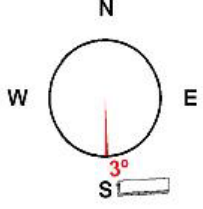
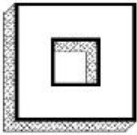
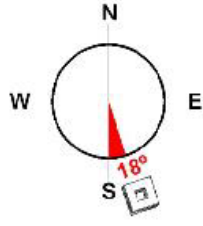

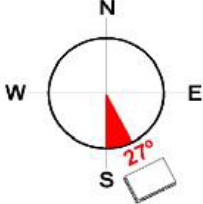
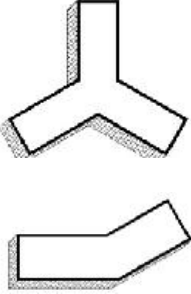
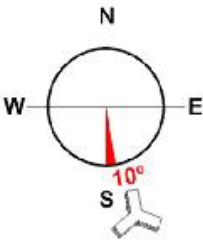
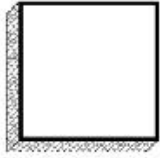
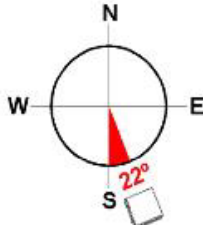
az dış yüzeye sahip olduğu için, ısı kayıp ve kazançlarının kontrolünde önemli faydalar sağlamaktadır. En uygun bina formunun tespit edilmesine yönelik çeşitli teorik ve deneysel çalışmalar sonucunda birçok diyagram oluşturulmuştur. Kare taban alanı ve aynı hacim miktarının çeşitki kütle oranlarına sahip binanın göreceli ısı kayıplarını gösteren eğri Şekil 1.4.'ten incelendiğinde(küp %100 alınmıştır) binaların boyları yükseldikçe ısı kayıplarının arttığı gözlemlenmektedir. En uygun çözümde yükseklik ve derinlik oranı 1/4' tür (Soysal, 2008).



Şekil 1.4. Bina formu/ısı kaybı ilişkisi (Soysal, 2008)

Enerji etkin tasarım ekseninde, farklı iklim bölgelerine göre bina formları ve yönlendiriliş durumları için alınması gereken uygun tasarım kararları Çizelge 1.3'te belirtilmiştir.

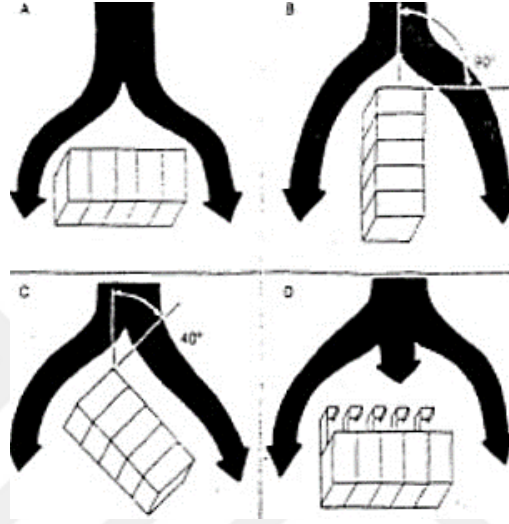
Çizelge 1.3. Farklı iklim bölgelerine göre bina formları ve yönlendiriliş durumları (Özaydoğdu, 2015)

İKLİM BÖLGESİ	BİNA FORMU	BİNA YÖNLENDİRİLİŞİ (optimum yön)
Sıcak-nemli (Pilot şehir: Antalya)	Rüzgâra açık yüzeyli, uzun dikdörtgene yakın 	
Sıcak-kuru (Pilot şehir: Diyarbakır)	Avlulu, kare tabanlı, avlulu mekâna açık yüzeyli 	
İlımlı-kuru (Pilot şehir: Ankara)	Isıtmannın istendiği dönemde rüzgâra kapalı, kareye yakın kompakt 	
İlımlı-nemli (Pilot şehir: İstanbul)	Isıtmannın istenmediği dönemdeki rüzgâra geniş yüzeyli, dikdörtgen ya da serbest planlı 	
Soğuk (Pilot şehir: Erzurum)	Rüzgâra az yüzey veren, dış yüzeyi minimize eden, kompakt, kare vb. tabanlı 	

1.1.3.3. Bina yönelimi

Güneş ışınım şiddeti, bölgesel rüzgârların hızı, kalite ve sürekliliği gibi özellikler yönlelere göre değişiklik gösterir. Mevsimlere göre yeryüzünün değişik noktalarında, değişik

yönlerde, saatlerde ve şiddette güneş ışınımı alması, binanın yönlenmesine göre değişik aydınlatma olanağı ve ısı kazancı sağlanmasına neden olur. Bu yüzden en uygun yönlenmenin güney ile yaptığı açı, hâkim rüzgâr yönleri binanın konumu doğrultusundan hesaplanarak belirlenmelidir. Şekil 1.5'te gözüken, hâkim rüzgâr yönüne göre konumlandırılmış binalarda, enerji korunumu açısından; B-A'ya göre %50 daha fazla, C-A'ya göre %60 daha fazla, D-A ya göre %25 daha az ısı kaybı oluşturur (Soysal, 2008).



Şekil 1.5. Hâkim rüzgâr yönüne göre bina konumlandırışı (Yasan, 2011)

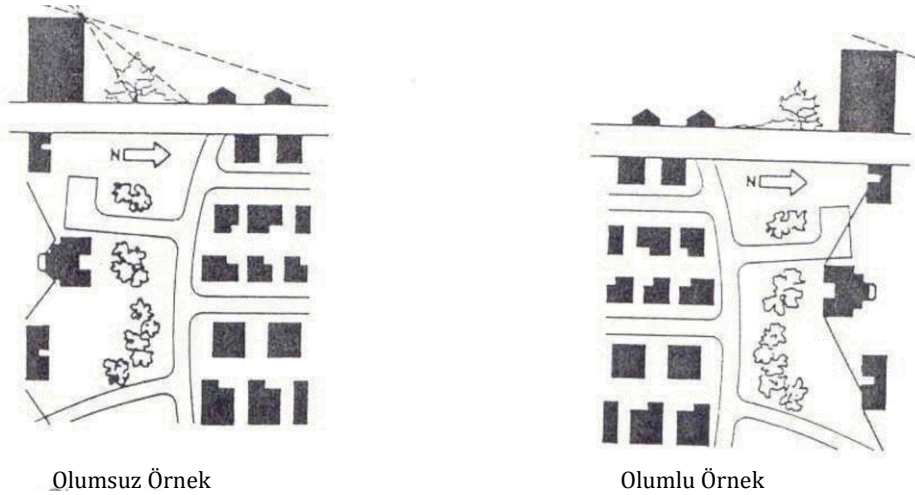
Güneş ışınımı ve rüzgâr etkilerinden, binanın doğru yönlendirilmesiyle en uygun şekilde yararlanılabilir. En uygun konfor şartlarının oluşabilmesi adına, bina ana cephelerinin güneye yönlenmesi gerekmektedir. Güneydoğu ve güneybatıya bakan bina cepheleri güneş ışınımını daha düzenli almasına rağmen, güneş hareketinin daha alçak bir yörüngede olması sebebiyle güneş kontrolü zordur. Yaz döneminde güney cepheden daha sıcak, kış döneminde ise daha soğuk olurlar. Isıtma dönemi daha uzun olan iklim tiplerinde, kuzey duvarı sağır tutularak, güney cephe pencereleri ile kuzeyde olan bölgeler için ise güney yönüne bakan çatı pencereleri ile güneş ışınım miktarı arttırılabilir. Doğu ve batıdan alınan güneş ışığının, kontrolünün zor olması sebebiyle binanın ana yaşam alanlarının ve camlı hacimlerin bu yöne alınmasından kaçınılmalıdır. Mecburi sebepler ile bu yönlere alınan camlı hacimlerde güneş kontrolü uyulanmalıdır. Bir yapının yönlendirilmesinde güneş ışınımı, rüzgâr ve topografik özelliklerine ilişkin iklim bölgelerine göre optimum ve iyi sayılabilecek yönler Çizelge 1.4'te verilmiştir.

Çizelge 1.4. İklim bölgelerine göre yöneliş (Karaaslan, 2011)

PİLOT BÖLGE ADI	İKLİM BÖLGESİ	OPTİMUM YÖN	İYİ YÖNLER	
			W	E
ERZURUM	SOĞUK	22°	20°	45°
ANKARA	ILIMLI-KURU	27°	10°	56°
İSTANBUL	ILIMLI-NEMLİ	10°	13°	35°
DİYARBAKIR	SICAK-KURU	18°	-	40°
ANTALYA	SICAK-NEMLİ	3°	10°	19°

1.1.3.4. Bina aralıkları ve yükseklikleri

Yapılar, aralarındaki mesafeler, yükseklik ve birbirlerine göre konumları doğrultusunda, birbirleri için güneş ışınımı ve rüzgâr açısından engel oluşturabilirler. Bu durum, uygun tasarım kararları ve bina aralık ve yüksekliklerinin birbirleri için güneş ve rüzgâr yararlanımı ya da korunumu açısından engel teşkil etmeyecek sınır değerlerinin bilinmesi ile önlenabilir. İmar planları oluşturulurken, yapıların güneş ışınımı ve rüzgardan optimum düzeyde faydalanmaları sağlanmalı ve bunun için bina yükseklik ve aralıkları güneş ışığını kesmeyecek, rüzgarın optimum yönlenmesini engellemeyecek şekilde belirlenmelidir (Şekil 1.6).



Şekil 1.6. İmar planı ve güneş enerjisi kullanımı (Soysal, 2008)

Bina aralıklarına ait uygun değerlerin tespit edilmesi, gölgeli alan derinliklerinin sınır değerlerine göre yapılmalıdır. Arazi maliyetlerinin yüksekliği ve arazinin rasyonel kullanılabilmesi amacıyla güneş ışınımı etkilerinden yararlanmak açısından uygun bina aralıkları için optimum değerlerin tespit edilmesinde kullanılan yöntem aşağıdaki adımları kapsamaktadır (Yasan, 2011):

- Isıtmanın istendiği dönemin karakteristik gününün tespit edilmesi; ısıtmanın istendiği dönem için karakteristik gün 21 Ocak'tır.
- Profil açılarının tespit edilmesi; profil açısı, güneş-bina ilişkisi kuran bir değişkendir ve binanın ele alınan cephesine dik olarak geçirilen kesit düzlemi üzerindeki izdüşümü ile yatay düzlem arasındaki açıdır. Ele alınan konumun enlemine ve binaların yönlendiriliş durumlarına veya bina cephelerinin baktıkları yönler bağli olarak ele alınan karakteristik güne ait saatlerde geçerli olan profil açıları, her bir yöne bakan cephe için tespit edilmelidir.
- Binanın önündeki zeminde oluşacak gölgeli alan derinliğinin tespit edilmesi; bir binanın çevresindeki zeminde oluşturacağı gölgeli alan derinlikleri, arsanın yatay veya eğimli olmasına bağli olarak hesaplanabilir.

1.1.3.5. Mekân organizasyonu-zonlama

Mekân organizasyonlarının doğru planlanması, bina yaşam döngüsü içinde enerji kullanımını doğrudan etkilemektedir. Bina içerisindeki fonksiyonların uygun yönlendirilme durumları Çizelge 1.5'te belirtilmiştir.

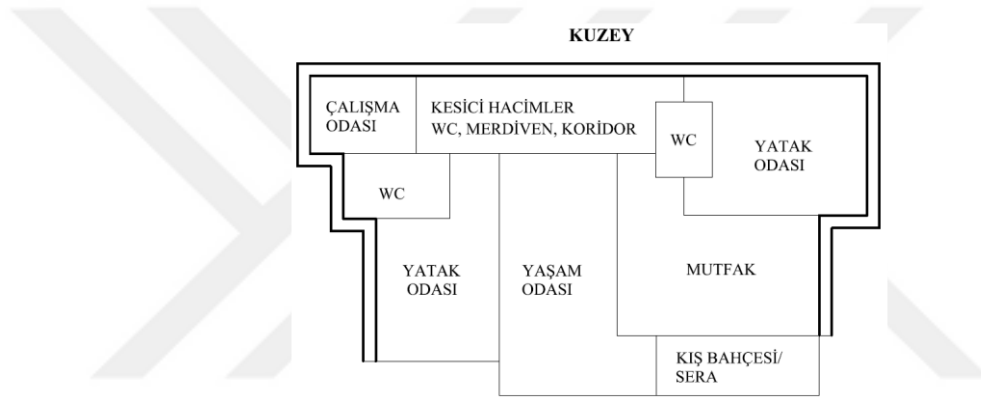
Çizelge 1.5. Konut içerisindeki fonksiyonların uygun yönlendirilme şeması (Yasan, 2011)

	K	KD	D	GD	G	GB	B	KB
Yatak odası	●	●	●	●	●	●		
Yemek odası				●	●	●	●	
Mutfak			●	●	●	●	●	
Kütüphane			●	●	●	●		
Çamaşır odası	●	●						
Banyo	●	●						●
Garaj	●	●	●	●	●	●	●	●
Teras	●	●	●	●	●	●	●	●
Güneş sundurma			●	●	●	●	●	●
Yatak odası				●	●	●	●	

Temel olarak bina içerisinde kullanıcı konforu sağlanması açısından;

- Isıtma ihtiyacının diğerlerine göre daha çok olduğu mekânlar binanın güney, güney batı ve güney doğu yönlerine yönlendirilmelidir.
- Garaj, sirkülasyon, banyo, wc, hol, çamaşır odası gibi daha az ısıtma gereksinimine sahip mekânlar ise kuzey yönünde konumlandırılarak enerji etkin kullanım sağlanmış olur.
- En büyük pencere açıklıklarına sahip olan güney cephesine misafir odası, yaşama alanları, yatak odaları, mutfak, sera gibi mekânlar konumlandırılmalıdır.

- Güneşin doğu-batı hareketi doğrultusunda bulunan batı ve doğu cephesinde, özellikle batı güneşinden korunmak amacıyla güneş kırıcı öğeler tasarlanırken, orta büyüklükte pencereler tercih edilmelidir. Bu cephelerde çalışma alanı, yatak odası, mutfak gibi mekânlar konumlandırılabilir.
- En az ışık alan, binanın gölgede kalan cephesi olan kuzey cephesinde ise sirkülasyon alanları ve ıslak hacimler çözümlenmektedir.
- Bina içi mekân organizasyonu yapılırken yerleşimsel bir karar olarak odaların karşılıklı yerleştirilmeleri ile etkin bir doğal havalandırma sağlanarak, kullanıcı konforunun ve enerji kullanımının azaltılması sağlanabilir (Yasan, 2011) (Aşıkoglu, 2014). Şekil 1.7'de yapıdaki mekânların organizasyon şemasına dair bir örnek gösterilmektedir.



Şekil 1.7. Yapıdaki mekânların organizasyon şemasına bir örnek (Aşıkoglu, 2014)

Enerji bilinçli tasarımda ortak özellik ve konfor şartları gösteren mekânların bir arada toplanması, soğuk ısı bölgelerin tampon bölge olarak kullanılması ve hava hareketlerine dikkat edilmesi ısıtma, soğutma ve aydınlatma için harcanan enerji miktarından tasarruf elde edilmesine yardımcı olur. Tampon bölge oluşturulmasına yönelik bilgiler aşağıda belirtilmektedir (Soysal, 2008);

- Tampon bölgeden kasıt, sıcaklığı belirli bir seviyede olmayan, yaşama mekânlarının sıcaklığı ile dış hava sıcaklığı arasında değişiklik gösteren mekânlardır. Bu mekânlar komşu mekânlar ile ısınmakla birlikte bu ısınmanın miktarı; mekânı çevreleyen duvar ve döşemelerin genişliğiyle, mekânın konumuna bağlıdır.
- İç duvarların yüksek ısı transferi ve kapıların neden olduğu ısı akışı sebebiyle ısıtılan ve ısıtılmayan mekânlar arasındaki sıcaklık farkı düşüktür. Tampon bölge ile ısıtılan mekân arasındaki duvarın ısı iletkenliğinin yüksek olduğu durumlarda sıcaklığı daha düşük olan tampon bölgeye ısıtılan mekândan ısı transferi

olacaktır. Bu yüzden tampon bölge ile ısıtılan mekân arasında ayırıcı olan yapı elemanlarının iyi yalıtılmış olması gerekmektedir.

- Tampon bölgelerin ısı yalıtımı yerine uygulanması görüşü gerçekçi değildir.
- Güney cephede şeffaf yapı malzemeleri ile oluşturulan tampon bölgeler güneş enerjisi için kolektör görevi görürler ancak bu mekânların yaz döneminde aşırı ısınmaya karşı önlemlerin alınması gereklidir.
- Isıtılmayan hacimlerin, servis ve sirkülasyon alanlarının tampon bölge olarak kullanılmasıyla ısıtma ihtiyacının yüksek olduğu mekânlar korunmuş olur. Bu tampon bölgeler kış döneminde iç mekânların soğuma süresini uzattığı, yaz döneminde ise iç mekânları gölgeleyerek yüksek sıcaklıkları engellediği için önemlidir.
- Binalarda banyolar, tuvalet, çamaşırhane gibi daha az ısı gerektiren mekânların dışa yakın yerleştirilmesi ısı ihtiyacı fazla olan yaşama mekânlarının daha korunaklı alanlara konumlandırılması sağlanabilir.
- Bir binada birden fazla tampon bölge tasarlanacaksa bu mekânların birbirine yakın (alt alta veya yan yana olması) uygundur. Merdiven holleri, garajlar, kilerler ve sandık odaları gibi ısıtılmayan mekânlarla bina çevresinde kullanılan bitkiler rüzgâr sebebiyle oluşacak ısı kayıplarını düşürerek tampon bölge oluştururlar.
- Bina girişlerindeki rüzgârlıkların özellikle şiddetli rüzgâra maruz kalan yerlerde uygulanması önemlidir.
- Termal tampon zon olarak bodrum katlar gösterilebilir. Toprağın kış döneminde bile iki metre derinliğe kadar +4°C ila +10°C arası sıcaklıkta olması, toprak içindeki bina bölümlerinin dış hava sıcaklığından fazla etkilenmemesini sağlar. Toprakla bodrum kat arasına ısı yalıtımı yapılması bu etkiyi artırır. Bu mekânlarda kontrollü havalandırma yapılırsa yaz döneminde yaşama mekânı olarak kullanılma imkânı bulunmaktadır. Bodrum katların ısıtılıp ısıtılmaması kullanıma bağlıdır.

1.1.3.6. Bina kabuğu optik ve termofiziksel özellikleri

Bina kabuğu, binayı dış iklim şartlarından muhafaza ederek iç ve dış ortamı birbirinden ayıran saydam ve opak bileşenlerden oluşur. Bir binanın çevresiyle yaptığı ısı alışverişinin hemen hemen tamamı bina kabuğu aracılığı ile gerçekleşmektedir. Bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri, birim alandan dış hava sıcaklığı ve güneş ışınımı etkileri ile kazanılan ve kaybedilen ısı miktarını belirlemektedir. Kabuğun saydam ve opak yüzeylerinden geçen ısı miktarı, iç hava sıcaklığını ve iklimsel konforu,

dolayısıyla da ısıtma ve iklimlendirme için harcanacak enerji miktarını etkilemektedir.

Bina kabuğunun optik özellikleri (Gazioğlu, 2012);

- Güneş ışınımına karşı yutuculuk,
- Yansıtıcılık,
- Geçirgenlik katsayılarıdır.

Yutuculuk, yansıtıcılık ve geçirgenlik katsayıları, kabuğun opak ve saydam bileşenleri tarafından yutulan, geçirilen ve yansıtılan güneş ışınımı miktarlarının, opak ve saydam bileşenlerin dış yüzeylerine gelen güneş ışınımına oranıdır. Binanın dış yüzeyindeki güneş ışınımı, bileşenin yutuculuk, yansıtıcılık ve geçirgenlik özelliklerine bağlı olarak güneş ısı kazancına dönüşür. Saydam bileşenler aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir (Gazioğlu, 2012);

$$a_c + r_c + \tau_c = 1 \quad (1.3)$$

Burada, a_c saydam bileşenin yutuculuk katsayısını, r_c saydam bileşenin yansıtıcılık katsayısını, τ_c saydam bileşenin geçirgenlik katsayısını temsil etmektedir. Opak bileşenler de aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir (Gazioğlu, 2012);

$$a_o + r_o = 1 \quad (1.4)$$

Burada, a_o opak bileşenin yutuculuk katsayısını, r_o opak bileşenin yansıtıcılık katsayısını temsil etmektedir. Yüzey rengi, bina kabuğunun yutuculuk ve yansıtıcılık özelliklerini etkilediğinden, kabukta gerçekleşecek ısı alışverişinde değişime sebep olmaktadır (Gazioğlu, 2012).

Bina kabuğunun termofiziksel özellikleri ise (Gazioğlu, 2012);

- Toplam ısı geçirme katsayısı,
- Saydamlık oranı,
- Zaman geciktirmesi,
- Genlik küçültme faktörü olarak sıralanabilir.

Toplam ısı geçirme katsayısı(U), bina kabuğunun iç ve dış tarafında etkili olan hava sıcaklıkları arasındaki fark $1^\circ K$ iken, 1 m^2 alandan, bu alana dik doğrultuda 1 saatte geçen toplam ısı miktarıdır, aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir (Gazioğlu, 2012):

$$U_o = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_d}} \quad (1.5)$$

Burada, U_o opak bileşenin toplam ısı geçirme katsayısını (W/m^2K), α_i ve α_d iç ve dış yüzeysel ısı iletkenlik katsayılarını (W/m^2K), d_1, d_2, \dots, d_n opak bileşeni oluşturan malzemelerin kalınlıklarını (m), $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ opak bileşeni oluşturan malzemelerin ısı iletkenlik katsayılarını (W/m^2K) temsil etmektedir (Gazioğlu, 2012).

Saydamlık oranı (SO), saydam ve opak bileşenlerden oluşmuş bir bina kabuğunda, saydam bileşen alanının toplam bina kabuğu alanına oranıdır. Bina kabuğundaki saydam bileşen alanları, ısı iletim değerlerinin fazla olması sebebiyle opak bileşen alanlarına kıyasla daha fazla ısı kaybına neden olurlar (Gazioğlu, 2012).

Zaman geciktirmesi, gün içinde kabuk bileşeni etkileyen maksimum sol-air sıcaklığın etkisinin, bileşenin iç yüzünde maksimum yüzey sıcaklığını oluşturuncaya kadar geçen süre olarak tanımlanabilir. Malzeme ne kadar kalın ve dirençli olursa, ısı dalgalarının geçişi de o kadar uzun sürmektedir (Gazioğlu, 2012).

Genlik küçültme faktörü ise, gün içinde, ele alınan bileşene ilişkin maksimum iç yüzey sıcaklığı ile ortalama iç yüzey sıcaklığı farkının, maksimum sol-air sıcaklık ile ortalama sol-air sıcaklık farkına oranı şeklinde tanımlanmaktadır (Gazioğlu, 2012).

Zaman geciktirmesi ve genlik küçültme faktörü, kabuğun opak bileşenini oluşturan malzemelerin ısı depolama kapasitelerine bağlı olan ve opak bileşenin yalıtım kapasitesini belirleyen iki özelliştir. Kabuğu oluşturan malzemelerin, ısı iletkenlik katsayıları, yoğunlukları, özgül ısıları ve dolayısıyla ısı kapasitelerinin fonksiyonudurlar. Bina kabuğu, termofiziksel özellikleri nedeniyle, iç ve dış ortam arasındaki ısı alışverişini ve dolayısıyla da iç hava sıcaklığını etkilediği için, iklimsel konfor açısından kritik bir konumdadır (Gazioğlu, 2012).

Isıtmaya ihtiyaç duyulan dönemlerde, bina kabuğunun ısı kazancını ışınlım yoluyla artırmak ve ısı kaybını da yalıtım yoluyla azaltmak gereklidir. Bunu sağlamak için güney cephesinde direkt güneş ışınlım alan yüzeylerin saydamlık oranı artırılmalı ve bina opak yüzeylerinin ısı geçirme katsayısı (U) azaltılmalıdır. Isı geçirme katsayısının (U), iç ve dış yüzeylerin ısı taşınım direnci ($R_{iç}, R_{dış}$) ve toplam ısı direnci (R) bağlı denklemi aşağıdaki gibidir (Işın, 2016):

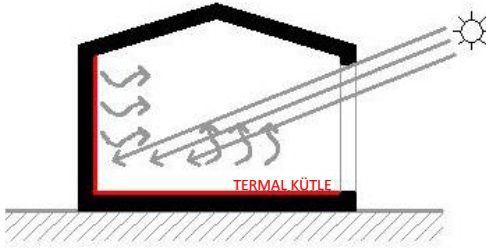
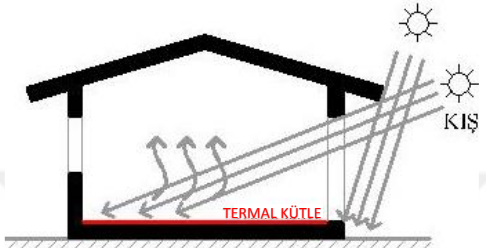
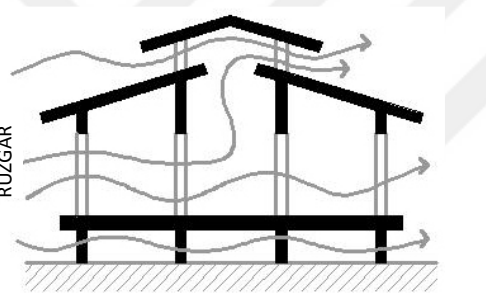
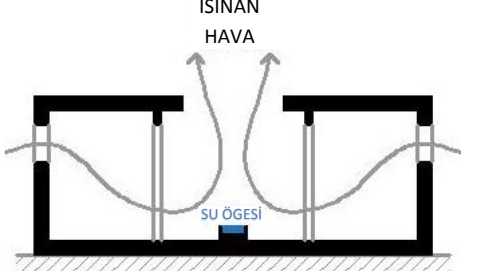
$$\frac{1}{U} = \frac{1}{R_{iç}} + \sum_{i=1}^n R_i + \frac{1}{R_{dış}} \quad (1.6)$$

Isıl direnç(R), kalınlık ve ısı iletim katsayısı(λ) aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (1.7)$$

Bina kabuğunun toplam ısı geçirme katsayısının azaltılmasında kabukta kullanılan malzemelerin kalınlığının artırılması veya daha düşük ısı iletkenlik değerine sahip malzemeler kullanılması önemlidir (Işın, 2016). Bina kabuğunun termofiziksel özellikleri bölgenin iklimsel özelliklerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. İklim tipine göre uygun bina kabuk özellikleri Çizelge 1.6'da verilmektedir.

Çizelge 1.6. İklim tipine göre uygun bina kabuk özellikleri (Işın, 2016)

SOĞUK İKLİM BÖLGESİ		<p>Duvarlar: Isı depolama kapasitesi yüksek, iyi izole edilmiş masif duvarlar</p> <p>Pencereler: İyi izole edilmiş, gerektiğinden çok katlı camlı açıklıklar</p> <p>Çatılar: İyi izole edilmiş, eğimli çatı</p>
İLİMLİ İKLİM BÖLGELERİ		<p>Duvarlar: İç mekânda konfor koşullarını sağlayacak yalıtım değerine sahip duvarlar</p> <p>Pencereler: Gerekli ısı kontrolünü sağlayacak büyüklükte açıklıklar</p> <p>Çatılar: Uygun izole edilmiş eğimli çatı</p>
SICAK-NEMLİ İKLİM BÖLGESİ		<p>Duvarlar: Isı depolama kapasitesi düşük, açık renkli, güneş ışınımı yansıtıcılığı yüksek duvarlar, hafif konstrüksiyon</p> <p>Pencereler: İç ve dış mekân arasında hava hareketlerine izin veren direkt güneş ışınımından korunma amacı ile gölgelendirilen, geniş açıklıklar</p> <p>Çatılar: Hava hareketine izin veren yükseltilmiş eğimli çatı</p>
SICAK-KURU İKLİM BÖLGESİ		<p>Duvarlar: Günlük dış hava sıcaklıkları değişiminin büyük olması nedeni ile termal kütle etkisi sağlayan masif duvarlar</p> <p>Pencereler: Avlu yönünde büyük, dış cephede küçük açıklıklar</p> <p>Çatılar: Güneş ışınımının ısısal etkisini azaltan düz çatılar</p>

Soğuk iklim bölgelerinde ısıtma dönemi soğutma döneminden daha uzun olduğu için, enerji etkinliği açısından bina kabuğunun termofiziksel özellikleri, ısıtma döneminin ihtiyaçlarına göre belirlenmelidir. Sıcak iklim bölgelerinde ise bu durumun tersi söz konusudur. Ilımlı iklim bölgelerinde ısıtma, soğutma dönemleri birbirine yakın sürdüğü için kabuğun her iki mevsim gereklerini karşılaması gerekmektedir.

Isı köprüleri ve hava sızdırmazlık; bina kabuğunda, ısı ve nem korunumu açısından zayıf kesimler, ısı ya da nem köprüleri olarak tanımlanmaktadır. Isı ve nem köprüleri, hem ısı kaybı, hem de erken bina hasarlarına neden olurlar. Bina bileşeninin kesitinde, katmanlardan kaynaklanabildiği gibi, farklı bina bileşenlerinin bir araya geldiği bağlantı yerlerinde de ortaya çıkabilirler. En çok soruna yol açan ısı köprüsü çeşitleri arasında; yapısal döşeme-duvar birleşimleri, döşemenin çıkma şeklinde uzanarak balkon oluşturması vb. bulunmaktadır. Bina kabuğunda ısı yalıtımının sağlanmasıyla ısı ve nem köprülerini engelleyecek biçimde yalıtım sürekliliğinin sağlanması önemlidir. Isı yalıtım katmanlarının ek yerlerinin binili yapılması, binili yapılması olanaksız ise ısı yalıtım katmanı sayısını artırarak ek yerlerinin şaşırtmalı yerleştirilmesi gerekir. Binalarda ısı kayıplarına %20-%50 arası bir oranla hava sızıntıları sebep olmaktadır. Hava sızıntıları bina kabuğunda, iç-dış ortam arasında rüzgârdan ya da iç-dış ortam arasında sıcaklık farkından kaynaklı basınç farkına dayalı olabilmektedir. Bina kabuğunun hava sızdırmazlığının sağlanması, enerji tüketiminin düşürülmesi, yoğunlaşma kaynaklı bina hasarlarının önlenmesi ve iç ortam hava kalitesinin sürekliliği açısından önemlidir. Binada hava sızıntısının meydana geldiği noktalar (Ulukavak Harputlugil, 2016):

- Malzemelerin içindeki kılcal boşluklar,
- Pencere-kapı duvar birleşim noktaları,
- Başka malzemelerle birleşim noktaları,
- Mekanik ve elektrik tesisatı gereçleriyle birleşim noktalarıdır (Ulukavak Harputlugil, 2016).

Yalıtım malzemeleri içte dışta, dıştan içe veya sandviç yalıtımla iki tabaka arasında bulunabilirler. Binaların dıştan yalıtılması, meydana gelebilecek ısı köprülerini kesmesi ve kabuğun diğer katmanlarının ısı depolama özelliklerinden faydalanması açısından olumludur. Dışarıdan ısı yalıtımı yapılmış, içeride yüksek ısı kütlesi içeren bina kabukları güneş enerjisinden yararlanan pasif sistem tasarımlarında daha iyi sonuçlar verir. Enerji korunumlu bina kabuğu oluşturma uygulamalarında bir diğer yöntem “saydam yalıtım malzemeleri”dir. Saydam yalıtım malzemelerine dair bilgiler aşağıda maddeler halinde belirtilmektedir;

- İletim(kondüksiyon), taşınım(konveksiyon) ve ışıyım(radyasyon) yolu ile oluşan ısı kayıplarını azaltırken, ısı kazancı da sağlayan saydam ya da yarı saydam malzemeler olarak tanımlanmaktadır.
- Saydam yalıtım malzemesi kullanımında temel prensip; meydana gelen ısı kayıplarının güneş ışıyım yolu ile giderilmesidir.

- Saydam yalıtım malzemelerinin iki temel özelliği vardır. Bunlar; ısı korunumunda ve güneş ışınımı geçirgenliğinde etkili olmalarıdır.
- Saydam yalıtım malzemeleri kısa dalga kızıl ötesi ışınımı geçirmekte, uzun dalga kızıl ötesi ışınımına karşı ise opak davranmaktadır. Yapılan çalışmalar saydam yalıtım malzemelerinin yüksek sıcaklık veya depolama sistemleri için yüksek potansiyele sahip olduğunu göstermektedir (Soysal, 2008).

Bina kabuğunu oluşturan yapı bileşenleri;

Duvarlar; binayı çevreleyen, iç ve dış ortam arasındaki bağlantıyı sağlayan önemli bina bileşenlerindedir. Dış duvar ısı geçirme katsayılarının, iç ortamda gereksinim duyulan iç yüzey sıcaklığını ve ısı kazanımını gereksinim duyulduğu düzeyde sağlayacak optimum değerleri seçilmelidir. Opak bileşen ve dış duvar rengi, yerel iklimsel koşullar ışığında güneş ışınımından fayda sağlama veya korunma biçiminde belirlenmelidir.

Döşemeler; ısı kaybı, döşemenin malzemesine, ölçüsüne ve zeminin özelliklerine göre farklılık gösterir. Ara kat döşemelerindeki ısı kaybı ise döşemenin ölçüsüne ve malzemesine bağlıdır. Isı kaybına genellikle çatlak ve köşe noktaları sebep olmakta, döşemenin yalıtılması ısı kaybını önleyebilmektedir.

Pencereler; cam katmanı sayısı, konumu, doğrama cinsi iklimsel koşullara uygun ve direkt güneş ışınımı kazancından fayda sağlayacak veya korunacak biçimde seçilmelidir. Toplam ısı geçirme katsayısı da kabuğun istenen uygun değeri sağlayacak biçimde belirlenmelidir. Çizelge 1.7'de farklı iklim tiplerine uygun pencere açıklıkları önerileri belirtilmektedir.

Çizelge 1.7. Farklı iklim bölgelerine uygun pencere açıklıkları (Özdemir, 2005)

UYGUN PENCERELER	
Soğuk İklim Bölgesi	Isı korunumlu küçük açıklıklar
Ilımlı-Kuru İklim Bölgesi	Isı kontrolü sağlanacak büyüklükte açıklıklar
Ilımlı-Nemli İklim Bölgesi	Isı kontrolü ve vantilasyon sağlanacak büyüklükte açıklıklar
Sıcak-Nemli İklim Bölgesi	Güneş kontrolü sağlanan geniş açıklıklar
Sıcak-Kuru İklim Bölgesi	Dış duvarlarda küçük açıklıklar, avlu yönünde gölgelendirilmiş büyük açıklıklar

İstenmeyen hava geçişini önlemek amacıyla; kasa, kanat ve cam malzemelerin seçimi ve detaylandırılması ısı kayıp ve kazançları açısından değerlendirilerek yapılmalıdır. Camlarda yalıtım enerji tüketimi açısından önemli bir konu olduğu için yalıtım açısından cam plakaları arasında hava boşluğu oluşturulmuş iki ya da üç cam tabakasından oluşmuş sistemlerin kullanılması uygundur. Cam plakasının rengine, yansıtıcılığına, ara boşluktaki gazın niteliğine göre cam panelinin ısı geçirgenlik katsayısı(U) değeri değişecektir. Farklı camların ısı geçirme katsayıları Çizelge 1.8'de belirtilmiştir (Koca, 2006).

Çizelge 1.8. Farklı camların ısı geçirgenlik katsayıları (Koca, 2006)

6 mm	Standart düz cam	5,70 W/m ² K
6+9+6 mm	Standart ısıcam	3,00 W/m ² K
6+12+6 mm	Standart ısıcam	2,80 W/m ² K
6+9+6 mm	Kaplamalı cam	2,10 W/m ² K
6+12+6 mm	Kaplamalı ısıcam	1,80 W/m ² K

Enerji etkin bina tasarımında güneşten ısı kazanımında camlı yüzeyler temel ısı kazancını sağlayan bileşen konumundadır. Camlı yüzey alanlarının toplam alanı, istenmeyen ısı kazancı ya da kaybını önlemek amacıyla bina alanının %10-15'ini geçmemesi gerekmektedir. Pencerenin ısıl açıdan enerji performansına ait net değerleri, şeffaf ve opak bileşenlerin güneşten ısı kazançlarına ait değerleriyle, iç-dış ortam arasındaki sıcaklık farkının neden olduğu iletim, taşınım ve ışıma yolları sonucu meydana gelen ısı transferinin birlikte hesaplanması ile elde edilmektedir. Kabuğun şeffaf yüzeylerinden iletim yolu ile ısı transferine, iç-dış ortam sıcaklık farkı sebep olmakta ve ısı sıcak ortamdaki soğuk ortama doğru hareket eder. Isı akışı yönünde havadan taşınım yoluyla cama iletilen ısı, camı iletim yolu ile aşarak diğer yüzden yine taşınım yolu ile havaya iletilir. Camın ısı geçirme direncinin opak bileşenlere göre daha düşük olması kabuktan taşınım yolu ile gereksiz ısı kazanç ve kayıplarının artmasına sebep olur. Işıma yolu ile ısı transferi ise malzemenin optik özelliklerine ve güneş ışınımının yüzeye geliş açısına bağlıdır. Güneş kontrolü ve ısı korunumuna yönelik olarak yaygın olarak kullanılan camlar (Soysal, 2008);

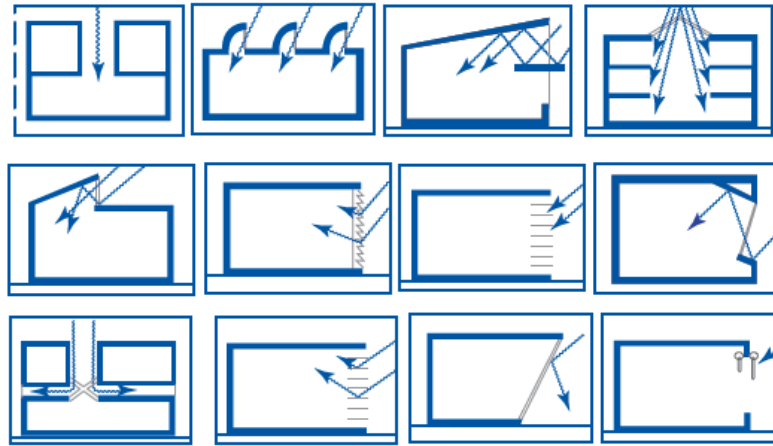
- Isı Soğuran(Renkli) Camlar (Heat Absorbing-Tinted Glass)
- Yansıtıcı(Reflektif) Camlar
- Düşük Emissiviteli(Low-E) Camlar
- Seçici Geçirgen(Spectrally Selective) Özellikteki Camlar

- Polyester Film Kaplamaları
- Isı Aynası(Heat Mirror) Cam
- Camlar arası Boşlukta Asal Gaz Kullanımı
- Akıllı Camlar(Smart, Switchable Glazing)

Fotokromik camlar, elektrokromik camlar, termokromik camlar, holografik camlar ve sıvı kristallerin kullanıldığı camlar akıllı cam grubu içinde yer almaktadır. Cam, bilindiği haliyle kullanımın ötesinde çevresel etkilere tepki vererek dış ortam koşullarına karşı kendini uyum sağlayacak biçimde değiştirmektedir. Akıllı camların, dış ortamdan gelen ışık, elektrik akımı, sıcaklık, elektrik alanı gibi uyarılar karşısında; geri dönüşümü olacak biçimde renk ve saydamlığı değişir. Bunun sonucu olarak da ışık geçirgenlikleri değişir (Soysal, 2008).

1.1.3.7. Güneş kontrolü ve doğal aydınlatma

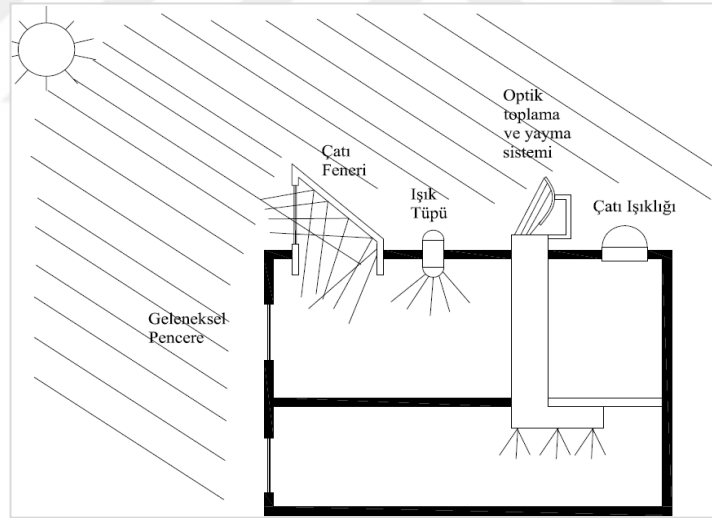
Bina kabuğunda güneş ışınımından, bulunulan yerin iklim koşulları doğrultusunda, genellikle korunma amacıyla kullanılan, kontrol amaçlı yapı elemanlarıdır. Sıcak iklimde yer alan bölgelerde, aşırı güneş ışınımına maruz kalan yapının soğutma yüklerinin yani tüketilecek olan enerji miktarının artması sebebiyle, korunma şeklinde güneş kontrolüne ihtiyaç duyulmaktadır. Bu elemanların, sabit, manuel hareket ettirilebilen veya sensörlü otomatik hareket edebilen olmak üzere çeşitleri vardır. Dış ve iç cephe jaluzileri, panjurlar, kış bahçeleri, tenteler, karartmalı camlar, perdeler, saçaklar, ışık rafları gibi sistemler güneş kontrol elemanları arasındadır (Şekil 1.8).



Şekil 1.8. Doğal aydınlatma ve gün ışığı alma olanakları (Ulukavak Harputlugil, 2016)

Güneş kırıcılar; hareketli ve sabit olarak gruplandırılabilen güneş kontrol elemanlarıdır. Güneş kırıcılar arasında saçaklar, ışık rafları, jaluziler, panjur gibi çeşitler bulunmakla birlikte bazı binaların ihtiyaçları doğrultusunda özel olarak tasarlanmış türler de bulunabilmektedir. Saçaklar, en yaygın kullanılan güneş kırıcı çeşitlerindedir. Çatının bina cephesinden taşması veya bina kabuğu bileşenlerinden kapı, pencere elemanlarının üst kısmına eklenmesi ile oluşturulurlar. Işık rafları, fazla güneş ışığının sebep olduğu kamaşmayı azaltıcı ve güneş ışığını tavana yönlendirerek doğal aydınlatmaya da katkı sağlayabilen bir çeşit güneş kırıcıdır. Genellikle yatay kullanılırlar.

Doğal aydınlatma çözümleri; pencerelerin güneş ışınlarını iç mekâna almada yetersiz olduğu ya da güneş ışığının aydınlatmadan kaynaklanan enerji tüketimini azaltmada sağladığı olumlu etkiden faydalanmak üzere bina kabuk bileşenlerinde, özellikle çatıda, bir takım aydınlatma çözümleri uygulanabilmektedir. Bu çözümler arasında çatı feneri, ışık tüpü, çatı ışıklığı gibi elemanlar sayılabilir. Bu elemanlardan ışık tüpü, çatıda üzerine düşen güneş ışınlarını alarak iç mekâna aktarır ve dağıtır. Çatı penceresi, güneş ışınlarını iç mekâna içine alabilmek için, çatı eğiminden yararlanır (Şekil 1.9).



Şekil 1.9. Yapılarda gün ışığından yararlanma yöntemleri (Yener, 2007)

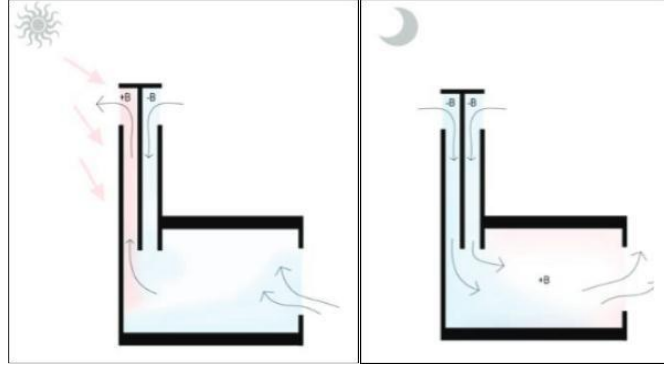
1.1.3.8. Doğal ventilasyon düzeni

Doğal ventilasyon, iç mekân ile dış mekân arasında oluşan hava değişimidir. Doğal ventilasyon ile yapıda, mekanik yöntemlere olan ihtiyaç azaltılarak, enerji kullanımında önemli bir tasarruf sağlanabilir. Dış iklimsel koşullar, doğal ventilasyon ile iç ortam konforunun sağlanıp sağlanamayacağını belirlemektedir. Rüzgârların kabuk dış yüzeyine basınç yapması sonucu, kabuk etrafında + ve - basınç bölgeleri oluşmaktadır.

Bu basınç bölgelerinden rüzgâr üstü olarak tanımlanan + basınç bölgesinde bulunan açıklıklar vantilasyon giriş açıklığı, rüzgâr altı olarak tanımlanan – basınç bölgesi ise vantilasyon çıkış açıklığı olarak tanımlanmaktadır (Koca, 2006). Binalarda iç mekândaki hava sirkülasyonuna yardımcı olan elemanlar; pencere açıklıklarının havalandırmaya yönelik belirlenmesi, rüzgâr bacası, rüzgâr kepçesi, çapraz vantilasyon, trombe duvarı gibi sistemler olarak belirlenebilmektedir.

Pencere açıklıkları; hâkim rüzgâr yönünde karşılıklı pencere açılması ve şaşırtmalı konumlandırılmaları, hava hareketinin tüm mekânda düzgün dağılmasını ve doğal vantilasyon için en verimli sonucun ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Bina yüzeyine yapılacak olan eklentiler ile mekânda doğal vantilasyon performansını arttırmak mümkündür. Kanat duvarları(wingwall) kullanımı bunlardan biridir. Doğru tasarlanmış kanat duvarları ile açıklığın tek cephede olduğu yüzeylerde çok iyi sonuçlar elde edilebilir. Kanat duvarları ile ilgili olarak unutulmaması gereken en önemli nokta; bu duvarların rüzgâr üstü denilen + basınç bölgelerinde uygulanması ile etkili sonuç alınacaktır. Dışarı pencere genişliği kadar çıkma yapan kanat duvarlarının etkin bir şekilde çalıştığı söylenebilir. Tasarımcı kanat duvarlarını bölgenin iklimsel özelliklerini dikkate alarak tasarlamalıdır (Koca, 2006).

Rüzgâr bacaları; sıcak-kuru ve sıcak-nemli iklime sahip bölgelerde kullanılmaktadır. Geleneksel bir sistem olan rüzgâr bacalarının çalışma prensibi, kentte esen rüzgârı, bina formu aracılığıyla iç mekâna alarak ortamı soğutmaktır. Rüzgâr bacaları günümüzde modernize edilerek doğal havalandırma sistemi olarak kullanılmaktadır. Rüzgâr bacaları iki şekilde çalışmaktadır. Birincisi; iç ve dış mekân arasındaki sıcaklık farkından kaynaklanan hava dolaşımı, ikincisi; düşük ve yüksek basınçlı bölgeler arasındaki basınç farkından kaynaklanan hava dolaşımıdır. Rüzgâr bacası ısı farklılığından faydalandığı durumda, gündüz güney cephesi ısınmakta ve içindeki havayı dışarıya atmaktadır. Bu esnada kuzey cephesindeki açıklıklardan serin hava iç mekâna alınmaktadır. Gece ise soğuyan hava bacadan içeri girmekte, iç mekânlardaki ısınan hava da bacadan dışarıya atılmaktadır (Aşıkoğlu, 2014) (Şekil 1.10).



Şekil 1.10. Gündüz ve gece durumlarında rüzgâr bacasının ısı farkından faydalanarak çalışma prensibi (Aşıkoğlu, 2014)

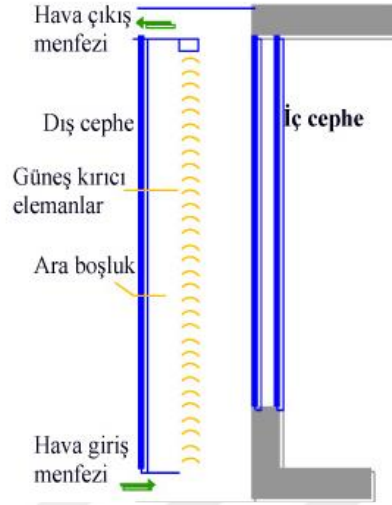
Rüzgâr kepçesi; kullanılan bölgelerde binaların havalandırması amacıyla çok kuvvetli rüzgâr esintilerine ihtiyaç duyulmamaktadır. Rüzgâr bacasına göre, rüzgârı daha iyi çeken, daha güçlü havalandırma sağlayan bir uygulamadır (Aşıkoğlu, 2014).

Trombe duvarı; absorbe edici yüzeye sahip olan duvarının alt ve üst bitişlerinde menfezler bulunan bir sistemdir. Bu menfezler açık tutulduğu zaman alt menfezden giren soğuk hava ısınıp yükselip üst menfezden içeri tekrar girmektedir. Bu sistemin karşısında bulunan kuzey duvarına üst kotlarda bir menfez açıldığında karşılıklı olarak kuzey duvarının üst menfezi, güney duvarının alt menfezi ve camdaki üst damper açıldığında, kuzeyden gelen soğuk hava alçalarak güney duvarının alt menfezinden çıkmaktadır. Bu durumda soğuk hava tüm odayı geçerek mekândan çıkmaktadır. Sonuç olarak iç mekân hem soğutulmuş hem havalandırılmış olmaktadır (Aşıkoğlu, 2014). Trombe duvarıyla ilgili ayrıntılı inceleme “Pasif Sistemler” başlığı altında yapılmıştır.

Galeri ve atrium; bu sistemler ısınan havanın yükselmesi ilkesine dayanarak çalışmaktadır. Bine içerisinde tasarlanan iki veya daha fazla kat yüksekliğindeki galerilerin üst örtüleri çoğunlukla cam malzeme ile tasarlanır. Atriumlarda camdan gelen güneş ışınları o ortamdaki havanın ısınıp yükselmesini sağlar. Böylece iç mekândaki kirli hava ısınıp yükselir. Atriumlarda ve galerilerde açılabilir pencereler düzenlenmesi durumunda kirli hava baca etkisi ile dışarıya atılabilmektedir (Aşıkoğlu, 2014).

Çift cidarlı cepheler; çoğunlukla binanın ana cephesi önüne belli uzaklıkta bir başka camın entegre edilmesiyle oluşan bu sistemlerde, iki cephe arası boşluk iç ve dış mekân arasında bir tampon bölge oluşturur. Temel mantığı güneş tarafından ısıtılan havanın aynı şekilde ısınan cephede, iki yüzey arasında yükselip bina boyunca katlar arasında dolaşmasıdır. Bu durum sıcak, taze havanın bina içinde dolaşımına hem de bina

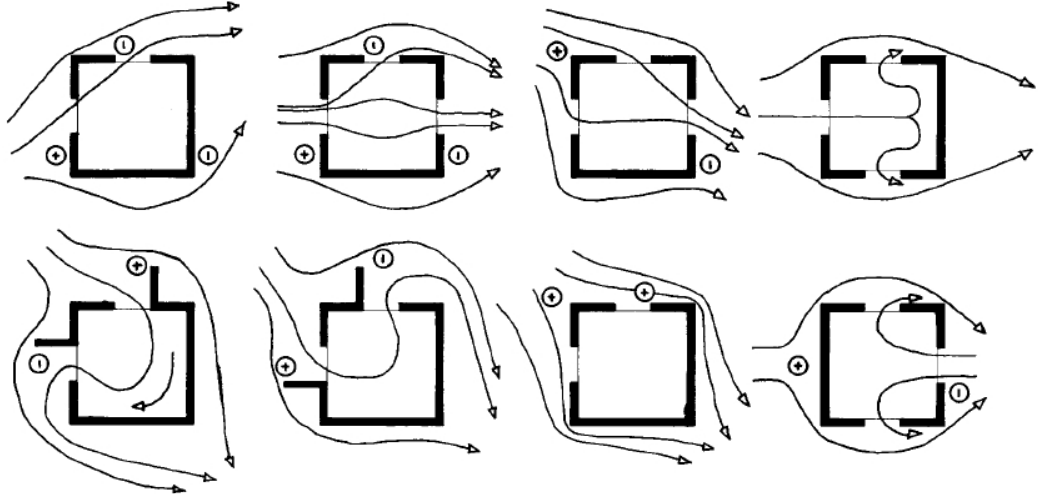
kabuğunun ısı yalıtımına katkıda bulunarak enerji tasarrufu sağlamaya hizmet eder (Şekil 1.11).



Şekil 1.11. Çift cidarlı cephe sistemi (İnan ve Başaran, 2013)

Çift cidarlı cepheler ikinci bir yapı kabuğuna sahip olup çoğunlukla bir dış cam cephe ve cam ya da kısmen cam malzemeden oluşan bir iç cam cepheden oluşur. Dış cam çoğunlukla tek saydam bir camdan, iç cam ise çift, low-e ya da güneş kontrollü camlardan oluşur. Bu bina kabukları birbirinden boyutları 20 cm ile 2 m arasında değişebilen, hava kanalı olarak tanımlanabilen bir boşluk ile ayrılır. Bir termal tampon bölge görevi gören bu boşluk doğal ve/veya mekanik olarak havalandırılabilir. Tampon bölge oluşturan bu hava kanalı binayı, yüksek hızdaki rüzgârlardan ve rahatsız edici gürültüden korur. Güneş kırıcı elemanlar da bu hava boşluğuna entegre edilerek binanın olumsuz hava şartlarından etkilenmesi engellenir (İnan ve Başaran, 2013). Kış döneminde ısı tutucu etkisiyle binanın ısıl konforuna ve ısı kaçışlarının önlenmesine fayda sağlarken, yaz döneminde de baca etkisi göstererek havalandırma sağlamaktadır.

Çapraz vantilasyon; hava akımının mekânın tümünü dolaşması sebebiyle tercih edilen bir uygulamadır. Vantilasyon üç boyutlu fonksiyon göstermekle, uygun yerlere açılmış duvar açıklıkları ve pencere tipleriyle orantılı olarak değişmektedir. Şekil 1.12'de çapraz vantilasyon planı gösterilmektedir.



Şekil 1.12. Çapraz(cross) vantilasyon planı (Karaaslan, 2011)

1.2. Enerji Etkin Sistemler

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı sonucu elde edilen ve binanın enerji kullanımını azaltan mimari tasarıma entegre edilebilecek sistemler, enerji etkin sistem olarak adlandırılmaktadır. Enerji etkin sistemler aracılığıyla yapının ısıtılması, soğutulması, havalandırılması, aydınlatılması, sıcak su ve elektrik enerjisi elde edilmesi alanlarında tüketilen enerji miktarı azaltılabilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından mimari tasarımda, pasif ve aktif sistemler olarak yararlanmak mümkündür. Bina elemanları ile ilişkileri bakımından enerji etkin sistemler, pasif veya aktif sistemler olmak üzere ikiye ayrılarak incelenmiştir. Pasif ve aktif sistemler binanın enerji etkinliğini maksimize etmeye yönelik uygulamalardır.

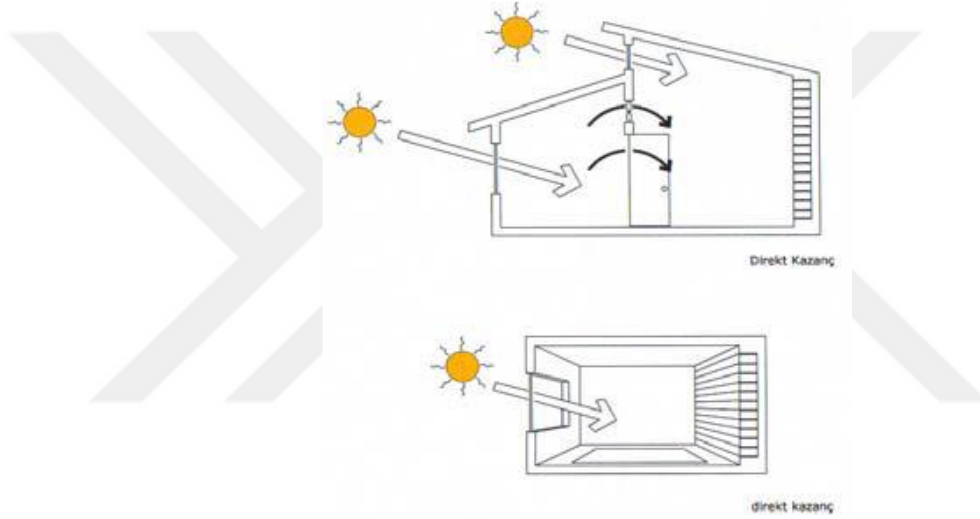
1.2.1. Pasif sistemler

Pasif sistemler; enerji tüketimine yol açan herhangi mekanik bir donanıma ihtiyaç duymadan, dış çevre ve yapı bileşenlerinin birbirleriyle uyumlu tasarlanmasıyla bina içi konfor koşullarını gerçekleştirilmede yenilenebilir enerji kaynaklarından maksimum yarar sağlamayı hedefleyen uygulamalardır. Binalarda enerji tasarrufu elde etmeye yönelik olarak uygulanan pasif sistemlerin temel özelliği güneş ışınımından ısı kazançlarını, ısıtmaya ihtiyaç duyulan dönemlerde maksimize etmek, ısıtmaya ihtiyaç duyulmayan dönemlerde ise minimize etmektir. Binalarda güneş enerjisi kullanım açısından iletim(kondüksiyon), taşınım(konveksiyon) ve ışınım(radyasyon) yoluyla sağlanır. Bina kabuğuna gelen güneş ışınları kabuk malzemesi tarafından yansıtılır, geçirilir veya emilir. Bu yollarla, binanın ısınma ve soğuma gereksinimleri tasarım

kararlarıyla yönlendirilebilir. Bu sayede çevreyle uyum içinde sağlanmış iç konfor ortamıyla yapay iklimlendirmenin neden olduğu enerji tüketim miktarı minimuma indirilerek enerji tasarrufu sağlanmış olur.

1.2.1.1. Direkt kazanım sistemleri

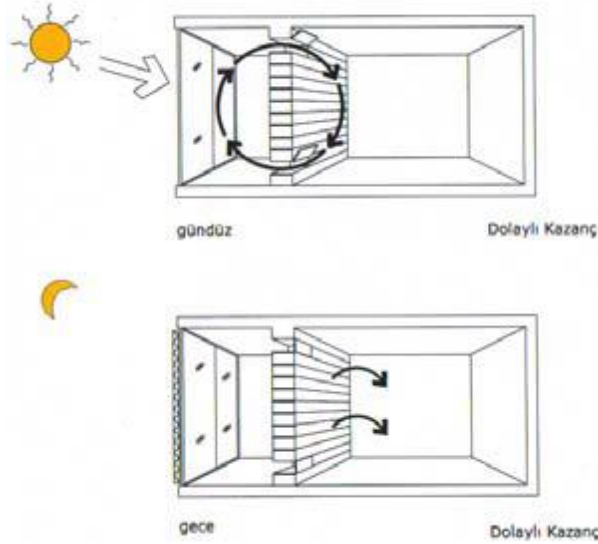
Direkt kazanım sistemlerinde; kuzey yarım kürede, binanın güney yönüne bakan cephesinde bulunan saydam bileşenlerden geçen güneş ışınları duvar, döşeme gibi bina kabuğu opak bileşenleri tarafından gün boyu toplanır ve gece kullanılmak üzere depolanır. Bina kabuk bileşenlerinde verimli malzeme kullanımı ile sistemin etkinliği artırılabilir (Şekil 1.13).



Şekil 1.13. Direkt kazanım sistemleri (Özdemir, 2005)

1.2.1.2. Dolaylı kazanım sistemleri

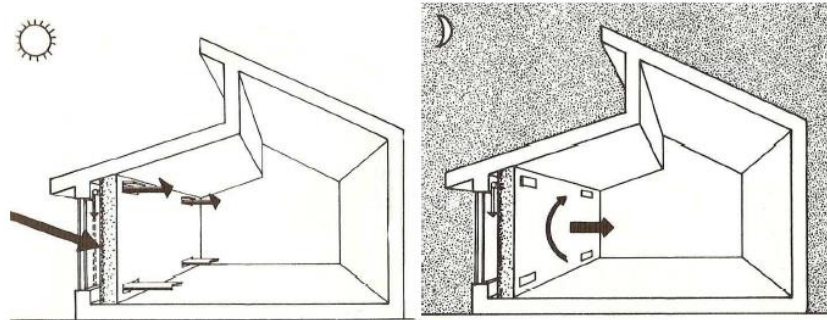
Dolaylı kazanç sistemlerinde; termal depolayıcı bir kütle aracılığıyla güneş ışınlarından direkt kazanılan ısı gün boyu toplanır ve gece kullanılmak üzere depolanır (Şekil 1.14).



Şekil 1.14. Dolaylı kazanım sistemleri (Özdemir, 2005)

Dolaylı kazanım sistemlerini farklı türlerde oluşturmak mümkündür;

Trombe duvar (ısı depolayıcı duvar); güneş enerjisinden ısı elde amacıyla, binanın güney cephesinde konumlandırılan ve en dışta cam katman, arada hava boşluğu, en sonda masif duvarın bir araya gelmesi ile oluşturulan yöntemde ısı depolayıcı duvar yöntemi ya da trombe duvarı denilmektedir. Bu yöntemde ısının toplanması ve depolanması aynı duvar üzerinde meydana gelmektedir. Duvar yüzeyi gelen güneş ışınımını büyük oranda yutmak üzere koyu renkli ya da siyah olmalıdır (Şekil 1.15).

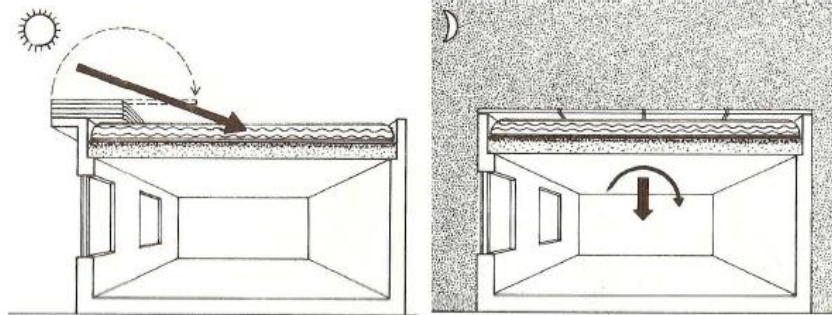


Şekil 1.15. Trombe duvar (Akmalı Özçiftçi, 2010)

Bidon duvar (ısı depolayıcı akışkan olarak su kullanılan duvarlar/su duvarı) sisteminde; ısı kütlesi olarak, ısı depolama kapasitesi beton, tuğla, taş vb. gibi masif malzemelere oranla çok daha yüksek olan su ya da diğer sıvılarla dolu varil ya da kaplar kullanılmaktadır. Isı depolayıcı duvarlar iç yüzeylerine ısıyı yavaş iletirler. Masif duvar olarak kullanılan betonun malzeme yoğunluğu yüzünden, güneş enerjisini toplayan dış yüzeyinin hızla ısınmasına rağmen diğer yüzeyi yeteri kadar ısınmamaktadır. Ancak ısı

depolayıcı olarak kullanılan su ya da diğer sıvılarla doldurulan tank, fıçı, varil ve kaplar ile iç mekânına daha hızlı ve sürekli olarak ısı iletilmektedir. Bu da su duvarı içindeki suyun güneş enerjisi ile ısınarak yukarı doğru çıkarken, doğal bir konveksiyon akımı oluşturması ile gerçekleşmektedir (Keskin, 2012).

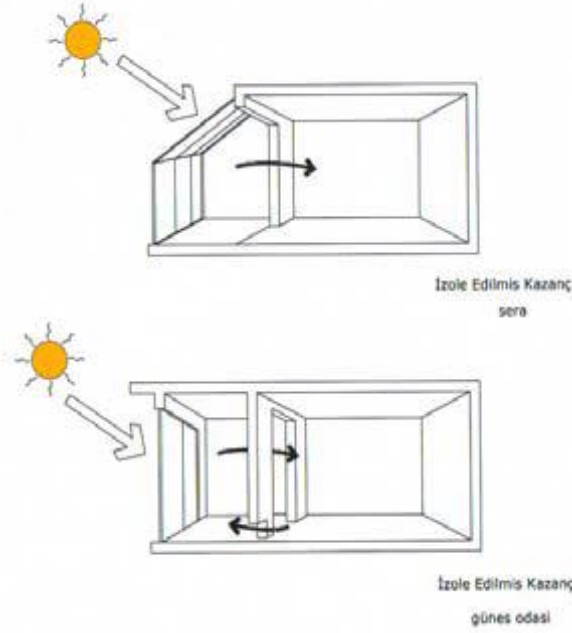
Çatı havuzu sistemleri; oluşturulduğu düzlem açısından diğer pasif ısıtma yöntemlerinden farklıdır. Diğer yöntemler düşeyde oluşturulurken, bu yöntem yatayda oluşturulmaktadır. Çatıda yer alan ısı tutucu kitle, altındaki metal konstrüksiyon tarafından taşınmaktadır. Bu sistemde ısıl kütle görevini çatıda bulunan su kütlesi gerçekleştirmektedir. Su, çoğunlukla camla kaplanmış geniş plastik ya da fiberglas kapların içinde depolanmaktadır. Güneş ışınlarının ısıttığı su kütlesi depoladığı ısıyı aşağıdaki hacme kondüksiyon yoluyla ileterek oranın ısınmasını sağlamaktadır. Daha çok, düşük nemli iklimler için uygun olan bu yöntemin yapıya ilave yük getirmesi gibi olumsuz bir durumu vardır. Aynı zamanda özenli bir drenaj sistemine ve açılıp kapanabilen hareketli bir yalıtıma ihtiyaç duymaktadır (Akmalı Özçiftçi, 2010) (Şekil 1.16).



Şekil 1.16. Çatı havuzu yönteminin çalışma prensibi (Yasan, 2011)

1.2.1.3. İzole edilmiş kazanç sistemleri

İzole edilmiş kazanç sistemlerinde, ısı toplama ve depolama alanı binanın kullanım alanlarından izole edilmiştir. Böylece sistem, ısı toplama ve depolama görevini binadan ayrı olarak yerine getirmektedir (Şekil 1.17).



Şekil 1.17. İzole edilmiş kazanç sistemleri (Özdemir, 2005)

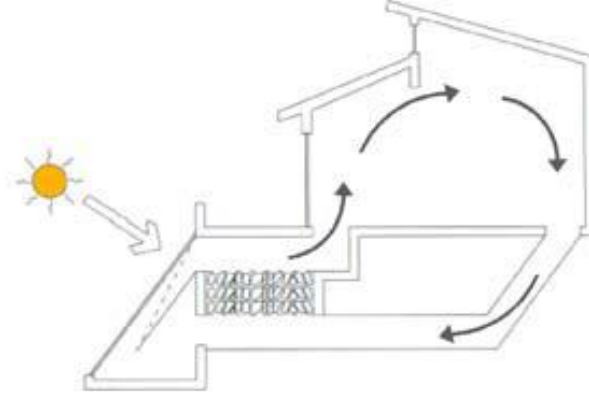
İzole edilmiş kazanç sistemleri iki farklı türde oluşturulabilir.

Seralar sistemi; binanın güney cephesinin önündeki camla kaplı, kapalı bir hacim olarak tanımlanmaktadır. Seralar, binanın pasif ısıtılmasının sağlanıp aynı zamanda bitki yetiştirilmesine olanak sağlar. Aynı zamanda binaya bitişik durumda sıcak bir hacim olması ile ısı kaybını azaltan bir yalıtkan görevindedir. Yaz döneminde ise, seranın aşırı ısınmasına önlem alınmalıdır.

Güneş odaları sistemi; doğrudan kazanç ve trombe duvarı sistemlerinin birleştirildiği bir sera tekniği gibi olup cam yüzey ile ısı depolayıcı duvar arasında bulunan boşluğun büyütülerek güneş odası veya kış bahçesi olarak adlandırılan bir mekâna dönüştürülmesi prensibine dayanmaktadır. Güneş odaları, içinde yaşanabilen ek bir yaşama mekânı olarak tanımlanabilen, ısıtılmayan, güneye yönlendirilmiş, cam yüzeylerin yoğun kullanıldığı mekânlardır. Sistemin avantajlarından biri mekanik tesisata ihtiyaç duymadan enerji kazanımı sağlamasıdır (Lakot, 2007).

1.2.1.4. Termosifon sistemler

Bu sistemde; bina cephesinden ayrı şekilde, doğrudan güneş ışınımı ve iç mekân arasındaki bağlantıyı sağlayacak biçimde bir toplayıcı hacim yer alır (Şekil 1.18).



Şekil 1.18. Termosifon sistemler (Özdemir, 2005)

Termosifon sistemlerin düşey panel ve U tüpü paneli sistemi olmak üzere iki alt sistemi bulunmaktadır.

Düşey panel sistemi; bu sistemde depolama özelliği bulunmamakta olup sadece gündüz pasif ısıtma sağlanılabilmektedir. Ancak iç mekâna sağlanan sıcak hava ile döşeme, duvar ve tavan bina elemanlarında depolama gerçekleşebilmektedir. Bu alternatifteki paneller düşey ve eğimli bir açıyla güney cephesine entegre edilir. Sistem işleyişi trombe duvarlarına benzemektedir. Depolayıcı olmayan bu sistemin kurulumu düşük maliyetli olup az bakım gerektirir ve en etkili pasif güneş tasarımlarından biridir. Kış döneminde menfezler açık, havalandırma kapakları kapalıdır. Yaz döneminde ise menfezler kapatılır, havalandırma kapakları açılır. Panelde güneş ışıını ısıya dönüştürülerek üst menfez aracılığıyla iç mekâna aktarılırken, iç mekândaki soğuk hava da alt menfezden çekilerek hava dolaşımı döngüsü sürdürülür. Yaz döneminde ise besleyici menfezler kapatılarak iç mekân ile sistemin hava alışveriş ilişkisi kesilmeli ve gündüz boyunca sistemin aşırı ısınmasını engellemek için dış güneş kontrol elemanları kullanılmalıdır (Yasan, 2011).

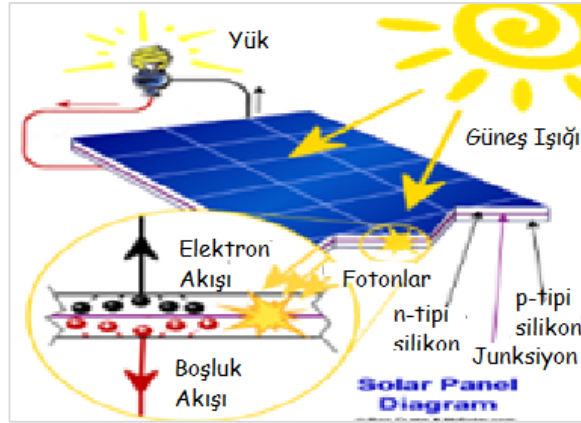
U-tüpü paneli sistemi; bu alternatifte paneller belirli bir açı ile iç mekânın alt kotunda çözümlenmiştir. Depolayıcı, beton bloklardan oluşan hava kanallı zemin altı döşemesi ve radye temeldir. Sistemin yerle ısı bağlantısı kesilmiştir. Sistemin üst menfezi arka(kuzey) duvardaki çıkış menfezidir. Buradan iç mekâna sıcak hava girişi sağlanır. Alt menfez ise ön(güney) duvarın alt kısmındadır. Bu menfezden alınan hava, ısınıp zemin altı kanalları aracılığı ile dolaşarak ısı depolamasını ve depolanan ısının iç mekâna alınmasını sağlar. Yaz döneminde panel için güneş kontrolünün sağlanması ve menfez kapakları kapatılarak sistemin çalışmasının durdurulması gereklidir (Yasan, 2011).

1.2.2. Aktif sistemler

Aktif sistemler, bina yaşam döngüsü içerisinde güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından, çeşitli ekipmanlar yardımıyla elektrik, ısıtma, soğutma, kullanım amaçlı sıcak su vb. dönüşümler ile yarar sağlayan sistemlerdir. Aktif sistemlerin kullanılmasındaki temel amaç; yapı içerisinde gereksinim duyulan enerjinin kaynağını yenilenebilir kaynaklardan sağlamaktır. Teknolojinin gelişimi ile üretilmiş güneş toplacıları(güneş kolektörleri), fotovoltaik paneller(PV paneller), rüzgâr türbini ve jeotermal enerji kullanımı gibi sistemlerden oluşan aktif sistemlerin yapıya tasarım aşamasında dâhil edilmesi, verimin artması ve bütüncül bir enerji etkin kullanımının oluşturulabilmesi bakımından önemlidir. Yenilenebilir kaynaklardan faydalanan aktif sistemler; PV paneller(fotovoltaik paneller), ısıl güneş teknolojileri, rüzgâr türbini ve jeotermal enerji kullanımı olmak üzere dört ayrı grupta incelenebilir.

1.2.2.1. PV paneller ve binalarda kullanım alanları

Fotovoltaik-PV hücreler, yüzeylerine gelen güneş ışığını direkt olarak elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken ürünlerdir. PV hücreler, yüksek gerilim ve akım elde etmek amacıyla seri ve paralel bağlanarak daha güçlü PV modülleri oluşturmaktadır. Şekil 1.19'da PV hücre ve hücreden elektrik üretimi gösterilmektedir.



Şekil 1.19. PV hücre ve elektrik üretimi (Üçgül vd., 2014)

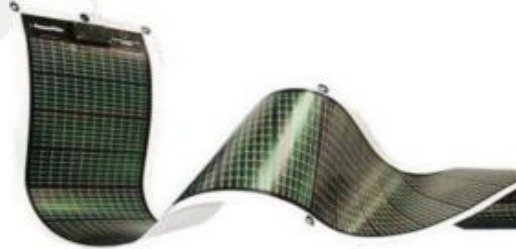
PV hücre çeşitleri; birinci nesil(monokristal-polikristal), ikinci nesil(ince film), üçüncü nesil(nanokristal, konsantre) olarak üç gruba ayrılmaktadır. Bunlar arasında en yaygın olanları monokristal, polikristal ve ince film PV hücreleridir.

Birinci nesil PV hücreleri; en eski ve en yaygın kullanıma sahip bu tür silisyum waferlar temelinde üretilmektedir. Monokristalli ve polikristalli olmak üzere iki ayrılır.

- Monokristal silisyum PV hücreleri; PV üretim teknikleri arasında en eski ve en pahalı olan yöntem olmakla beraber günümüzde en yüksek verimlilik oranına sahiptir. Verimleri %15 civarındadır. Yapımı esnasında malzeme kaybının fazla olması bu pillerin dezavantajıdır.
- Polikristal silisyum PV hücreleri; bu piller de ribbon silisyum teknolojisiyle yapılıp, yapıları polikristal özellik göstermektedir. Bu pillerin verimleri %10'dur.

İkinci nesil PV hücreleri; silikon kristalli hücrelere göre esneklik, ekonomik olma ve incelikleri yönünden daha iyi olmaları sebebiyle öne çıkmaktadırlar. Bu hücre çeşitleri amorf-silisyum, kadmiyum-tellür, bakır-indiyum-galyumselenid olarak üç grupta incelenebilir.

- Amorf-silisyum PV hücreleri; Amorf-silisyum güneş pilleri(a-Si), ince film güneş pili teknolojisinin en önde gelen örneğidir (Şekil 1.20). Verimleri %5-8 arasında olmakla beraber bu piller, kısa zamanda bozunuma uğrayarak çıkışları azalmaktadır.



Şekil 1.20. İnce film PV hücresi (Oğuz vd., 2015)

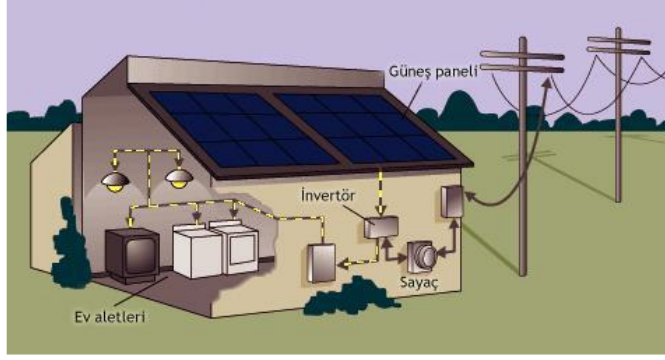
- Kadmiyum-tellür(CdTe) ince film PV hücreleri; ekonomik sebepler bu tür hücrelerin çıkış sebebidir. Polikristal malzemeler ve cam kullanılarak CdTe hücreler sentezlenir ve çoklu katmanlar substratlar kullanılarak kaplanırlar. Verimleri %9-%11 civarındadır. Kadmiyumun geri dönüşümü maliyetli ve ekosistem için zararlı etkileri olması bu hücrelerle alakalı çözülmesi gereken başlıca sorunlardandır.
- Bakır indiyum galyum di-selenid PV hücreleri; CdTe PV hücrelerine göre %10-%12 ile yüksek bir verime sahiptir. Uzun ömürlü olmaları en büyük avantajlarıdır.

Üçüncü nesil PV hücreleri; günümüz ve gelecek için araştırılmaya devam eden bu tür hücreler dörde ayrılarak incelenebilir. Bunlar nano kristal tabanlı, polimer, boya duyarlı ve konsantre PV hücreleridir.

- Nano kristal tabanlı PV hücreleri; kuantum noktalı(QD) PV hücreleri olarak tanımlanırlar. Nanokristal boyutlarda yarı iletken malzemelerden elde edilmiş olup sıklıkla gözenekli silisyum ve titanyumdioksit gibi materyaller kullanılır. Geleneksel bileşik yarı-iletken PV hücrelerinde foton bir elektron-boşluk çifti oluştururken QD'ye vurduğunda sayısız çift oluşturabilmektedir.
- Polimer PV hücreleri(PSC); çoğunlukla polimer katkı sayesinde esnek olan bu tür silisyum tabakaların şerit levha şeklinde kesilmesiyle üretilmektedir. Güneş ışığının emilmesi için çeşitli polimerler kullanılmakta olup bu tür üzerine yapılan çalışmalar hala devam etmektedir.
- Boya duyarlı PV hücreleri; bu tür hücreler üzerine son zamanlarda yapılan çalışmalar ve moleküler değişikliklerle, hücrelerin güneş etkinliği arttırılmaya ve nanoteknoloji ile güneş ışığının etkin kullanımı sağlanmaya çalışılmaktadır. Esnek, şeffaf ve ekonomik olan bu hücreler %10 verimliliğe ulaşabilmiştir. Boya molekülleri kızılötesi ve morötesi ışınlarda ise bozunmaya uğramakta olup bu durum karşılaşılan en büyük sorunlardandır.
- Konsantre PV hücreleri(CPV); temel prensibi güneş ışığının bir noktaya odaklanması üzerine kuruludur. Bu sayede güneş ışığından yüksek miktarda ısı elde edilmektedir. Düşük, orta, yüksek mercecek sistemine göre verimlilikleri %40 üzerine çıkabilmekte olup malzeme ve ekipman üretimindeki zorluklar hala çözülmeye çalışılan problemlerdendir.

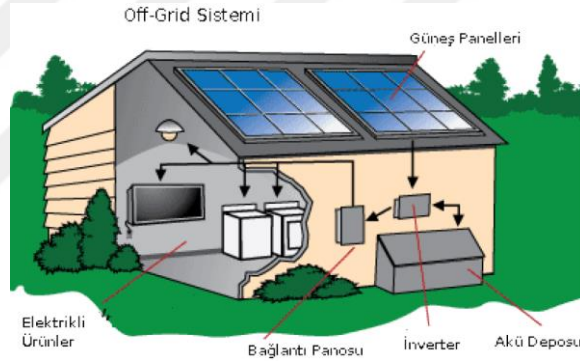
PV sistemleri, PV modül, solar regülatörü, invertör ve uygulama alanına göre değişen akü gibi elemanlardan oluşmaktadır. Uygulama alanları ise 2 ayrı gruba ayrılmaktadır. Bunlar şebeke bağlantılı sistemler(on-grid) ve şebekeden bağımsız(off-grid) sistemlerdir.

- Şebeke bağlantılı sistemler(on-grid); yerel elektrik enerjisi ağına bağlı olmakla birlikte güneş ışığı olmadığı zamanlarda, elektrik enerjisi PV sistem tarafından üretilemeyeceği için, kullanım için gerekli güç ağdan satın alınır. Bu sistem Şekil 1.21'de gösterilmektedir.



Şekil 1.21. Şebeke bağlantılı sistem (Üçgül vd., 2014)

- Şebekeden bağımsız sistemler(off-grid); tek başına PV sistemler, elektrik şebekesine erişimin mümkün olmadığı veya zor olduğu yerlerde kullanılır. Bu tip sistemler, elektrik şebekesinden bağımsızdır. Üretilen enerji çoğunlukla bataryalarda depolanmaktadır. Bu sistem Şekil 1.22’de gösterilmektedir.



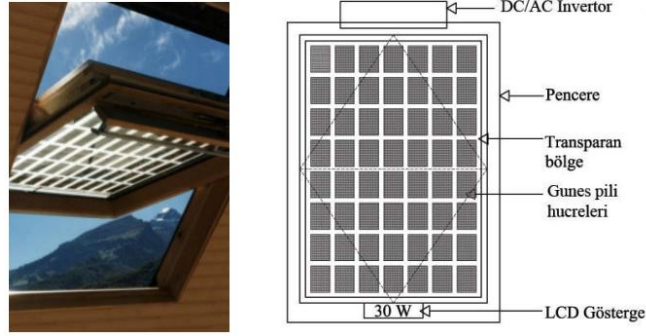
Şekil 1.22. Şebekeden bağımsız sistem (Üçgül vd., 2014)

PV panellerin verimini etkileyen faktörler; yönelim, eğim ve konumlu bulunan yerin iklim şartlarıdır. Bu faktörlerden en etkili olanı yönelim ve eğimdir. Sistemin uygulanacağı yer kuzey yarımküre ise güneşe yönelim tercih edilmeli eğim için ise güneş ışınlarını olabildiğince dik açıyla alabilmesi sağlanmalıdır. Sistem için optimum açı ise bulunulan yerin enlem derecesidir. PV panellerin binalarda uygulanması; bina çatısında ve düşey bina kabuğunda olmak üzere ikiye ayrılarak incelenmektedir.

PV panellerin bina çatısında kullanımı; sistemin verimini en çok etkileyen yönelim ve eğim faktörleri için binadaki en uygun alanları oluşturur. Gölgeleme sorununun yaşanma ihtimali düşüktür. Aynı zamanda uygulanabilirliği yüksek ve maliyeti düşüktür. Bu uygulama biçiminde aşırı ısınma durumu olumsuz bir özelliktir. Bina çatısında

uygulanma biçimleri; çatı örtüsü üzerine ek bir yapı ile kullanımı ve çatı örtüsü olarak kullanımı şeklindedir.

Çatı örtüsü üzerine ek bir yapı ile kullanımında, PV paneller çatı yüzeyine ek bir yapı aracılığıyla doğrudan konumlandırılır (Şekil 1.23).



Şekil 1.3. Çatı penceresine yarı saydam güneş pili panel uygulama örneği (Moral Uğur, 2006)

Çatı örtüsü olarak kullanımı, maliyet açısından daha etkin olmakla birlikte uygulama detaylandırma sürecinde birtakım zorluklara neden olabilmektedir. Şekil 1.24'de çatı örtüsü ile bütünleştirilmiş bir PV uygulaması gösterilmektedir.



Şekil 1.4. Çatı örtüsü ile bütünleştirilmiş bir PV uygulaması (Özkılıç Keleş, 2008)

PV panellerin düşey bina kabuğunda kullanımı; düşey bina kabuklarında ön üretimli PV paneller kullanılabilir. PV panellerde iklimsel konfor sağlanabilmesi açısından şeffaf, opak ve yarı geçirgen bölgelerle sentezlenerek kontrol sağlanmalıdır. Düşey uygulamalara ek olarak, kırık ve açılı paneller ile de kontrol sağlanabilir. PV paneller bina kabuğunu doğrudan oluşturabildiği gibi, dış ve iç ortam arasında yer alarak gerekli işlevi üstlenen geleneksel kabuğa apliance olarak da tasarlanabilir. Kabuğa apliance olarak kullanılan PV panelleri elektrik üretici olmasının yanında mevcut kabukta yağmur perdesi ya da güneş kırıcı olarak da kullanılabilir (Çelebi, 2002).

PV paneller, doğrudan bina kabuğunu oluşturan veya mevcut kabuğa aplike edilmiş uygulamalar olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar. Şekil 1.25’de bina kabuğuna uygulanmış PV uygulamaları gösterilmektedir.



Şekil 1.5. Bina kabuğuna uygulanmış PV uygulamaları (Yılmaz vd., 2015)

- Doğrudan bina kabuğunu oluşturan PV panel uygulamalarının ana kullanım hedefi, elektrik enerjisi üretimi ile birlikte güneş ışınımını denetleme ve su-hava sızdırmazlık gibi görevler de üstlenir. Aynı zamanda ısı geçirgenlik direnci de önem kazanır. Düzlemsel duvarlar, bilinen giydirme cephe uygulamalarındaki konstrüksiyon ile binalara uygulanabilir. PV panelli düşey duvarlarda elde edilen elektrik enerjisi, eğimli yüzeylere karşılaştırıldığında daha düşük bir verime sahiptir. Düşeyde kırıklı duvarlar, düzlemsel duvarlar ile aynı şekilde konstrüksiyon ile uygulanır fakat, ekonomik değildir. Açılıp-kapanabilen bir çözüm olmasından dolayı kullanıcı konforu sağlamanın yanında temizlenebilme olanağı da sağlayarak, verimin daha yüksek olmasını sağlar. Akordeon duvarlar, kırıklı yüzey fazlalaştığı için karışık bir konstrüksiyona sahiptir ve panellerin güneş ışınım yönüne uyarlanabilmesinden dolayı sağlanılabilen verim oldukça yüksektir. Yatayda kırıklı duvarlar, güneş ışınımını kontrolü sağlama sebebi ile fiziksel konfor bakımından oldukça verimli bir uygulamadır. Panellerin konstrüksiyon yapısı, güneş ışınımını panellerin açılı ve dik olarak almasını sağlayıp elektrik enerjisi üretim verimini artırırken, cephe yüzeyi temizleme sıkıntısına sebep olmaktadır. Açılı düzlemsel duvarlar, 40° ve 60°'lik açılar ile en yüksek verim sağlayan uygulama biçimidir. Opak ve yarı geçirgen PV paneller ile geçirgen ya da seçici cam yüzeyler kullanılarak yüksek performanslı sistemler elde edilebilir. Yüzey temizleme sorunu bu uygulamada da sorun teşkil edebilmektedir. Açılı kırıklı duvarlar, genel yaklaşım olarak açılı düzlemsel

duvarlar ile benzer olup performans değerleri de birbirine oldukça yakındır. Eğimli yüzeyde opak PV panel, dik yüzeyde de ışık geçirgen cam kullanılarak güneş ışıını kontrolü sağlanabilmektedir (Yasan, 2011).

- Mevcut kabağa apliedilmiş PV paneller, güneş kırıcı, bina kabağundan bağımsız oluşturulacak konstrüksiyon ile yatay ya da eğimli olarak düzenlenerek; güneş enerjisini toplayarak elektrik enerjisi üretmek ile birlikte doğal gün ışıını kontrol edebilen sistemlerdir. Özellikle gün ışığı aydınlığının doğrudan istendiği durumlarda opak ya da yarı geçirgen PV panellerin yatay, kontrollü istendiği durumlarda ise eğimli düzenlenmesi ile güneş ışıını denetlenebilir ve pencere gölgelenebilir (Çelebi, 2002).

1.2.2.2. Isıl güneş teknolojileri

Bu sistemlerdeki amaç, güneş enerjisinden ısı elde etmek olup elde edilen ısı direkt ya da elektrik enerjisi üretmek amacıyla kullanılabilir.

Düşük sıcaklık sistemleri; güneş kolektörlü sıcak su sistemleri olarak bilinirler. Güneş enerjisi toplayıcısı düzlemsel kolektörler, ısınan suyun aktarıldığı depo ve bu iki eleman arasında bağlantı sağlayan yalıtımlı boru ile pompadan oluşmaktadır.

Tabii dolaşım ve pompalı sistemler olmak üzere iki gruba ayrılarak sınıflandırılabilirler.

Tabii dolaşım sistemleri, sistem içerisindeki akışkanın hareketinin kendiliğinden oluştuğu düzeneklerdir. Kolektörlerdeki ısınan suyun yoğunluğu azalır ve yükselir. Bu durumdan faydalanabilen sistemler oluşturabilmek amacı ile depo güneş kolektörlerinin üst hizasından asgari olarak 30 cm dolaylarında yukarıda olmalıdır. Deponun alt kısmındaki soğuk su kolektörlerde ısıtılır, yoğunluğu azalır ve dolayısıyla deponun üst kısmına yükselir. Gün içerisinde devam eden bu döngü sonucunda, depoda sıcak su elde edilmiş olur. Sistem içerisinde pompa ve kontrol mekanizması gerektirmediği için, pompalı sistemler ile karşılaştırıldığında daha ekonomiktirler. Ancak deponun kolektör üst hizasından yukarıda bulunması zorunluluğundan ötürü büyük bina sistemlerinde kullanılamamaktadırlar (Yasan, 2011).

Pompalı sistemler, sistem içerisindeki akışkanın hareketinin pompa ile oluşturulduğu sistemlerdir. Büyük bina sistemlerinde deponun kolektör üst hizasından yukarıda

bulunmasının çok zor olması sebebi ile pompa kullanımını tercih edilmektedir. Pompalı sistemler otomatik kontrol devresi yardımıyla çalışırlar. Depo tabanına ve kolektör çıkışına yerleştirilen diferansiyel termostatın sensörleri, kolektörlerdeki suyun depodaki sudan 10°C daha sıcak olması durumunda pompayı çalıştırarak sıcak suyu depoya alır, bu fark 3°C olduğunda ise pompayı durdurur. Pompa ve otomatik kontrol devresinin zaman zaman arızalanması nedeniyle işletilmesi tabii dolaşımli sistemlere göre daha zor olmaktadır. Tabii dolaşımli ve pompalı sistemler açık ve kapalı sistem olarak iki gruba ayrılabilirler (Yasan, 2011).

Açık sistemler, kullanıcı tarafından kullanılan ve kolektörlerde ısıtma amaçlı kullanılan suyun aynı olduğu sistemlerdir. Kapalı sistemler ile karşılaştırıldığında maliyeti daha düşük olmak ile birlikte verimi daha yüksektir. Bu sistem seçimi yapılırken, sistemin uygulanacağı bölgede donma olaylarının gerçekleşmemesi ve suyun kireçsiz olmasına dikkat edilmelidir (Yasan, 2011).

Kapalı sistemler, kullanıcı tarafından kullanılan ve kolektörlerde ısıtma amaçlı kullanılan suyun farklı olduğu sistemlerdir. Kolektörlerdeki su güneş enerjisi vasıtasıyla ısınır ve eşanjör vasıtasıyla ısı enerjisini kullanıcı tarafından kullanılacak suya aktarır. Maliyet ve performans, açık sistemler ile karşılaştırıldığında daha düşüktür. Donma, kireçlenme gibi muhtemel problemlere karşı çözüm olarak tercih edilmektedirler ancak eşanjör kullanımı sebebi ile verimde azalma olmaktadır. Genel olarak değerlendirildiğinde, ısısal toplama daha çok düzlemsel güneş kolektörleri aracılığıyla yapılmaktadır. Düzlemsel kolektörler üst noktadan alt noktaya doğru üst örtü, absorban plaka, yalıtım ve kasa olarak katmanlaşmaktadır (Yasan, 2011).

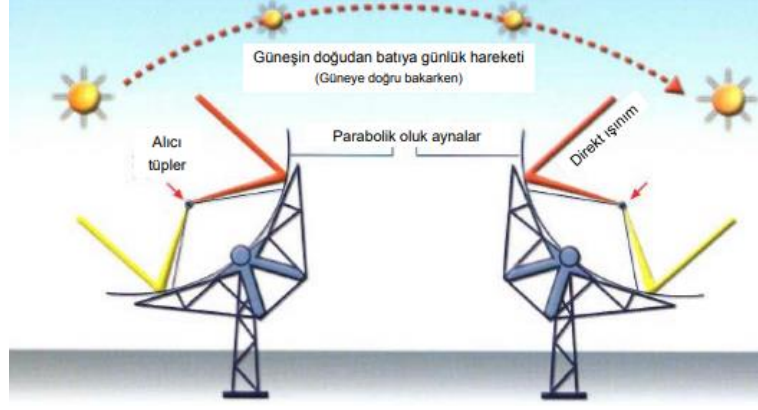
- Üst örtü, güneş ışınlarının içeri geçirilmesini engellemeyen ve üst yüzeyden olabilecek ısı kayıplarını en aza indirebilecek malzemenin oluşturulmaktadır. Bu katmanda çoğunlukla tercih edilen malzeme camdır. Cam güneş ışınlarını içeri alabilmesi ile beraber, absorban plakadan yayılan uzun dalga boylu ışınları geri yansıtabilmesi nedeniyle üst örtü olarak oldukça verimli bir malzemedir.
- Yutucu plaka, güneş ışınlarını yutarak ısıya dönüştürür ve ardından ısıyı sistemdeki suya aktarır. Yutucu plaka tabanda ve üstte birer manifold ile bunların arasına yerleştirilmiş akışkan boruları ve yutucu plakadan oluşur. Yutucu plaka ışınları yutması için koyu bir renge çoğunlukla siyaha boyanmıştır. Kullanılan boyanın yutma katsayısının(absorptivite) yüksek, uzun dalga boylu radyasyonu yayma katsayısının(emissivite) düşük olması gerekmektedir. Bu

sebeple bu özelliklere sahip seçici yüzeyler kullanılmaktadır. Yutucu plakanın, borular ile sıkı temas halinde olması gerekmektedir. Alüminyumda olduğu gibi, akışkan borularının kanatlarla bir bütün teşkil etmesi en iyi durumdur. Bakır ve sacda bu mümkün olmadığı için akışkan boruları ile plakanın birbirine temas problemi ortaya çıkmaktadır. Bu problem ya tamamen ya da belli aralıklarla lehim ya da kaynak yapmakla çözülebilmektedir.

- Yalıtım, güneş kolektörünün arka yüzeyden oluşabilecek ısı kayıplarını asgari düzeyde tutabilmek amacıyla, yutucu plaka ile kasa arasına sistem verilerine uygun yalıtım malzemesi uygulanmalıdır. Yutucu plaka sıcaklığı yaklaşık 150°C' a kadar ulaşabildiği göz önüne alındığında, sıcak yalıtım malzemeleri kullanılmaktadır. Soğuk yalıtım malzemeleri poliüretan kökenli seçimler tek başına kullanılmamalı, absorban plaka yüzeyi sıcak yalıtım malzemeleri ile takviye edilerek uygulanmalıdır.
- Kasa, yutucu plakanın su ile temas etmesini engellemeli, özellikle kolektör giriş ve çıkışlarında su sızdırmazlığı sağlanmalıdır (Yasan, 2011).

Yoğunlaştırıcı sistemler; düzlemsel güneş kolektör sistemlerine göre çok daha yüksek sıcaklık değerlerine ulaşabilmek amacıyla kullanılır. Düzlemsel ve yoğunlaştırıcı kolektörler arasındaki temel fark yoğunlaştırma oranı(yani açıklık alanının alıcı yüzey alanına oranı)dır. Kolektörlerde açıklık alanı güneş enerjisinin temas ettiği net alan, alıcı yüzey alanı güneş enerjisinin yutularak ısı enerjisine çevrildiği alandır. Düzlemsel kolektörlerde bu alanlar eşit olmakla birlikte yoğunlaştırıcı kolektörlerde, alıcı yüzeye gelmeden önce güneş optik olarak yoğunlaştırılır. Bu yüzden alıcı yüzey, açıklık alanına göre daha küçüktür. Bu tür güneş kolektörlerinde, güneş enerjisinin yansıtıcı ve ışın kırıcı yüzeyler ile yoğunlaştırılması amacıyla doğrusal ve noktasal yoğunlaştırıcılar kullanılır.

Doğrusal yoğunlaştırıcılar, parabolik oluk kolektörler olarak da bilinir. Doğrusal yoğunlaştırma yapar ve kesiti parabolik dizilerden oluşur. Oluğun iç kısmındaki yansıtıcı yüzeyler, güneş enerjisini parabolün odağındaki, boydan boya uzanan siyah bir absorban boruya yansıtır. Orta dereceli sıcaklık koşullu uygulamalarda kullanılırlar. Güneş enerjisi bir doğru üzerinde yoğunlaştırılacağından tek boyutlu hareket ile güneşi izlemek yeterlidir. Bu sistem Şekil 1.26'da gösterilmektedir.



Şekil 1.26. Doğrusal yoğunlaştırıcılar (Livatyalı, 2011)

Noktasal yoğunlaştırıcılar, güneşi iki boyutta izleyerek noktasal yoğunlaştırma yaparlar. Daha yüksek sıcaklıklara ulaşan sistem, parabolik çanak ve merkezi alıcı olmak üzere ikiye ayrılır.

1.2.2.3. Rüzgâr türbini ve bina-rüzgâr türbini ilişkisi

Rüzgâr türbinlerinin binalarda kullanımı, bölgenin aldığı rüzgâra, binanın yüksekliğine ve türbinlerin kapasitesine bağlı olarak değişkenlik göstermekle birlikte, binanın elektrik ihtiyacının %10-15'lik bir oranını sağlayabilen binalar bulunmaktadır. Rüzgâr türbinleri, binadan bağımsız, binaya eklenmiş ve binaya entegre olmak üzere üç ana grupta incelenebilir (Yasan, 2011).

- Binadan bağımsız rüzgâr türbinleri; binadan veya yapı çevreden bağımsız olarak ele alınan uygulamalardır. Bu tip için örnek olarak rüzgâr çiftlikleri verilebilir.
- Binaya eklenmiş rüzgâr türbinleri; binaları bir nevi kule olarak kullanmaktadır. Binaya tam entegre edilmiş rüzgâr türbinlerinin tersine, bina formunu rüzgâr akış yönü ve debisini değiştirecek biçimde tam olarak kullanamamaktadır.
- Binaya entegre rüzgâr türbinlerinde esas olan, mimari tasarımın etkin ve verimli bir rüzgâr enerjisi kullanımını temel almasıdır. Bina-mesnetsiz ve bina-mesnetli olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Yasan, 2011). Bina mesnetsiz rüzgâr türbinleri, mimari tasarım bütünlüğü içerisinde olmasına karşılık, strüktürel olarak bina ile bir bağlantısı olmayan rüzgâr türbinleridir. Bina mesnetli rüzgâr türbinleri, binanın strüktürünü potansiyel rüzgârdan azami şekilde yararlanmak için kule olarak kullanan rüzgâr türbinleridir.

1.2.2.4. Jeotermal enerji kullanımı

Yapılarda jeotermal enerjinin kullanımı döşemeler aracılığı ile sağlanmaktadır. Bu amaçla kullanılan sistemler; direkt kullanım ve elektrik üretimi olmak üzere ikiye ayrılarak aşağıda belirtilmiştir (Uslusoy, 2012):

- Direkt kullanım-sıcak sudan ısı üretimi; jeotermal sıcak su kaynakları yer kabuğuna 2 mil kadar uzakta bulunmakta olup bu kaynaklar ısı sağlamak amacıyla direkt kullanılabilir. Jeotermal rezervlerin oldukları yerlere sondaj yapılarak enerji açığa çıkarılabilir. Bu durum jeotermal enerjinin direkt kullanımı olarak adlandırılmaktadır. Günümüzde seracılık, balık çiftliklerinde ve kaplıcalarda kullanımı devam etmektedir. Güncel olarak ise yapıların ısıtılması veya bir bölgenin ısıtılmasında jeotermal kaynaktan yararlanılmaktadır. Bu uygulamalar tüketilen enerji maliyetinde tasarruf sağlarken yanan fosil yakıtlar tarafından yayılan hava kirliliğinin sadece küçük bir yüzdesini üretmektedirler.
- Elektrik üretimi-yer ısısından elektrik üretimi; jeotermal enerjinin direkt olmayan kullanımı elektrik enerjisine çevrilmesiyle gerçekleştirilmektedir. Elektrik üretimi için sondaj kuyuları yer altı rezervuarlarında oluşturulmaktadır. Jeotermal alana bir kuyu açılmakta ve kuyudan alınan buharın bir jeneratörü çalıştırması sağlanmaktadır. Çoğu binalar için bir jeotermal kaynağa doğrudan ulaşım durumu olmadığı için jeotermal elektrik yeni inşaat ya da büyük yenileme projeleri için yaygın olarak kullanılan yenilenebilir enerji teknolojisi olmamaktadır. Jeotermal elektrik santralleri büyük yatırım gerektirdiği için bina ölçeğinde kullanıma imkân tanımamaktadır. Bir site, ancak mevcut bir jeotermal elektrik santrali varsa kendi elektriğini buradan satın alabilmektedir.

1.2.2.5. Isı pompaları

Bir mahaldeki ısıyı başka bir mahale enerji harcayarak aktaran sistemlerdir. Isı pompasında amaç ısı üretmek değil ısı taşımak olduğu için ısı kaynağına ihtiyaç duymaktadır. Isı pompası sistemlerinde dış hava, toprak, nehir suyu, göl suyu gibi bir ortam kış şartlarında düşük sıcaklık kaynağı olarak kullanılarak, bu ortamlardan alınan ısı, ısıtılması hedeflenen hacme aktarılır. Yaz şartlarında ise serinletilmesi hedeflenen hacimden alınan ısı yüksek sıcaklık kaynağı olarak görev yapan dış hava, toprak, nehir

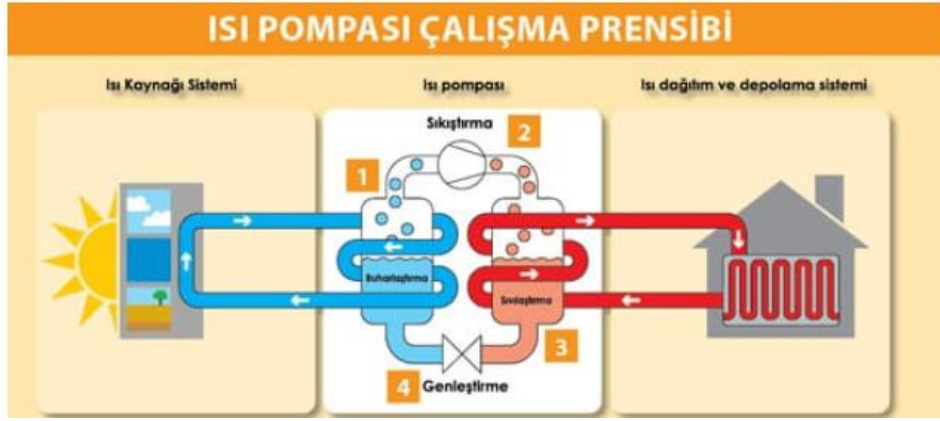
suyu, göl suyu vb. ortamlara aktarılmaktadır. Sıcaklık kaynağı olarak kullanılacak ortamın seçilmesi ise iklim şartları, coğrafik yerleşim, ilk yatırım maliyeti gibi pek çok faktöre bağlı olmaktadır. Isı pompaları kaynaklarına göre dört ana gruba ayrılır. Bunlar; toprak, hava su ve diğer kaynaklardır (Karabuğa vd., 2017).

- Toprak kaynaklı ısı pompası sistemleri; jeokütlenin ısını kullanır ve etkinlik katsayıları diğer kaynaklara göre daha yüksektir.
- Hava kaynaklı ısı pompaları; çalışma prensibi klima sistemlerine çok benzemektedir. Bu sistemlerin en büyük dezavantajı etkinlik katsayılarının düşük olmasıdır. Bunun en önemli sebebi de ısı kaynağı olarak kullanılan havanın değişken olmasıdır. Havanın günlük ve anlık değişimleri etkinlik katsayısının değişken olmasına sebep olmaktadır.
- Su kaynaklı ısı pompaları; kaynak olarak kuyu sularını, yer altı sularını, yer üstü sularını kullanır. Etkinlik katsayıları, hava kaynaklı ısı pompalarına göre yüksektir.
- Diğer kaynaklar; ısı pompalarında bunlardan başka atık sular, baca gazları, güneş enerjisi gibi çeşitli ısı kaynakları da kullanılmaktadır (Karabuğa vd., 2017).

Verimli bir sistemin COP değerleri tipik olarak 4'e eşittir, yani sisteme girilen her bir birim girdi karşılığında 4 birim enerji ortaya çıkar. En iyi ısı pompaları 6.8 COP değerine ulaşmaktadır. COP(Coefficient of Performance) olarak belirtilen etkinlik katsayısı, soğutma/ısıtma başına ürettiği enerjinin, toplam çektiği enerjiye oranı olarak tanımlanmaktadır. Isı pompaları kullanımıyla nihai enerji tüketimini %83'lere kadar azaltabilmek mümkündür (Kabakçı, 2018). Isı pompası için COP etkinlik katsayısı aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir (Çengel ve Boles, 2012);

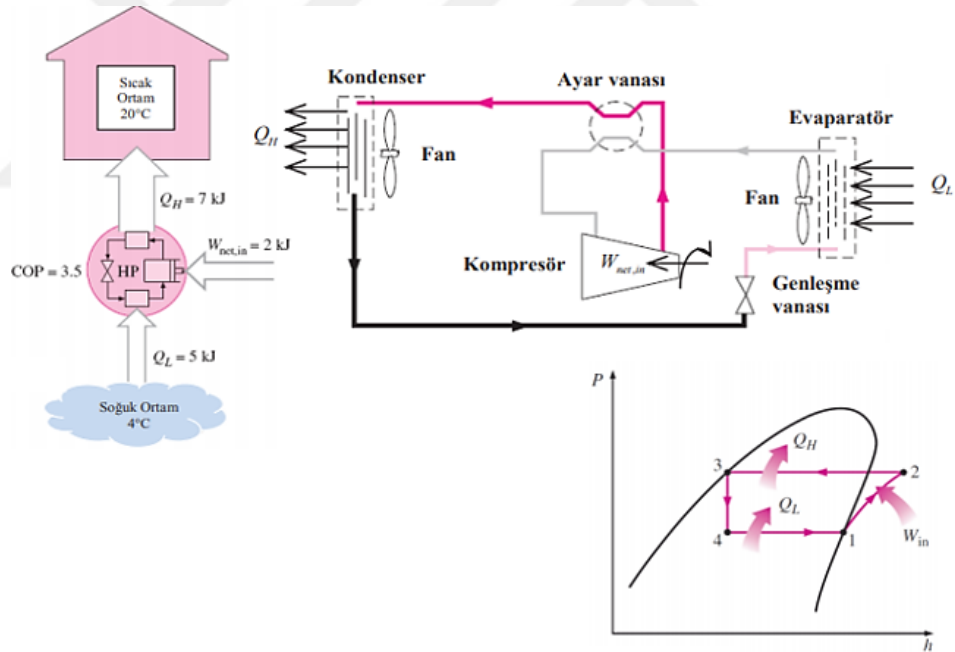
$$COP_{IP} = \frac{Q_H}{W_{net,giren}} \quad (1.8)$$

Burada, Q_H elde edilmek istenen değeri (KJ), $W_{net,giren}$ harcanması gereken değeri (KJ) temsil etmektedir. Şekil 1.27'de ısı pompaları çalışma prensibi gösterilmektedir.



Şekil 1.6. Isı pompaları çalışma prensibi (Kabakçı, 2018)

Isı pompası temelde tersine çalışan bir soğutma çevrimidir. Kondenser, genleşme vanası, evaporatör ve kompresör elemanlarından oluşmaktadır. Isı pompası çalışma prensibi ve temel elemanları ve ideal soğutma çevrimi için P-h diyagramı Şekil 1.28'de gösterilmektedir.

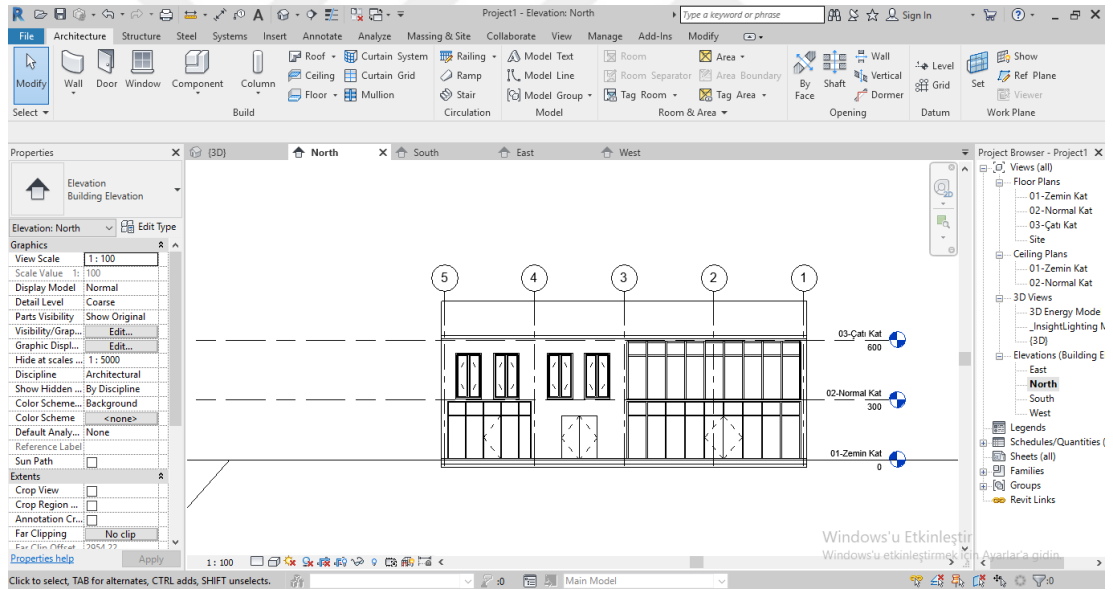


Şekil 1.28. Isı pompası çalışma prensibi ve temel elemanları ve ideal soğutma çevrimi için P-h diyagramı (Turgut ve Evgin, 2017)

1.3. Bina Bilgi Modellemesi-BIM Yazılımları

Geleneksel yöntemlerin ve bilgisayar destekli tasarım araçlarının eksiklikleri günümüzde BIM kavramının öne çıkmasına neden olmuştur. BIM, temel anlamda entegre tasarım ve proje teslim süreçlerini destekleyebilen ve mevcut bilgi teknolojileri ile

karşılaştırıldığında belirgin avantajlar sunan bir teknoloji, metodoloji ve süreçler bütünü olarak algılanmaktadır. BIM, tasarım ve uygulama aşaması da dâhil tüm yaşam döngüsü boyunca binaya karşılık gelen tüm bilgilerin üretim ve yönetim sürecinden oluşur. Aynı zamanda nesne tabanlı bir tasarım anlayışı sunmaktadır. Bu nesne tabanlı sistem, duvar, kolon, pencere gibi yapı bileşenlerinin gerçek görev ve davranışları ile model üzerinde yer almasını sağlayarak ve bu bileşenlerin birbirleri ile ilişkilendirilmelerini mümkün kılmaktadır. Modelin tüm verileri ile oluşturulmasına imkân sağlayarak, ihtiyaç duyulan metrajlar, maliyet analizleri veya gerekli diğer dökümanların oluşturulmasını ve tasarım sürecinin tüm aşamaları için projenin kontrolünü kolaylaştırmaktadır. BIM yaklaşımı, farklı disiplinlerin çalışmalarını aynı model üzerinden yürütmelerine imkân sağlamaktadır. Geliştirilen STEP ve IFC adlı uluslararası standartlar aracılığı ile nesne tabanlı çalışan bu sistemler için farklı disiplin ve uygulamalar arası minimum kayıpla veri değişimi yapılabilmektedir. Bir BIM programı olan Autodesk Revit'in arayüzü Şekil 1.29'da gösterilmiştir.



Şekil 1.29. Autodesk Revit BIM programı

Günümüzde, yapı bilgi sistemi işleyişi pek çok bilgisayar yazılımı bulunmaktadır. Autodesk Revit, Bentley Microstation, DDS-CAD, Graphisoft Archicad, IDEA Architectural, Nemetschek Allplan, Tekla Structures, VectorWorks Architect gibi yazılımlar, inşaat sektöründe çeşitli aşamalarda ve konularda tasarımcılar, mimarlar, inşaat mühendisleri, proje koordinatörleri, proje yöneticileri ve mal sahiplerinin daha doğru karar ve çözümler bulmasına yardımcı olmaktadır. Bu yazılımlardan özellikle

Autodesk Revit, Bentley Microstation, VectorWorks Architect ve ArchiCAD'in sektörde bir adım daha öne çıktıkları söylenebilir.

3 boyutlu-3D modelleme sürecinde kullanılmak üzere tam donanımlı bir bina bilgi modelleme yazılım olan Autodesk Revit yazılımında, 3D modeller oluşturmak için duvarlar, çatılar, pencereler gibi yapı bileşenleri kullanılır. Serbest formlardan yapı modelleme ve kavramsal tasarım desteği ile hızlı ve kolay geometri yaratımını destekler. Karmaşık formların oluşturulması ve yapı modeline dönüştürülmesi amacıyla yerleşik araçlar barındırır. Sınırlama, parametre atayabilme fonksiyonları sayesinde yüksek kontrol imkânı sağlayabilmektedir. Gerek tasarım aşamasında, gerekse son ürünün analizi amacıyla çeşitli araçlara sahiptir. Revit Architecture'de, her 2D veya 3D görünüş, her metraj listesi aynı bina veritabanının farklı yansımalarıdır. Kullanıcı alışık olduğu görünüşlerde çalışırken, Revit Architecture, bina için ihtiyaç duyulan tüm veriyi toplar, yapı bilgi sistemi içerisinde saklar ve projenin diğer tüm gösterimlerine yansıtır. Projenin herhangi bir bölümünde yapılan değişiklik anında tüm paftalara ve listelere yansıtılır. Autodesk Revit Architecture'un bazı özellikleri (Özcan, 2010):

- Yapıyı oluşturan nesnelere, parametrik ve stil tabanlıdır. Kullanıcı tarafından özelleştirilebilirler.
- Kavramsal tasarım, kolay geometri yaratımı, sınırlama ilişkileri ve parametreler atayabilme gibi özellikler ile yüksek seviyede kontrol ve hassaslık sağlar.
- Yazılım geliştirme arayüzü ile ileri modelleme teknikleri ve araçları geliştirilebilir. Karmaşık formüllerle yaratılacak eğrilerin kullanıldığı formlar bu formüllerde yapılacak değişiklikler ile kontrol edilebilir ve geometriler yazılım desteği ile yaratılabilir.
- Sağladığı araçlar sayesinde üreticiler, kendi ürünlerini yaratıp mimarlar, mühendisler ve tasarımcıların kullanımına sunabilirler.
- Kütle çalışması ya da karmaşık nesnelere, katı modelleme araçlarıyla yapılabilir.
- Günışığı ve yapay ışık çalışmaları yapılabilir.
- Ekip çalışmasını kolaylaştıracak araçlar sunar. Kullanıcılar projenin çeşitli bölümlerinde diğerlerinin yaptıklarını bozmadan çalışabilirler. Merkezi proje dosyasında saklanan veriler Revit tarafından koordine edilir.
- Revit modelleri, DWG formatında Autodesk VIZ'e de aktarılabilir ve görselleştirme çalışmaları Autodesk VIZ içerisinde yapılabilir.
- Revit Architecture'un yapı bilgi sistemindeki veriler, daha detaylı maliyet, planlama, vb. işler için ODBC(Open Database Connectivity) uyumlu veri tabanlarına aktarılabilir.

- DWG, DXF ve DGN formatlarını ve ACIS katılarını destekler.

1.3.1. Bina enerji modellemesi-BEM

BIM'in başka bir özelliği olan BEM, enerji analizini binaların tasarım, inşa, kullanım ve bakım süreçleri ile bütünleştirir. Binayı bütüncül bir şekilde ele alan bu programlar kullanıcıya, tasarlanan binanın gerçekte ne kadar enerji etkin olduğunu ya da olacağını, nicel verilerle gösterebilmektedir. Bina Enerji Modellemesi-BEM önceden belirlenmiş bina kompozisyon ve kullanımını tanımlayan kriterlerin simülasyonu yoluyla bina enerji performansının analizidir (Gerrish vd., 2017). Bina enerji analizine yönelik simülasyon araçları arasında; DOE-2, EQUEST, EnergyPlus, Autodesk ECOTECH, DesignBuilder, Autodesk Green Building Studio(GBS) ve Autodesk Insight 360 gibi programlar vardır.

1.3.1.1. Autodesk Green Building Studio(GBS)

Green Building Studio(GBS), enerji simülasyonu için DOE-2 motorunu kullanan web tabanlı bir uygulamadır. Bir binanın enerji kullanımı, karbon ayak izi, su kullanımı, malzeme maliyetleri ve daha fazlası hakkında bilgi sağlar. Tasarım alternatifleri hızlı tasarım kararları için yan yana karşılaştırılabilir. Bina parametreleri, çoğu diğer Bina Enerji Simülasyon-BES programlarından daha basit olan web tabanlı bir arayüzde değiştirilebilir (Douglass, 2010).

Entegre bir şekilde birlikte çalışabilirliğin anahtarı, GBS ve Revit uygulaması arasında bilgilerin geçmesine izin veren açık bir IT köprüsü olan gbXML formatı ile sergilenmesidir. Analizi yapılması istenen modelde parametre tanımlaması yapılmamışsa, GBS simülasyon için gerekli minimum bilgiyi içeren bir enerji modeli oluşturmak için varsayılan bir değer kullanır. Bu akıllı değerler bina tipine, büyüklüğüne ve konumuna uygundur. Bu varsayılanlar öncelikle ASHRAE 90.1, ASHRAE 90.2, ASHRAE 62.1 ve CBECS verilerine dayanır ve bina tipi, konumu, boyutu ve kat sayısı ile değişir. Tipik bir bütüncül bina enerji analizinde, bir bina için 50'den fazla farklı parametre alternatifine bakılmakta bu da oldukça zaman alan bir süreç oluşturmaktadır. GBS, çeşitli bina özelliklerini otomatik olarak test eder ve potansiyel enerji tasarrufu çizelgesi ile enerji kullanımında hangi varyasyonların en büyük etkiyi yaratacağı konusunda açık bir rehberlik sağlar. Tüm bu işlemler bulutta, manuel olarak yapılması gereken yaklaşık bir sürede tamamlanır. GBS'nin Revit modelleme ortamı ile sıkı entegrasyonu, çoğu tasarımcı, mimar ve mühendisin yeni ve güçlendirilmiş binaları tasarlamak için

kullandığı araçlarla analizi kolaylaştırmaktadır. Revit Enerji Analizi, Autodesk Revit 2014 ve sonrasında, ayrıntılı mimari modellerden, geçerli bir Enerji Analitik Modelini sorunsuz bir şekilde oluşturmakta ve yapı elemanlarının termal özelliklerini içermektedir. Simülasyon bittikten sonra, Revit veya Vasari'deki modeldeki "Results and Compare" penceresinden enerji ve karbon sonuçları görüntülenmekte ve karşılaştırmalar yapılabilmektedir. Sonuçlara göre modeldeki enerji ayarları ve parametreler değiştirebilmektedir (Mousiadis ve Mengana, 2016).

GBS web tabanlı hizmeti binanın büyüklüğüne, tipine ve lokasyonuna göre (elektrik ve su kullanım maliyetlerini yönlendiren) akıllıca varsayımlar yapmak için bölgesel yapı standartları ve kodları kullanarak uygun malzeme, inşaat, sistem ve ekipman varsayımlarını belirler. Basit açılan menüleri kullanarak, tasarımcılar, tasarımlarının belirli özelliklerini tanımlamak için bu ayarlardan herhangi birini hızlıca değiştirebilir. Örneğin; farklı bir bina yönlendirmesi, daha düşük bir U değeri olan pencere camı veya 4 borulu bir fan coil HVAC sistemi vb.leri gibi (Moakher ve Pimplikar, 2012).

1.3.1.2. Autodesk Insight

Autodesk Insight, Autodesk Revit ile entegre olmuş bir şekilde çalışan, web tabanlı bir enerji performans analiz platformudur. Bu platform, enerji simülasyonlarını oluşturmada, EnergyPlus programını kullanır. Autodesk Insight platformunun kullanılabilmesi için, tasarım modelinin Autodesk Revit'te oluşturulması ve enerji simülasyonu yapmak üzere, enerji ayarlarının tanımlanması gerekmektedir. Model, tanımlanan değerler sonrasında simülasyonun oluşumu için Autodesk Insight'a yönlendirilir ve simülasyon sonucu çevrimiçi bir şekilde web sitesi üzerinden değerlendirilip, belli hedefler doğrultusunda alternatif tasarım senaryoları oluşturulabilir. Platform bünyesinde değiştirilen her tasarım parametresi için kullanıcı, enerji maliyet, tüketim ilişkisi için anlık geri bildirimleri görebilmektedir. Autodesk Insight, enerji simülasyonlarını $\pm\% 10$ 'luk doğruluk payı ile oluşturur. Bunun yanında tasarımcıya enerji başlığı için hızlı ve uygulamaya yönelik karar verme olanağı sunar.

Giriş başlığı altında enerji etkin tasarım parametreleri; kullanıcıya, dış çevreye ve binaya ilişkin parametreler olmak üzere üçe ayrılarak incelenmiştir. Pasif ve aktif sistemler olmak üzere enerji etkin sistemler belirtilerek yapılarda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda, belirlenen enerji etkin tasarım parametreleri ve enerji etkin sistemler ışığında uygulama örneği üzerinden

enerji etkin bina tasarımı 3.bölümde modellenmiştir. Modellemede pek çok parametreden sadece en çok etki edenler incelenmiş ve program kısıtlamalarıyla hareket ederek çalışılmak zorunda kalınmıştır. Çalışma kapsamında belirtilen parametreler doğrultusunda oluşturulan modelin BIM süreci için Autodesk Revit programı kullanılmıştır. Bina enerji performans analizlerinin yapılması ve tasarım alternatiflerinin değerlendirilmesinde ise yukarıda belirtilen sebeplerle kullanımının günden güne yaygınlaşması beklenen GBS yazılımı kullanılmıştır. Aynı zamanda enerji etkin bina özelinde, uygun tasarım kararlarının alınmasında yol gösterici olarak Autodesk Insight yazılımından yararlanılmıştır.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

Douglass (2010)'ın tez çalışmasında BIM kullanarak bina enerji analizi yapmayı amaçlamıştır. Model oluşturmak için Autodesk Revit Architecture 2011 seçilmiştir. Revit, hem yukarıdan aşağıya hem de aşağıdan yukarıya inşa stratejileri için araçlar sağlamakta ve dış enerji analizi amacıyla bina verilerinin elde edilmesini sağlamaktadır. Enerji analizi için Ecotect 2011 ve Design Builder(sürüm 2.2) kullanılmıştır. Simülasyon sonuçları, en iyi durum ve en kötü durumda pasif güneş tasarım stratejileri arasında ısıtma ve soğutma enerjisinde %15'lik bir fark gösterdiği gözlemlenmiştir. Uygun maliyetli tasarım alternatiflerini göstermek için Enerji Koruma Önlemlerinin(ECM's) parametrik bir çalışması gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, 10 yıllık bir zaman dilimi için temel tasarıma kıyasla %21'lik bir enerji tasarrufu olduğu gözlemlenmiştir.

Zerefos vd. (2012)'nin çalışmasında poligonal ve prizmatik yüzeylere sahip olan ve Akdeniz iklimlerinde yer alan binaların enerji tüketimindeki hareketler incelenmektedir. Daha spesifik olarak bu çalışmada poligonal ve prizmatik binaların enerji tüketimindeki farklılıkları, dik açılı bina yüzeyleriyle karşılaştırmak amaçlanmaktadır. Bu amaçla iki farklı versiyonda modern bir bina seçilip modellenmiştir. Biri orijinal prizmatik form, diğeri ise dik açılı formdadır. Hesaplamalar, prizmatik biçimlendirilmiş binanın, ortogonal karşılığına kıyasla daha düşük güneş kazançlarına sahip olduğunu ve yıllık bir döngüde daha az enerji tükettiğini ortaya koymaktadır. Sonuçlar, prizmatik bina yüzeyi lehine ortalama %7,88'lik yıllık enerji tüketimi farkını göstermektedir. Ayrıca, çalışmaya bağlı olarak, yıllık enerji ihtiyaçlarındaki farkın %2.51 ile %16,01 arasında değişmekte olduğu sonucuna varılmıştır.

Gil-Lopez ve Gimenez-Molina (2013)'nın çalışmalarının temel amacı kapalı alanlarda daha verimli bir ısı kontrolü sağlamaktır. Bu amaçla, sirkülasyonlu su haznesiyle aktif çift camlama konusunda kapsamlı bir çalışma yapmışlardır. Isıtma ve soğutma için sadece enerji tüketimi değil, aynı zamanda binadaki sıcak su üretiminin katkısı da incelenmiştir. Önerilen tesisin yerleşimi, herhangi bir ek enerji kaynağına ihtiyaç duyulmadan, yapım aşamasında veya yenilenen her türlü binaya entegrasyonu kolaylaştırmaktadır. Sirkülasyonlu su hazneli çift camda, bir termal güneş enerjisi toplayıcı olarak çalışır, yani geleneksel güneş kolektörlerinin yüzey alanı azaltılabilmektedir. İncelenen tesiste ise geleneksel güneş panellerinin, yüzey alanını 16.80 m² azalttığı görülmüştür. Bu da tahmini %90.25 tasarruf anlamına gelmektedir. Bu

çalışma sirkülasyonlu su hazneli çift camlı çözümün şu anda kullanılan sistemlerden daha az kirlenici ve daha verimli bir seçenek olduğunu göstermektedir.

Schulze ve Eiker (2013), çalışmalarında farklı kontrollü doğal havalandırma tasarımlarının potansiyel enerji tasarrufu, iç ortam hava kalitesi ve ısı konfor performansı geliştirilen metodolojiye göre değerlendirilmiştir. Soğutma enerjisi korunumu için kontrol edilen doğal havalandırma ve mekanik havalandırma karşılaştırılmıştır. Simülasyon çıktısı, iyi tasarlanmış doğal havalandırma sistemlerinin, Stuttgart, Torino ve İstanbul'un üç konumu için yılda 13 ila 44 kWh/m² soğutma enerjisi tasarrufu sağladığını göstermiştir. Mekanik havalandırmanın elektrik enerjisindeki tasarrufunun ise yılda yaklaşık 4 kWh/m² olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, odaların aşırı soğutulmasını önlemek ve ısıtma mevsiminde yeterince temiz hava sağlamak için açıklıkların kontrol edilmesinin gerekli olduğu sonucuna varılmıştır.

Abanda ve Byers (2016)'ın çalışması küçük ölçekli yapılarda enerji tüketimine yönelimin etkisini araştırmakta ve bu süreci kolaylaştırmak için BIM'in nasıl kullanılabileceğini değerlendirmektedir. Uygulamada bina, önde gelen BIM araçlarından biri olan Revit kullanılarak modellenmiştir. Yeşil bina uygulamalarında önde gelen enerji simülasyon yazılımlarından biri olan Green Building Studio kullanılmıştır. Green Building Studio' da, farklı bina yönelimleri benimsenmiş ve tüm bina enerjisinin etkileri araştırılmıştır. Farklı yönelimlere karşılık gelen enerji tüketiminin analizine dayanarak, iyi yönlendirilmiş bir yapının yaşam döngüsü boyunca hatırı sayılır miktarda enerji tasarrufu sağlayabileceğini gözlemlemişlerdir. Özellikle, 17.056 kWh'lik toplam elektrik kullanım farkı ve 27.988 MJ'luk toplam gaz kullanım farkı, en iyi (+180°) ve en kötü (+45°) yönelimler arasındaki 30 yıllık süre boyunca 878£ değerinde birleşik enerji maliyet tasarrufu sağlayan bina elde edilmiştir.

Aljundi vd. (2016)'nin çalışmasında BIM tabanlı simülasyonlar (Revit yazılımı ve Green Building Studio Autodesk) ile enerji analizinin güvenilirliği ve esnekliği ile ilgili sonuçların yanı sıra EnergyPlus sonuçları ve ölçümleriyle karşılaştırıldığında bu BIM araçlarının avantajları ve dezavantajları ile ilgili sonuçlar gösterilmektedir. Bu araçlar iyi yalıtılmış bir test hücresinin ısı ve enerji performansını incelemek aynı zamanda avantaj ve dezavantajlarını ortaya çıkarmak için termal kütle ve yalıtım kalınlığındaki değişimin etkisini incelemek için kullanılmıştır. Bu BIM araçlarının, tasarımcıların projenin tüm yaşam döngüsü için farklı tasarım alternatiflerini kolaylıkla deneyebilecekleri, son tasarım çözümlerini uygulamaya başlamadan önce, zamandan ve paradan tasarruf

sağlamanın yanı sıra, daha enerji verimli binaların elde edilmesine katkıda bulunulduğu sonucuna varıldı.

Kim vd. (2016)'nin çalışması, bir aile evi üzerinde yapılan vaka çalışmasıyla enerji analizi yapmayı amaçlamaktadır. Bu amaçla pencere büyüklüğü, konumu ve yönüne göre değişen 65 farklı tasarım senaryosu gerçekleştirilmiştir. Autodesk Revit ile her senaryo için bina bilgi modelleri(BIM'ler) oluşturulmuş ve Autodesk Green Building Studio toplam enerji yükünün hesaplanmasında kullanılmıştır. İlk analiz aşamasında, enerji yükü üzerindeki etkilerini değerlendirmek için pencere-duvar oranı(WWR, window to wall ratio) ve pencerenin konumu incelenmiştir. Bu aşamadaki ön sonuçlar, WWR büyüdüğünde toplam enerji yükünün arttığını ve WWR'nin pencerenin pozisyonunun yük üzerinde en büyük etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar kullanılarak farklı yönlerde bulunan pencerelerin konumu, enerji yükünün her bir yönelimdeki pencere konumu ile nasıl değiştiğini değerlendirmek için incelenmiştir. Sonuçlar, pencerelerin tüm yönlerde orta yükseklikte konumlandırılması durumunda binanın en düşük enerji yükü sağladığı ve doğu penceresinin konumlandırılmasının en fazla toplam enerji yükü sağladığını göstermektedir. Varyasyon, bu binada 30 kWh olan toplam enerjinin %1'i olarak hesaplanmış, ancak daha büyük ölçekli binaya uygulandığında bu oranın daha da artacağı gözlemlenmiştir.

Mujeebu vd. (2016)'nin çalışmalarında geleneksel strafor yalıtımı, nano VIP(vakumlu izole kaplama) ve nanojel cam ile çift camın yerini alarak Suudi Arabistan'daki bir prototip ofis binasının enerji performansı üzerine bir simülasyon çalışması sunmaktadır. Bina modeli Autodesk Revit(sürüm 2015)'de inşa edilmiş ve enerji simülasyonu Dhahran'ın hava durumu verileri kullanılarak ECOTECH yazılımı(versiyon 2011) tarafından yapılmıştır. Duvarlarda ve çatılarda strafor yalıtımı ve temel olarak çift camlı pencereler göz önünde bulundurulduğunda, tek tek ve pencere, duvar ve çatı kombinasyonlarında nanojel ve nano VIP kullanılmıştır. Sonuçlar, temel duruma kıyasla, pencerelerdeki nano VIP duvarların ve çatının ve nanojel camlarının, binanın yıllık enerji tüketiminin yaklaşık %18'ini azaltabildiğini göstermiş ve burada nanojelin katkısı tek başına %16 olduğu gözlemlenmiştir. Duyarlılık analizi, nanojel camın enerji tasarrufu potansiyelinin istenen ısı bandına duyarlı olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Sorgato vd. (2016)'nin çalışmasındaki amaç Brezilya'da bulunan konutlarda HVAC sistemine bağlı enerji tüketimi üzerindeki pencere açma havalandırma kontrolü ve bina ısı kütlesi ile ilgili etkililiğini değerlendirmektir. Çalışmanın odak noktası, farklı doğal

havalandırma senaryolarını analiz etmektir. Bir HVAC sisteminin ve doğal havalandırmanın bir arada kullanımı, EnergyPlus programında gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, orta termal kapasiteye sahip binaların, uygun bir bina havalandırma kontrolü kullanıldıkları için, kullanıcılar için termal rahatlık sağlamada daha büyük bir potansiyele sahip olduklarını göstermektedir. Düşük termal geçirgenliğe ve orta termal kapasiteye sahip durumlarda, soğutmada enerji tüketimi %32 oranında azalmıştır. Aynı zamanda, HVAC sistemi için enerji tüketiminde azımsanmayacak oranda azalma sağlayarak, orta termal durağanlık ile birleştirilmiş otomatik havalandırma kontrolü uygun bina havalandırması sağlanmıştır.

Buratti vd. (2017), enerji tasarrufu için granüler silis arojel yüksek enerji verimli pencerelerin potansiyelini ele almaktadır. İki çeşit granüler silis arojel ve farklı cam tabakaları göz önüne alınarak cam sistemleri incelenmiştir. Örneklerin termal geçirgenliği ve optik özellikleri, bina simülasyonlarında ölçülmüş ve kullanılmıştır. Isı transferi üzerindeki arojel etkisi ölçüldüğünde 1.0-1.1 W/(m²K) termal geçişe izin vermektedir. Ara boşlukta granüler arojel sadece 15 mm kalınlığındadır. Geleneksel pencerelere kıyasla U-değerinde %63'lük bir azalma, ışık geçirgenliğinde ise %30 azalma elde edilmiştir. Farklı iklim koşullarında(sıcak, ılımlı ve soğuk) yapılan bir vaka çalışması için enerji simülasyonları, silis arojel cam sistemlerinde, geleneksel olanlara kıyasla hem ısınma hem de soğutma için enerji talebinde azalma olduğunu göstermiştir. Yeni camlar, sıcak iklim koşullarında, düşük U değerleri ve toplam güneş geçirgenliği sayesinde kullanıma uygun olduğu vurgulanmıştır.

Chel ve Kaushik (2017), sürdürülebilirlik için yenilenebilir enerji teknolojileri ve enerji verimli bina gelişimi hakkında çözüm ve öneriler sunmuşlardır. Söz konusu çözüm ve önerilerin ekonomik ve çevresel etkileri ile birlikte kısaca tartışılmıştır. İlk bakış, günışığının uygun bir şekilde tasarlanması, gündüz saatlerinde yapay ışıkların kullanımında muazzam bir azalmaya yol açabilir ve böylece aydınlatma için bina tarafından enerji tüketimini azaltır. Bu nedenle, güneş pasif özelliklerinin binaya entegrasyonu, binanın enerji tüketiminde azalmaya yol açmakta ve bu sayede CO₂ emisyonlarını azaltmakta ve sürdürülebilir kalkınmaya yardımcı olmaktadır. İkinci bakış binanın inşasında enerji girişini önlemek ve böylece inşaat sektöründeki CO₂ emisyonunu azaltmak için bina yapımına yönelik düşük yapılandırılmış enerji ve mevcut yapı malzemelerinin kullanılmasıdır. Son olarak, fosil yakıtlardan elde edilen enerjiyi kullanan binanın enerji tüketimini azaltmaktır. Bu nedenle, uygun bir alternatif olarak,

bina enerji gereksinimlerinin karşılanmasında yenilenebilir enerji teknolojisinin desteklenmesi üzerinde durulmaktadır.

Rocha (2017)'nin tez çalışmasında model bittiğinde analizi yürütmekten çok, tüm tasarım süreci boyunca bina enerji analizinin kullanılmasının önemi vurgulanmaktadır. Mimarlar Generative Design kullanarak çok sayıda farklı tasarım seçeneğini kısa sürede keşfedebilir ve mevcut bulunan tüm enerji analiz araçlarını kullanarak bütün seçenekleri analiz edebilir ve karşılaştırabilir. Mevcut çalışmada, bir model oluşturma aracı olan Rosetta'yı, bir model görselleştirme aracı olarak Autodesk Revit'i ve bir enerji analiz aracı olarak Autodesk Insight 360 kullanılmıştır. Bu vaka çalışmasından çoklu tasarım varyasyonları üretmek için Generative Design kullanılarak bir iş akış tasarımı önerilmiştir. Insight 360'dan alınan sonuçlar daha sonra bu tasarımı geliştirmek için kullanılmıştır. Çalışma zamandan tasarruf etmenin yanı sıra, mimarlar için yeni bir seçenek yelpazesi de sunmakta, iyi bir sonuca ulaşılmasına yardımcı olmaktadır.

Shivsharan vd. (2017)'nin çalışmasında binaların enerji analiz değerlemesini yapmak için BIM kullanılmıştır. Bu modeller binanın enerji tüketiminin takip edilmesine ve incelenmesine yardımcı olacaktır. Herhangi bir değişiklik, enerji giderlerinden tasarruf etme veya enerji israfından kaçınma adımları bu modellerin sonuçlarından yararlanılarak yapılabilir. Bu amaçla, Autodesk Revit Yazılımı ve bir BIM yazılımı, yani bulut tabanlı bir enerji analiz programı olan Green Building Studio kullanılmaktadır. Autodesk Revit ile GBS'nin değerlendirilmesi ve incelenmesi amacıyla bir konutun vaka çalışması kullanılmıştır. Vaka çalışması Hindistan'daki gerçek konut projesini(G+9) içeriyordu. Çalışma sonunda BIM tabanlı tasarım ve dokümantasyon sisteminin, tasarım ve bina performansını iyileştirmek için kullanılacak bilgi türlerini sunmak için ideal olduğu söylenebilir. Revit Architecture, güneşi ve güneş enerjisi erişimi gibi çok karmaşık bir tasarım sürecini kolaylaştırmakta ve dokümantasyon setindeki bilgileri yakalayıp koordine ederken, materyallerin kaldırılması gibi ağır işleri otomatikleştirerek kolaylaştırmaktadır.

Zoroğlu (2017)'nin çalışmasında enerji etkin tasarımda tasarım aşamasında alınacak kararların önemini vurgulanması ve iklim tipine göre enerji etkin tasarım parametrelerinin etkinliğinin araştırılması amacıyla gerçekleştirilmiştir. Ilımlı nemli İstanbul ilinde bulunduğu varsayılarak, çevresel faktörlere göre tasarlanan yapı, farklı iklim tiplerinde olan, ılımlı kuru Ankara ve soğuk Erzurum illerinde bulunması durumunda tükettiği enerji miktarındaki değişim ele alınmıştır. Çalışma simülasyon

programı aracılığıyla yürütülmüş ve tasarımda aktif ve pasif yöntemlerin etkinliği vurgulanmak istendiği için maliyet analizi yapılmamıştır. EnergyPlus benzetim programına verilerin girilmesiyle üç ilde ayrı ayrı hesaplamalar yapılmıştır. Tasarımda toplam enerji tüketiminde İstanbul ilinde %76, Ankara ve Erzurum illerinde %65'lere varan iyileşme sağlanabildiği görülmüştür. Çalışmanın sonucunda iklim koşulları gibi çevresel faktörler değerlendirilerek tasarım yapılması enerji tüketiminin azalmasını sağlayacak ve gün geçtikçe artan çevre kirliliğinin azaltılabileceği öngörülmüştür.

Şahin Çağlı (2018)'nin tez çalışmasında iki yaklaşımdan bahsedilmiştir. İlk yaklaşım, iki çok katlı konut projesinin dinamik enerji simülasyonu ile tasarımının iyileştirilerek, sıcak iklim bölgesi Adana'da enerji verimliliği elde edilmesidir. Energy Plus tabanlı Design Builder yazılımında, iki binanın enerji tüketimleri test edilerek, tasarım zenginleştirilmeye ve geliştirilmeye çalışıldı. Çevre bina gölgeleme hesaplarına göre yönlenme, optimum yapı bileşenlerinin ve yalıtım malzemelerinin seçimi, saydam alanların minimize edilmesi ile soğutma yükü, 95.000kWh' den 78.751kWh' e azaltılarak, yaklaşık %17 enerji kazancı sağlandı. \$13.350 olan enerji tüketim maliyeti \$11.070'a çekildi. İkinci yaklaşımda ise ulusal enerji analiz yazılımı Bep-TR'de Enerji Kimlik Belgesi oluşturulmasıdır. Soğutma yükünün fazla ve soğutma enerji sınıfının düşük olmasına rağmen, yönetmeliğe göre, tüm elektrik tüketimi ve karbon salınımının toplamdaki enerji sınıfı geçerli olmuştur. Sürdürülebilirlik ve enerji etkinliği için; uluslararası tasarım teknik ve teknolojilerinin pratiğe dâhil edilmesi, ulusal yasa ve yönetmeliklerin standartlar olarak her bir fiziki koşula göre ayrı ayrı tanımlanması, etkili uygulamaların finansal teşviklerle desteklenmesi önerilmiştir.

3. UYGULAMA ÜZERİNDEN ENERJİ ETKİN BİNA TASARIM MODELİ

Çalışmanın bu bölümünde belirlenen enerji etkin tasarım parametreleri ve enerji etkin sistemler ışığında sıcak-nemli iklim tipi için bir uygulama örneği üzerinden enerji etkin bina tasarımı modellenmiştir. Model kapsamında, enerji etkin tasarlanan alternatifleri ile enerji tüketim miktarlarının karşılaştırılması ve enerji etkin tasarlanan binanın enerji tüketim miktarında sağladığı tasarruf oranının vurgulanması amacıyla, bir binanın enerji gereksinimini ülkemiz mevcut yönetmelik ve standartları açısından minimum düzeyde karşılayan bir referans bina oluşturulmuştur. Referans bina üzerinden, binanın enerji performansını etkileyecek parametrelerin farklı alternatifleri arasından, elektrik ve yakıt tüketimini minimuma indirecek kombinasyon oluşturularak enerji etkin bina oluşturulmuştur. Referans bina ve enerji etkin bina enerji tüketim miktarları karşılaştırılarak sağlanacak tasarruf oranı belirlenmiştir. Binanın modellenmesi, Revit yazılımı aracılığı ile yapılmış ve model BIM sürecine dâhil edilmiştir. Binanın enerji performans analizlerinin yapılması ve tasarım alternatiflerinin değerlendirilmesi için, Revit'in web tabanlı enerji modelleme yazılımlarından GBS-Green Building kullanılarak BEM süreci tamamlanmıştır. Enerji etkin bina özelinde, uygun tasarım kararlarının alınmasında yol gösterici olarak Autodesk Insight yazılımından da yararlanılmıştır. GBS'nin ürettiği tasarım alternatifleri arasından, enerji etkinliği açısından optimum kombinasyon oluşturulmuştur. Bu kombinasyon GBS'nin yapısında bulunan sınırlamalar çerçevesinde oluşturulmuş ve yazılım çerçevesinde bir değerlendirme yapılmıştır. GBS'nin parametre bazında sunduğu tasarım alternatifleri arasından, optimum kombinasyonun oluşturulmasında; optimum enerji performansı ve ülkemiz sınırları içinde temin edilebilecek materyal kullanımı bulunan alternatiflerin tercih edilmesi ekseninde hareket edilmiştir.

Çalışmada referans binaya, enerji etkin tasarım kararları uygulanıp GBS yazılımının oluşturduğu alternatifler arasından optimum enerji kullanımını sağlayan kombinasyon oluşturulurken sabit tutulan parametreler;

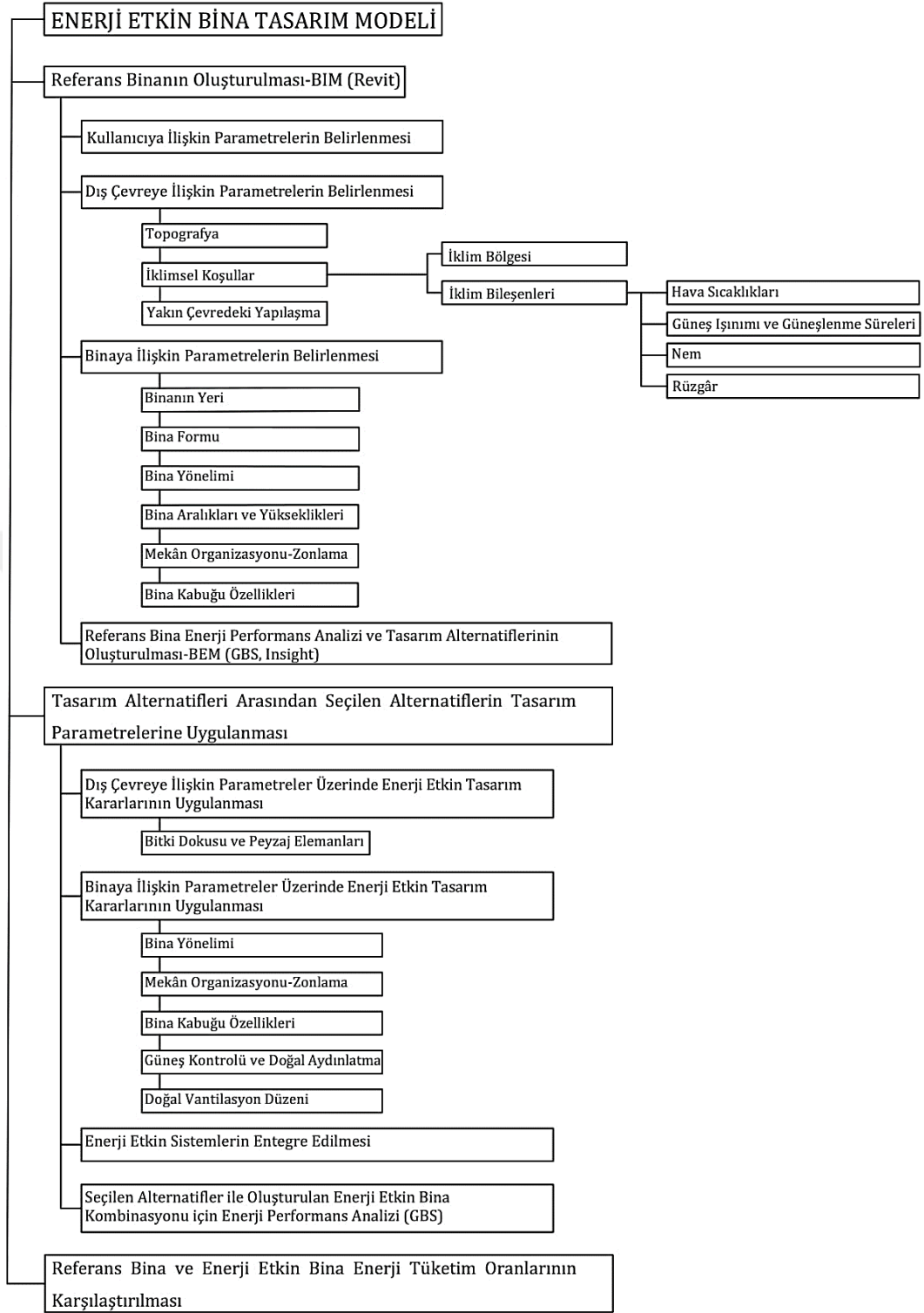
- Referans binanın kullanıcıya ilişkin parametreleri,
- Bitki dokusu ve peyzaj elemanları hariç dış çevreye ilişkin parametreleri
- Binaya ilişkin parametreleri arasından binanın yeri, binanın formu, bina aralıkları ve yükseklikleridir.

Dolayısıyla sabit tutulan parametreler dışında, aşağıda belirtilen parametreler için farklı alternatifler üzerinden enerji etkin bina tasarımı oluşturulmuştur;

- Binaya ilişkin parametrelerden bina yönelimi, mekân organizasyonu-zonlama, bina kabuğu özellikleri, güneş kontrolü ve doğal aydınlatma, doğal vantilasyon düzeni,
- Enerji etkin sistemlerin entegre edilmesi.
- Dış çevreye ilişkin parametrelerden bitki dokusu ve peyzaj elemanları parametresi için iklim tipine uygun tasarım kararları belirtilmiştir,

Enerji etkin bina tasarım modelinin akış şeması Şekil 3.1’de yer almaktadır.





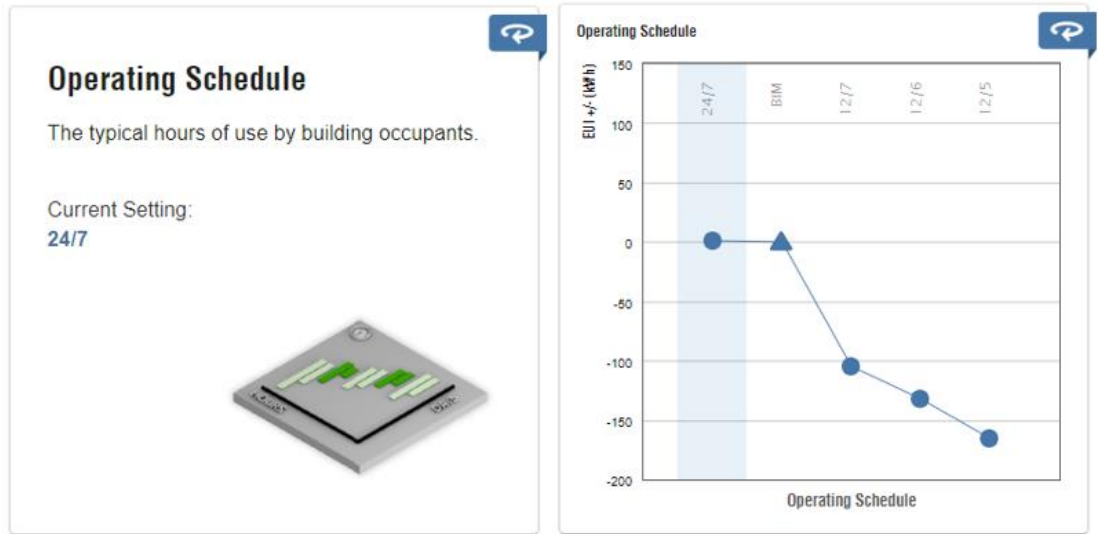
Şekil 3.1. Enerji Etkin Bina Tasarım Modeli Akış Şeması

3.1. Referans Binaya İlişkin Özelliklerin Belirlenmesi

Bu bölümde, modelin uygulanacağı ve enerji tüketim miktarı, enerji etkin tasarım kararları ışığında oluşturulacak alternatifi ile karşılaştırılacak olan referans binaya ilişkin özellikler belirlenmiştir.

3.1.1. Kullanıcıya ilişkin parametrelerin belirlenmesi

Referans bina fonksiyonu konut, kullanıcı sayısı 2 kişi olacak şekilde, çekirdek aile kullanımına yönelik tasarlanmıştır. Mekanın kullanım periyodu 7/24 olacak şekilde belirlenmiştir. Enerji tüketim miktarı hesaplanırken, bilgisayar, aydınlatma gibi gereçlerin neden olduğu enerji tüketim miktarları da hesaplara katılmıştır. Şekil 3.2’de Insight yazılımı üzerinden seçilen referans bina kullanım periyodu grafiği gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Referans bina kullanım periyodu grafiği

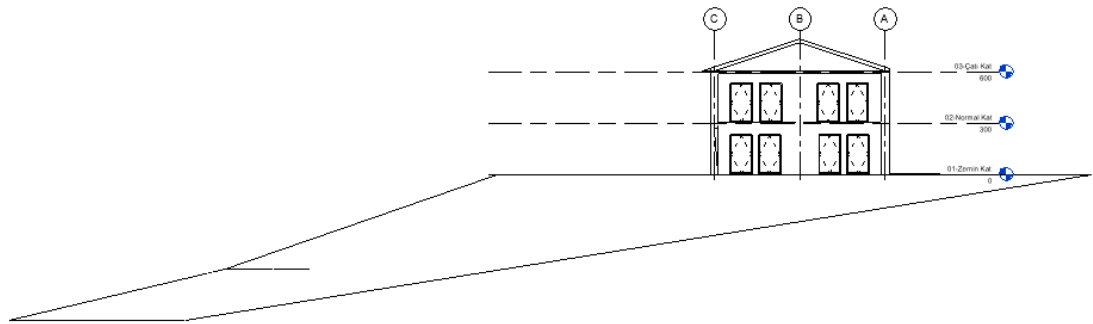
3.1.2. Dış çevreye ilişkin parametrelerin belirlenmesi

Referans bina konumunun dış çevreye ilişkin parametreleri; topografya, iklimsel koşullar, bitki dokusu ve peyzaj elemanları ve yakın çevredeki yapılaşma parametreleri üzerinden belirlenmektedir. Bununla birlikte referans bina için, Antalya ilinde varsayımsal bir konum oluşturulmuş ve diğer binalar veya engeller tarafından gölgelenmediği kabulü ile hareket edilmiştir. Bu sebepler yakın çevredeki yapılaşma

parametresine değinilmemiştir. Bitki dokusu ve peyzaj elemanları parametresine ise enerji etkin tasarım kararlarının uygulanması sürecinde değinilmiştir.

3.1.2.1. Topografya

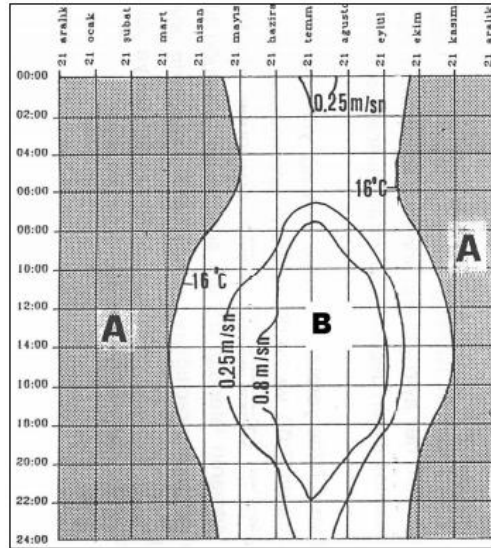
Referans bina, Antalya ilinde arazinin topografik özellikleri varsayımsal bir şekilde oluşturulmuş bir topografyada tasarlanmıştır. Topografik özellikleri belirlenen arazinin tepe noktasına yerleştirilmiş referans binanın doğu görünüşü Şekil 3.3'de gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Referans bina doğu görünüşü

3.1.2.2. İklimsel koşullar

Dış çevresel iklim koşulları için referans binanın konumlu olduğu il olan Antalya'nın iklim verileri kullanılmıştır. Antalya ili için yapma ısıtmanın istendiği dönem(A) taralı bölge, istenmediği dönem(B) beyaz bölge olarak Şekil 3.4'te gösterilmektedir. B ile gösterilen alan yapma soğutma sistemlerine ihtiyaç duyulan dönem olarak belirlenmiştir. Soğutmanın istendiği dönem(sıcak dönem) soğutmanın istenmediği dönemden daha uzun(8 ay) sürmektedir. Dolayısıyla enerji etkinliğinin sağlanması açısından bina kabuğunun termofiziksel özelliklerinin soğutma mevsiminin ihtiyaçlarına uygun belirlenmesi gerekmektedir.

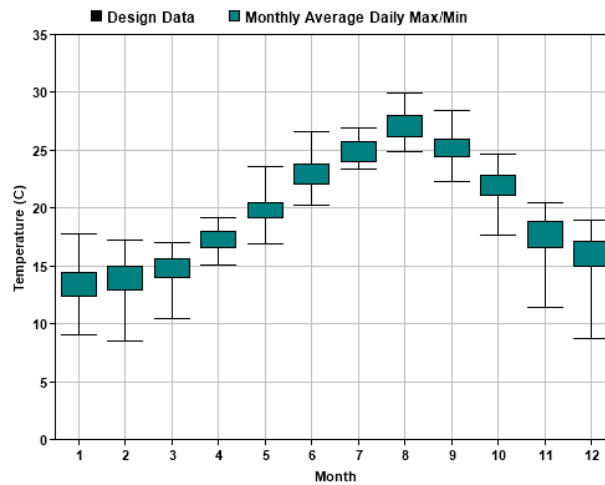


Şekil 3.4. Antalya ili için soğutmanın istendiği(B) ve istenmediği(A) dönem (Erkmen ve Gedik, 2007)

İklim bölgesi; tasarlanan referans bina, soğutma enerjisi tüketiminin ısıtmaya göre daha önemli olduğu sıcak-nemli iklim sınıfında yer alan Antalya ilinde yer almaktadır.

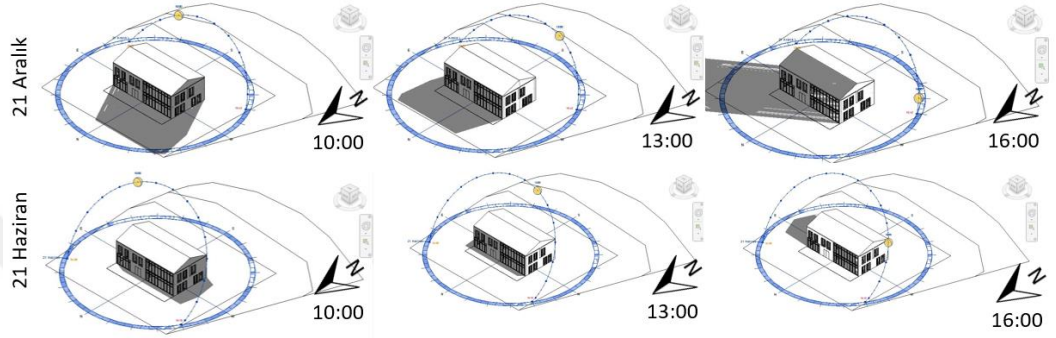
İklim bileşenleri; hava sıcaklıkları, güneş ışınımı ve güneşlenme süreleri, nem ve rüzgârdan oluşmaktadır. Bu bileşenlere dair analizler aşağıdaki gibidir:

- Hava sıcaklıkları; Antalya iklim özellikleri verilerine göre GBS tarafından oluşturulan hava sıcaklık analizlerinde görüldüğü gibi, için ortalama en yüksek sıcaklığın yaşandığı ay Ağustos, en düşük sıcaklığın yaşandığı ay ise Ocak'tır (Şekil 3.5).

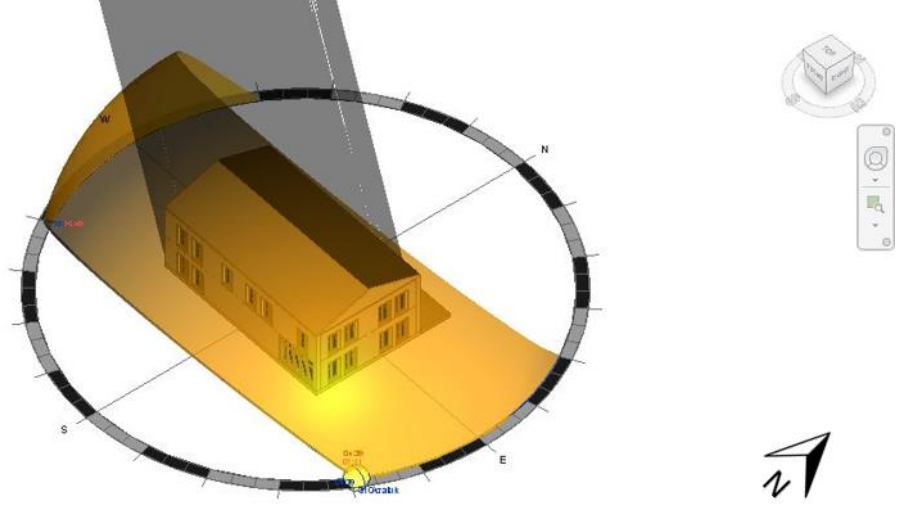


Şekil 3.5. Aylık tasarım koşulları-sıcaklık grafiği

- Güneş ışınımı ve güneşlenme süreleri; Revit programı aracılığıyla, Antalya iklim özellikleri verilerine göre referans bina için güneş ve gölge analizleri yapılarak binanın aydınlık ve gölge alanları incelenmiştir. Şekil 3.6'da 21 Aralık ve 21 Haziran tarihleri; 10.00, 13.00, 16.00 saatleri için yapılan güneş ve gölge analizleri, Şekil 3.7'de ise Ocak-Aralık dönemi için yapılan güneş ve gölge analizi gösterilmektedir. Analizler arazinin yıl boyunca yoğun bir şekilde güneş ışınımına maruz kaldığını göstermektedir.

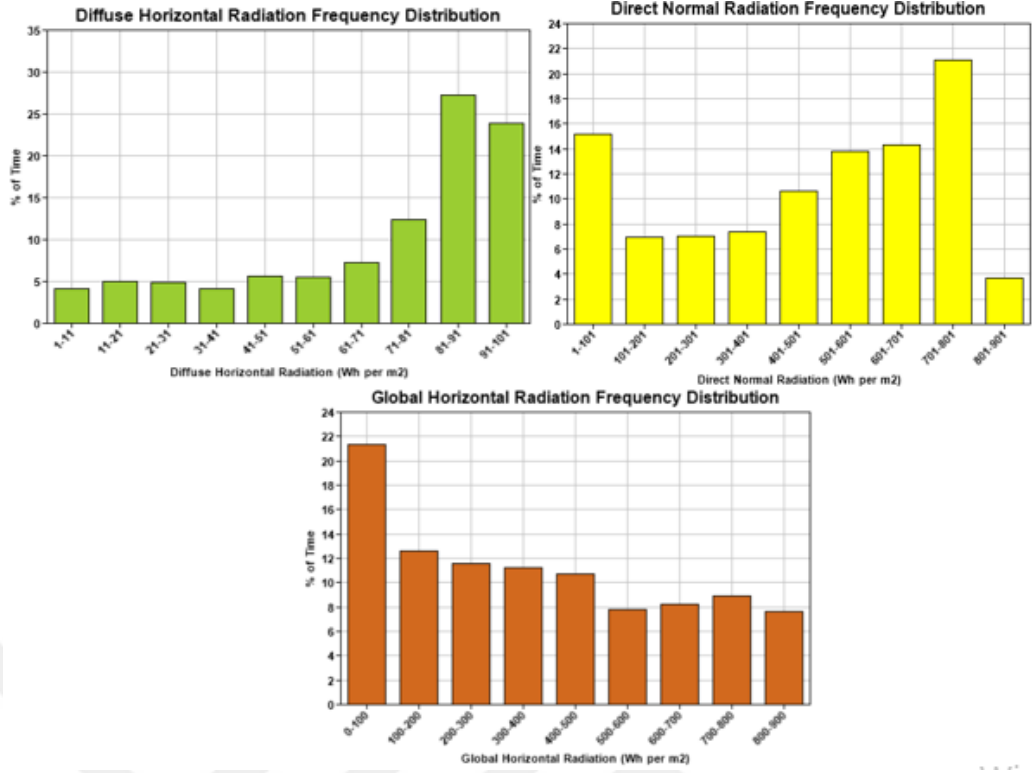


Şekil 3.6. Referans bina güneş 21 Aralık ve 21 Haziran için güneş ve gölge analizleri

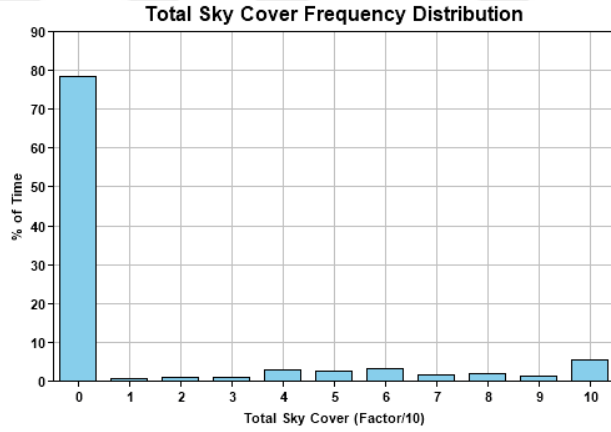


Şekil 3.7. Referans bina Ocak-Aralık dönemi güneş ve gölge analizi

Antalya iklim özellikleri verilerine göre GBS tarafından oluşturulan, yıllık yataya gelen yayılmış ışınım, direkt normal ışınım ve global yataya gelen ışınım frekans dağılımı, gökyüzü kapalılığının toplam frekans dağılımı Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'da gösterilmektedir.

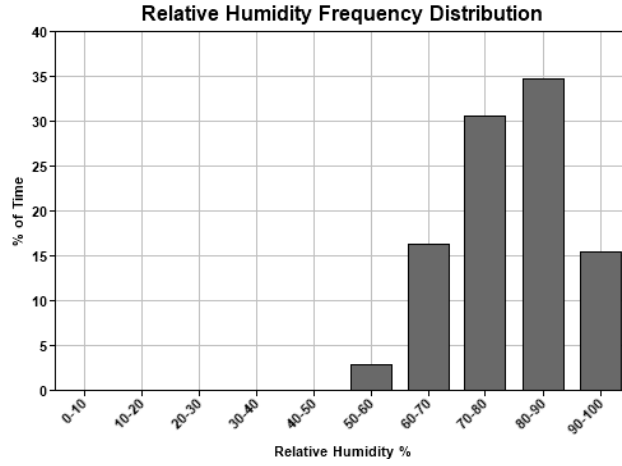


Şekil 3.8. Yıllık yataya gelen yayılmış ışınım, direkt normal ışınım ve global yataya gelen ışınım frekans dağılımı



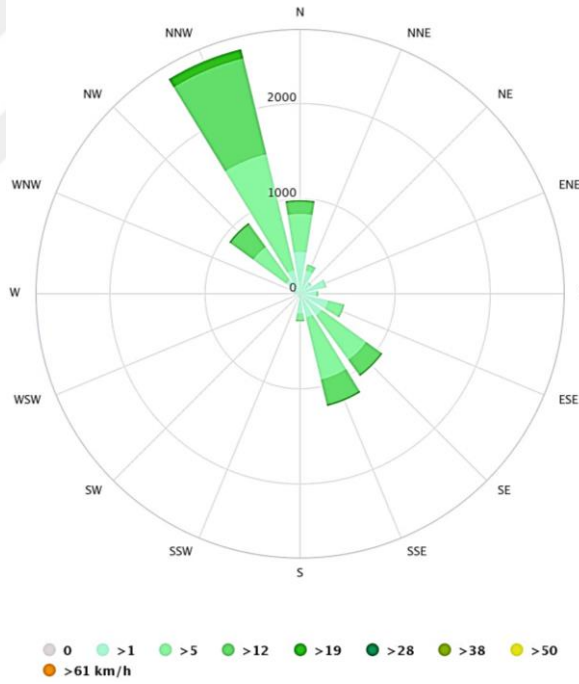
Şekil 3.9. Gökyüzü kapalılığının toplam frekans dağılımı

- Nem; Antalya iklim özellikleri verilerine göre GBS yazılımı tarafından oluşturulan yıllık bağıl nem frekans dağılımı Şekil 3.10'da gösterilmektedir.

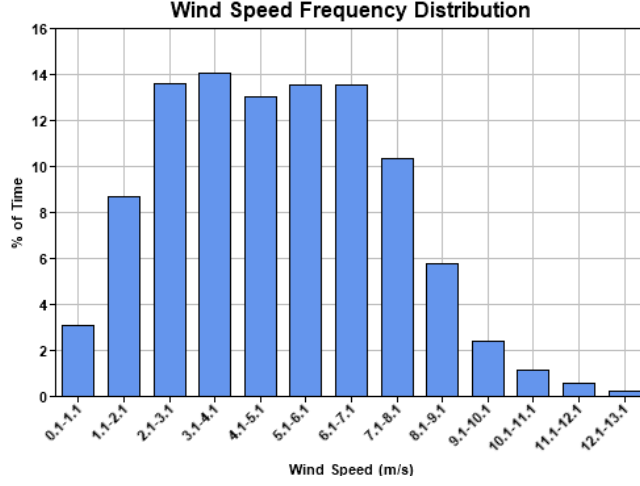


Şekil 3.10. Yıllık bağıl nem frekans dağılımı

- Rüzgâr; Antalya iklim özellikleri açısından hâkim rüzgâr yönü KKB(kuzey-kuzeybatı)'dır (Şekil 3.11). Günlük ortalama rüzgar hızı ise 2,8 m/sn' dir (Çamalan ve Çamalan, 2004). GBS tarafından oluşturulan yıllık rüzgâr hızı frekans dağılımı grafiği Şekil 3.12'de gösterilmektedir.



Şekil 3.11. Antalya ili hâkim rüzgâr yönü (Meteoblue, 2014)



Şekil 3.12. Yıllık rüzgâr hızı frekans dağılımı

3.1.3. Binaya ilişkin parametrelerin belirlenmesi

Referans bina konumunun binaya ilişkin parametreleri; binanın yeri, binanın formu, bina yönelimi, bina aralıkları ve yükseklikleri, mekân organizasyonu-zonlama, bina kabuğu optik ve termofiziksel özellikleri, güneş kontrolü ve doğal aydınlatma ve doğal ventilasyon düzeni parametreleri üzerinden belirlenmektedir. Bununla birlikte güneş kontrolü ve doğal aydınlatma ve doğal ventilasyon düzeni parametrelerine enerji etkin tasarım kararlarının uygulanması sürecinde değinilmiştir. Aynı zamanda referans bina için, Antalya ilinde varsayımsal bir konum oluşturulmuş ve diğer binalar veya engeller tarafından gölgelenmediği kabulü ile hareket edilmiştir. Bu sebeple, bina aralıkları ve yükseklikleri parametresine değinilmemiştir.

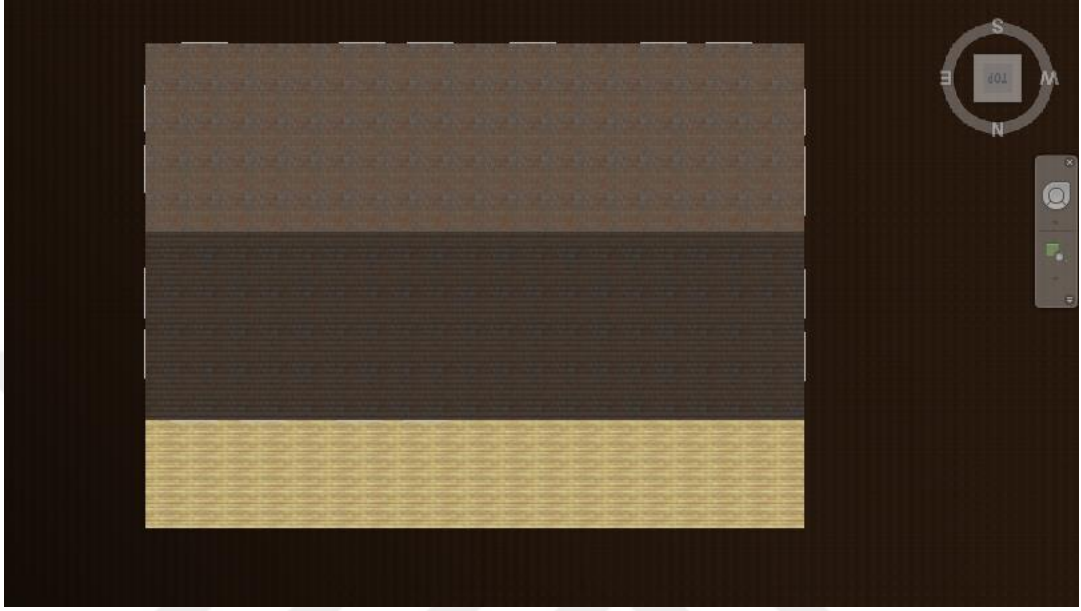
3.1.3.1. Binanın yeri

Referans bina, konumlandığı varsayılan arazinin sıcak-nemli iklim tipine sahip Antalya ili olması sebebiyle, rüzgâr etkilerinden maksimum yarar sağlamak, nemliliğin olumsuz etkilerini azaltmak ve güneş korunumun sağlanması amacıyla arazinin tepe bölgesine konumlandırılmıştır. Bu enerji etkin tasarım kararı, enerji etkin tasarım kararlarının uygulanması süreci öncesinde, referans bina tasarımında uygulanmıştır.

3.1.3.2. Bina formu

Referans bina formu hâkim rüzgardan maksimum yararlanma ve karşılıklı havalandırmadan etkin bir şekilde faydalanmak amacıyla derinliği az, uzun cephele

sahip dikdörtgen formunda olacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 3.13). Bu enerji etkin tasarım kararı, enerji etkin tasarım kararlarının uygulanması süreci öncesinde, referans bina tasarımında uygulanmıştır. Şekil 3.14'te referans bina kuzey görünüşü gösterilmektedir.



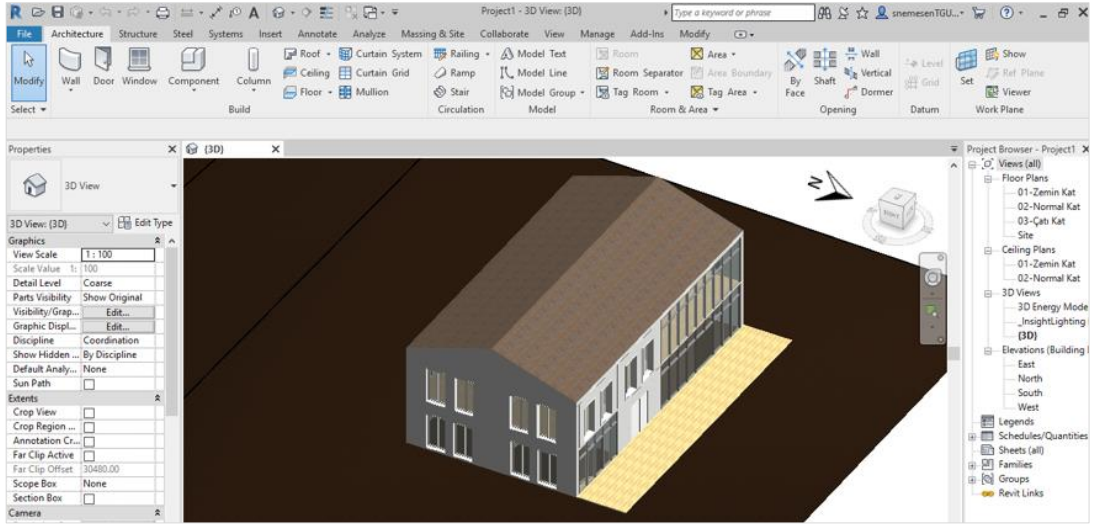
Şekil 3.13. Referans bina formu



Şekil 3.14. Referans bina kuzey görünüşü

3.1.3.3. Bina yönelimi

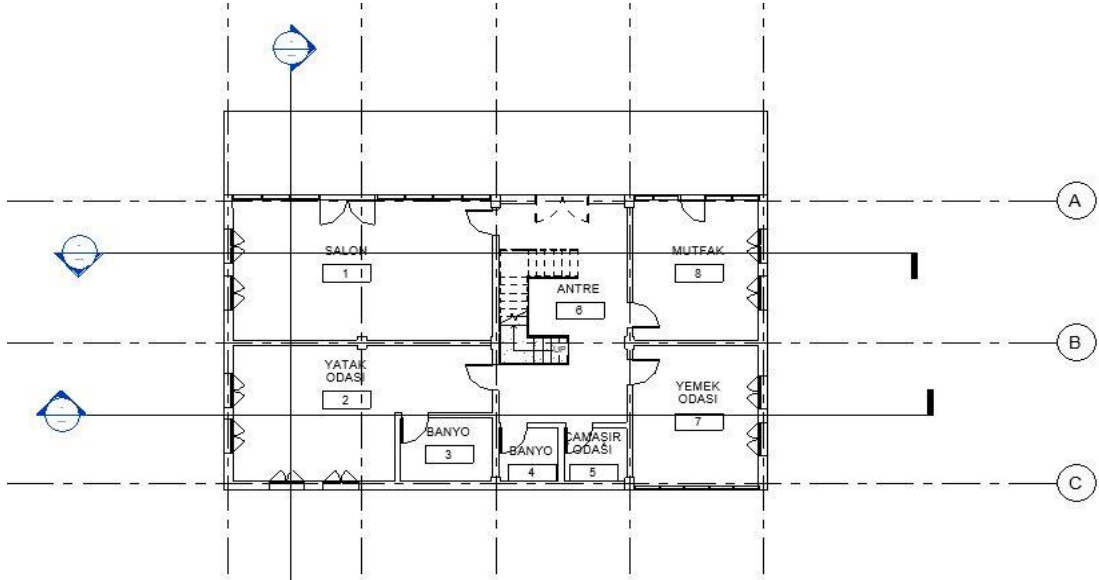
Referans bina, dikdörtgen formuna sahip olmakla birlikte uzun cephesi ve yaşam alanları kuzey yönüne bakacak şekilde yönlendirilmiştir (Şekil 3.15).



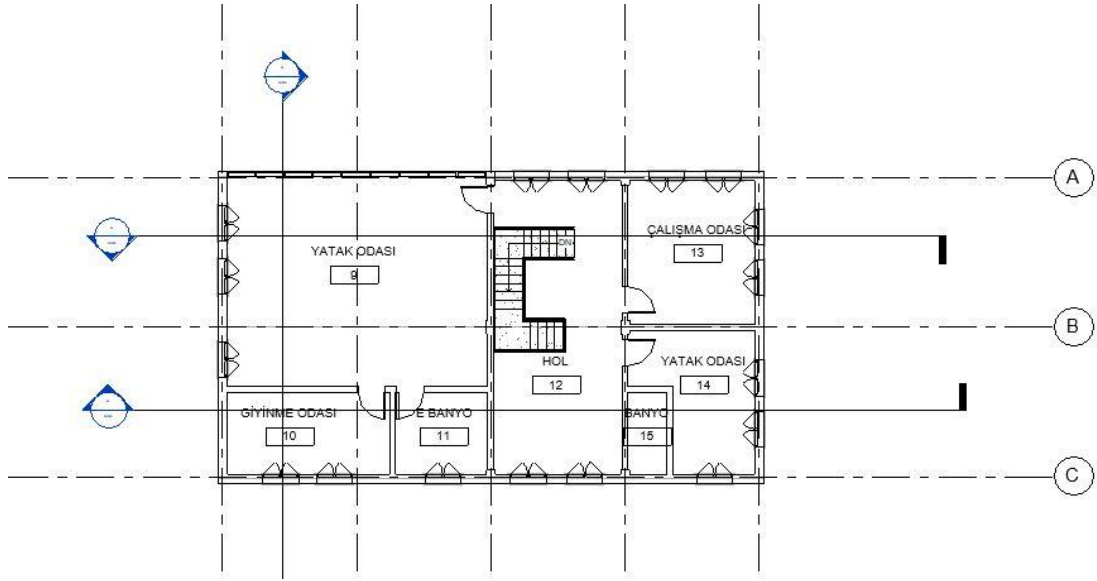
Şekil 3.15. Referans bina 3 boyutlu görünüşü

3.1.3.4. Mekân organizasyonu-zonlama

Referans bina için, zemin ve bir normal kattan oluşan müstakil bir daire mimarisi tasarlanmıştır. Mekân organizasyon planında, en büyük pencere açıklıklarına sahip yaşama hacimleri binanın ön cephesinde kuzey yönüne bakacak şekilde; banyo, wc, çamaşır odası gibi mekânlar ise güney yönüne bakacak şekilde yerleştirilmiştir. Referans binanın zemin ve normal kat planları Şekil 3.16 ve Şekil 3.17’de gösterilmektedir.



Şekil 3.16. Referans bina zemin kat planı



Şekil 3.17. Referans bina normal kat planı

3.1.3.5 Bina kabuğu özellikleri

Bu başlık altında referans bina kabuğunda tercih edilen saydamlık oranları, bina kabuk bileşenlerinin detayları ve ısı geçirme katsayıları hakkında bilgi verilmektedir. Referans binanın modellendiği Revit programında her malzeme için detaylı bilgi girişleri mevcut olduğu için, bina kabuk bileşenleri malzeme seçimi ve katmanlaşma kolaylıkla yapılabilmektedir. Bununla birlikte referans bina malzeme seçimi TS825 Isı Yalıtım Kuralları Standartında kabul edilen, bölgelere göre en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U değerlerini aşmayacak, minimum oranda sağlayacak şekilde seçilmiştir. TS825'e göre Antalya ili 1. Derece gün bölgesinde yer almaktadır. Bölgelere göre en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U değerleri Çizelge 3.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. Bölgelere göre en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U değerleri (TS 825, 2008)

	U_D (W/m ² K)	U_T (W/m ² K)	U_t (W/m ² K)	U_p (W/m ² K)
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

Saydamlık oranı-S0; referans binada saydamlık oranı, kuzey cephede %65, güney cephede %25, doğu cephesinde %32, batı cephesinde ise %28'dir.

Opak ve saydam bileşenlerin ısı geçirme katsayıları; referans bina kabuk bileşenlerinin termofiziksel özellikleri belirlenirken, Antalya ilinin dâhil olduğu sıcak-nemli iklim sınıfının gereksinimleri dikkate alınmıştır. Referans bina kabuk bileşenlerinin fiziksel yapıları ve ısı geçirme katsayı değerleri Çizelge 3.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.2. Referans bina kabuk bileşenlerinin fiziksel yapıları ve ısı geçirme katsayı değerleri

	Malzeme	Kalınlık(m)	U Değeri(W/m ² K)
Dış Duvar	Dış sıva	0,02	0,47
	Yatay delikli tuğla	0,135	
	XPS	0,05	
	Yatay delikli tuğla	0,085	
	İç sıva	0,02	
Çatı	Poliüretan sandviç panel	0,05	0,33
	Naylon-buhar kesici	0,001	
	Keçe-buhar dengeleyici	0,0005	
	Ahşap kaplama	0,002	
	İç sıva	0,02	
Taban	Ahşap parke	0,02	0,46
	Şap	0,05	
	Su yalıtımı	0,001	
	Taş yünü	0,05	
	Su yalıtımı	0,001	
	Grobeton	0,1	
	Blokaj	0,15	
Pencere	Çift camlı low-e kaplamalı pencere, 9mm ara boşluk, plastik doğrama	-	2,4

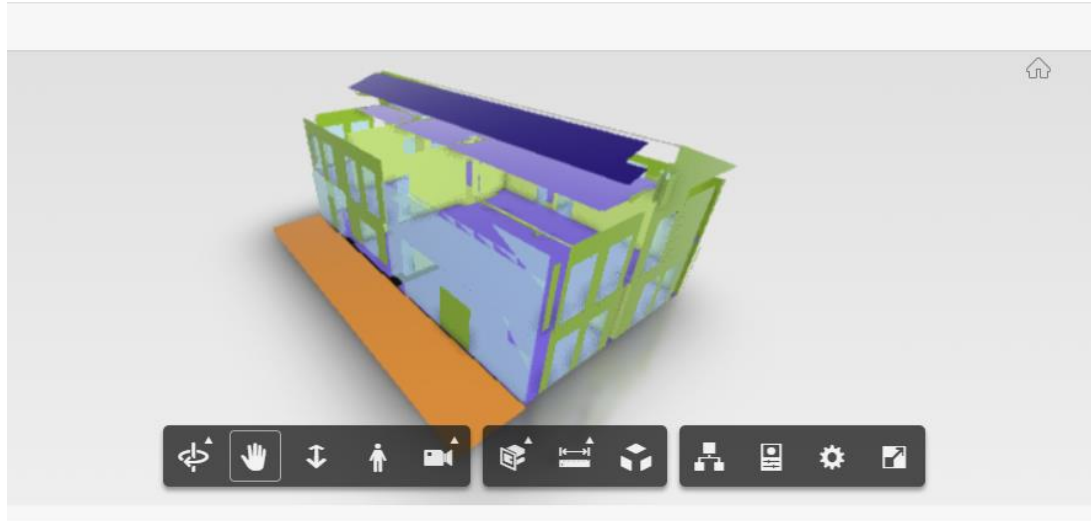
3.1.4. Referans bina enerji performans analizi

Referans bina içi ısıtma sisteminin merkezi sıcak sulu sistem ve yakıt tipinin doğalgaz, soğutma sisteminin ise split klima olduğu kabulü ile enerji performans analizi yapılmıştır. Belirlenen parametrelerin ardından referans bina için enerji performans analizi GBS ile yapılmıştır (Şekil 3.18). Yapılan analiz sonucunda referans binanın yıllık

elektrik tüketim miktarının 35.137 kWh, yakıt tüketim miktarının 93.729 MJ olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda enerji etkin tasarım kararlarının uygulanması sürecinde hızlı karar verme olanağı sağladığı için Autodesk Insight yazılımı ile de referans bina için enerji performans analizi yapılmıştır (Şekil 3.19).

Annual Energy	
Energy Use Intensity (EUI)	1,113 MJ / m ² / year
Electric	35,137 kWh
Fuel	93,729 MJ
Annual Peak Demand	8.2 kW

Şekil 3.18. Referans bina yıllık elektrik ve yakıt tüketim miktarları-GBS



Şekil 3.19. Referans bina enerji performans analizi-Insight

3.2. Enerji Etkin Tasarım Kararlarının Uygulanması

Referans binanın enerji tüketim miktarı GBS'de belirlendikten sonra, GBS enerji tüketimi üzerinde farklı etkileri bulunan 248 farklı tasarım alternatifi oluşturmuştur. Bu bölümde; oluşturulan alternatifler arasından, minimum enerji tüketimine yönelik seçilen alternatifler ile oluşturulacak kombinasyonda kullanılacak tasarım kararları parametresel bazda belirtilmiştir. Bu kararlar arasında bitki dokusu ve peyzaj elemanları parametresi GBS parametreleri dışında olduğu için enerji performans analizi dışında tutulmuştur.

3.2.1. Dış Çevreye ilişkin parametreler üzerinde tasarım kararlarının uygulanması

Bu başlık altında incelenen bitki dokusu ve peyzaj elemanları parametresi, GBS parametreleri dâhilinde olmadığı için enerji performans analizi dışında tutulmuştur. Bununla birlikte uygulamaya yönelik bir tasarım kararı olduğu için tasarlanan binanın bulunduğu iklim tipine yönelik enerji etkin tasarıma uygun çözümler belirtilmiştir.

3.2.1.1. Bitki dokusu ve peyzaj elemanları

Sıcak-nemli iklim sınıfında yer alan Antalya için iklimsel koşullar doğrultusunda; güney cephe ağaçlandırılmayarak kış güneşinden yarar sağlanması, kuzey cephede, yaz güneşinden korunma sağlayan, gölge etkisi olan ağaçlandırma yapılması, doğu ve batıdan gelen güneş ışınımını engelleyen, doğal vantilasyona izin veren yüksek gövdeli ağaçların tercih edilmesi bulunmaktadır. Aynı zamanda kış mevsiminde yapraklarını döken ağaçlar ile peyzaj tasarımı yapılarak, yazın fazla güneş ışınımından korunum, kışın ise güneşten ısı kazanımı sağlanabilir. Dış zemin için uygun malzeme seçimi; Açık renk asfalt, çim, çakıl şeklindedir.

3.2.2. Binaya ilişkin parametreler üzerinde tasarım kararlarının uygulanması

Bu bölümde enerji etkin bina oluşumuna yönelik; bina yönelimi, mekân organizasyonu-zonlama, bina kabuğu özellikleri, güneş kontrolü ve doğal aydınlatma ve doğal vantilasyon düzeni parametreleri için seçilen uygun tasarım kararları belirtilmiştir.

3.2.2.1. Bina yönelimi

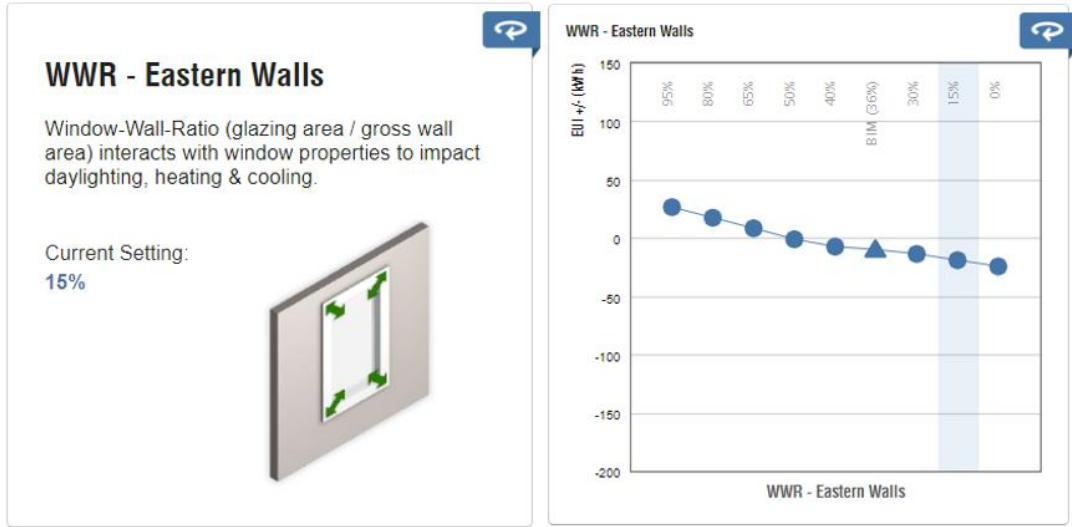
Sıcak-nemli iklim sınıfında yer alan Antalya için güneş ışınımının olumsuz etkilerinden korunumun ve hâkim rüzgar yönünden maksimum faydanın sağlanması amacıyla; oluşturulan referans bina yaşama alanlarının bulunduğu ana cephesi kuzeyden, sıcak-nemli iklim tipi için optimum bina yönelimi olan güneye yöneltilmiştir. Bu yönelim sonucunda binanın doğu-batı aksı üzerinde güneye daha geniş bir cephe oluşturacak şekilde doğrusal konumlanması sağlanmıştır.

3.2.2.2. Mekân organizasyonu-zonlama

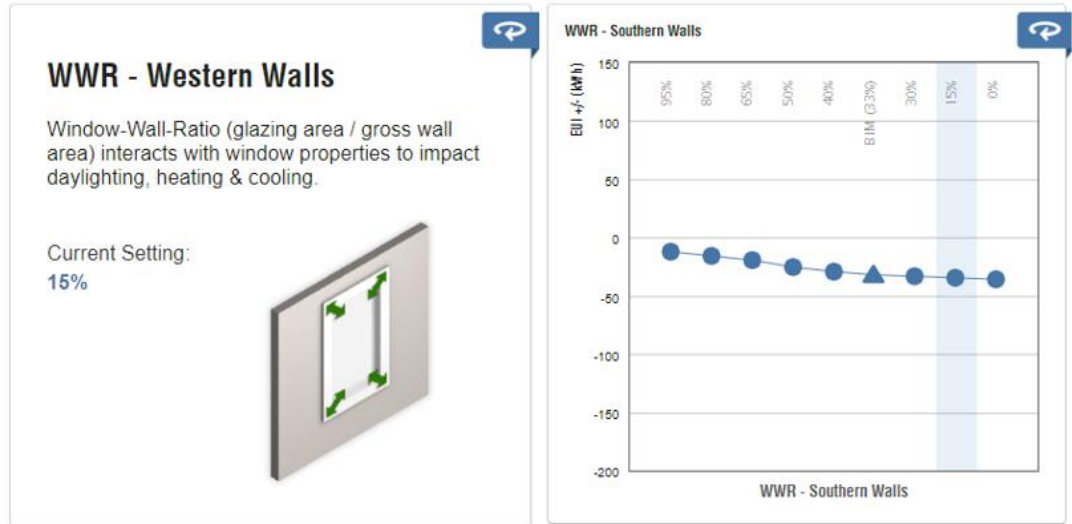
Referans binanın yaşama alanlarının bulunduğu ana cephesinin sıcak-nemli iklim tipinin optimum bina yönü yani binanın yazın serin kışın ılık olmasına en uygun yönü olan güneye yönlendirilmesi sonrası, en büyük pencere açıklıklarına sahip olan güney cepheye yaşama alanları, yaz mevsiminde kullanılmak üzere ikinci bir yaşam alanı niteliğinde tasarlanan yemek odası ve ısıtma ihtiyacı diğerlerine kıyasla daha az olan mekânlar kuzey cepheye konumlandırılmıştır. Isıtma ihtiyacı az olan mekânlar dışında diğer mekanların bir duvarları, binanın uzun dikdörtgen formunda olmasından dolayı doğu batı cephelerine bakmaktadır. İklim tipinden dolayı maruz kalınacak fazla güneş ışınımından korunma amaçlı bina cephelerine güneş kontrol elemanları uygulanmıştır. Bu elemanlar güneş kontrolü ve aydınlatma alt başlığında belirtilecektir.

3.2.2.3. Bina kabuğu özellikleri

Saydamlık oranı-SO; referans binada güney ve kuzey cepheler için belirlenen saydamlık oranları binanın güneye yönlendirilmesinden dolayı güney cephe için % 65 ve kuzey cephe için % 25'tir. Bu cepheler için görsel konfor sağlanması ve kuzey cephesinin yaz aylarında KKB yönünden esen hâkim rüzgârı binanın içine bu cepheden alarak kuzey-güney yönünde karşılıklı doğal vantilasyon sağlaması amacıyla saydamlık oranları sabit tutulmuş, doğu ve batı cephelerin saydamlık oranları ise % 15 oranına çekilmiştir. Doğu-batı cephelerde daha küçük açıklıkların oluşturulduğu bu değişikliğin sebepleri; güneşin doğuş-batış doğrultusunda olması ve kontrolünün zor olması; bu cephelerin, güneydoğu-güney-güneybatıya bakan cephelere göre yazın daha sıcak, kışın daha soğuk olması ve güneydoğu ve güneybatıya bakan cephelerin yatay düzlemde alçaktan gelen güneş ışınımına maruz kalması sayılabilir. Şekil 3.20 ve Şekil 3.21'de Insight yazılımı üzerinden oluşturulan, doğu ve batı cephelerin saydamlık oranlarına göre EUI(enerji kullanım yoğunluğu, kWh/m²/y) grafiği gösterilmektedir. Bu grafikten gözüktüğü gibi saydamlık oranları üzerinde uygulanan bu tasarım kararı EUI'yı düşürücü bir etki göstermektedir.



Şekil 3.20. Enerji etkin bina doğu cephesi saydamlık oranı-EUI grafiği(kWh/m²/y)



Şekil 3.21. Enerji etkin bina batı cephesi saydamlık oranı-EUI grafiği(kWh/m²/y)

Opak ve saydam bileşenlerin ısı geçirme katsayıları; Referans bina kabuk bileşenlerinden dış duvar ve pencere dışındakiler sabit tutulmuş, dış duvar ve pencere bileşenlerinin ısı geçirme katsayılarını düşürmeye yönelik, malzeme kullanımında değişiklik yapılmıştır. Enerji etkin bina için oluşturulan, kabuk bileşenlerinin fiziksel yapıları ve ısı geçirme katsayı değerleri Çizelge 3.3'te gösterilmektedir.

Çizelge 3.3. Enerji etkin bina kabuk bileşenlerinin fiziksel yapıları ve ısı geçirme katsayı değerleri

	Malzeme	Kalınlık(m)	U Değeri(W/m ² K)
Dış Duvar	Dış sıva	0,02	0,34
	Tuğla	0,1	
	Hafif beton	0,2	
	Cam yünü	0,087	
	Alçı panel	0,016	
	İç sıva	0,02	
Çatı	Poliüretan sandviç panel	0,05	0,33
	Naylon-buhar kesici	0,001	
	Keçe-buhar dengeleyici	0,0005	
	Ahşap kaplama	0,002	
	İç sıva	0,02	
Taban	Ahşap parke	0,02	0,46
	Şap	0,05	
	Su yalıtımı	0,001	
	Taş yünü	0,05	
	Su yalıtımı	0,001	
	Grobeton	0,1	
	Blokaj	0,15	
Pencere	Çift camlı low-e kaplamalı pencere, 16 mm ara boşluk, ahşap doğrama	-	1,8

Tek tabakalı yapı bileşenleri için ısı geçirgenlik direncinin(R) hesaplanması aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir;

$$R = \frac{d}{\lambda_n} \quad (3.1)$$

Burada, R ısı geçirgenlik direnci(m²K/W), d yapı bileşeninin kalınlığını(m), λ_n ısı iletkenlik hesap değerini(W/mK) temsil etmektedir. Çok tabakalı yapı bileşenleri için ısı geçirgenlik direncinin(R) hesaplanması aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir;

$$R = \frac{d_1}{\lambda_{h1}} + \frac{d_2}{\lambda_{h2}} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_{hn}} \quad (3.2)$$

Burada $d_1, d_2 \dots d_n$ tek tek yapı elemanı kalınlıklarını(m), $\lambda_{h1}, \lambda_{h2} \dots \lambda_{hn}$ yapı elemanlarının ısı iletkenlik hesap değerlerini(W/mK) temsil etmektedir. Bir yapı bileşeninin toplam ısı geçirgenlik direncinin($1/U$) hesaplanması aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir;

$$\frac{1}{U} = R_i + R + R_e \quad (3.3)$$

Burada, $1/U$ yapı bileşeninin toplam ısıl geçirgenlik direncini (m^2K/W), R_i iç yüzeyin yüzeysel ısı iletim direncini (m^2K/W), R_e dış yüzeyin yüzeysel ısı iletim direncini (m^2K/W) temsil etmektedir. Bir yapı bileşeninin toplam ısıl geçirgenlik katsayısının (U) hesaplanması aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir;

$$U = \frac{1}{R_i + R + R_e} \quad (3.4)$$

Burada, U yapı bileşeninin toplam ısıl geçirgenlik katsayısını (W/m^2K) temsil etmektedir. Kararlı durumdaki bir ısı akış yoğunluğu (q) hesaplanması aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir;

$$q = U \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad (3.5)$$

Burada, q ısı akış yoğunluğunu (W/m^2), θ_i iç ortam sıcaklığını ($^{\circ}C$), θ_e dış ortam sıcaklığını ($^{\circ}C$) temsil etmektedir. Binanın özgül ısı kaybının (H) hesaplanması aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir;

$$H = H_T + H_v \quad (3.6)$$

Burada, H_T iletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybını, H_v havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybını temsil etmektedir. İletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı kaybının (H_T) hesaplanması aşağıdaki bağıntılarla ifade edilir;

$$H_T = \Sigma AU + IU_i \quad (3.7)$$

$$\Sigma AU = U_D A_D + U_P A_P + U_K A_K + 0,8 \cdot U_T A_T + 0,5 \cdot U_t A_t + U_d A_d + 0,5 \cdot U_{ds} A_{ds} \quad (3.8)$$

Eşitlik 3.7'de, I ısı köprüsü uzunluğunu, U_i ısı köprüsünün doğrusal geçirgenliğini (W/mK) temsil etmektedir. Eşitlik 3.8'de, U_D dış duvarın ısıl geçirgenlik katsayısını, U_P pencerenin ısıl geçirgenlik katsayısını, U_K dış kapının ısıl geçirgenlik katsayısını, U_T tavanın ısıl geçirgenlik katsayısını, U_t zemine oturan tabanın/döşemenin ısıl geçirgenlik katsayısını, U_d dış hava ile temas eden tabanın ısıl geçirgenlik katsayısını, U_{ds} düşük sıcaklıklardaki iç ortamlar ile temas eden yapı elemanlarının ısıl geçirgenlik katsayısını, A_D dış duvarın alanını, A_P pencerenin alanını, A_K dış kapının alanını, A_T

tavan alanını, A_t zemine oturan taban/döşeme alanını, A_d dış hava ile temas eden tabanın/döşemenin alanını, A_{ds} düşük sıcaklıktaki iç ortamlar ile temas eden yapı elemanlarının alanını temsil etmektedir. Çatı döşemesi doğrudan dış hava ile temas ediyorsa, eşitlikte yer alan U_T 'nin önündeki 0,8 katsayısı 1 olarak alınır. Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybının(H_v) hesaplanması aşağıdaki bağıntılarla ifade edilir;

$$H_v = \rho \cdot c \cdot V^1 \quad (3.9)$$

$$H_v = \rho \cdot c \cdot V^1 = \rho \cdot c \cdot n_h \cdot V_h = 0,33 \cdot n_h \cdot V_h \quad (3.10)$$

Burada, ρ havanın birim hacim kütleini(kg/m³), c havanın özgül ısısını(J/kgK), V^1 hacimce hava değişim debisini(m³/h), n_h hava değişim oranını, V_h havalandırılan hacmi($V_h = 0,8 \cdot V_{brüt}$)(m³) temsil etmektedir. 0,33 katsayısının hesabında kullanılan eşitlik aşağıda belirtilmiştir;

$$0,33 = (\rho \cdot c / 3600) = (1,184.1006 / 3600) = 0,33 \text{ Jh/m}^3\text{Ks} = \text{Wh/m}^3\text{K} \quad (3.11)$$

Doğal havalandırma yapılan binalarda havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı hesabında havalandırma sayısı n_h değeri 0,8(h⁻¹) olarak alınır. Aylık iç kazançların($\phi_{i,ay}$)(W) belirlenmesi; konutlar, okullar ve normal donanımlı binalar için $\phi_{i,ay} \leq 5 \times A_n$, yüksek iç enerji kazançlı binalar için $\phi_{i,ay} \leq 10 \times A_n$ şeklindedir. Burada A_n bina kullanım alanını(m²) ifade etmektedir ve aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır;

$$A_n = 0,32 \times V_{brüt} \quad (3.12)$$

Burada $V_{brüt}$ binanın ısıtılan brüt hacmini(m³) ifade etmektedir. Aylık ortalama güneş enerjisi kazancının($\phi_{s,ay}$) hesaplanması aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir;

$$\phi_{s,ay} = \sum r_{i,ay} \times g_{i,ay} \times I_{i,ay} \times A_i \quad (3.13)$$

Burada, $r_{i,ay}$ "i" yönünde saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgelenme faktörünü, $g_{i,ay}$ "i" yönündeki saydam elemanların güneş enerjisi geçirme faktörünü, $I_{i,ay}$ "i" yönünde dik yüzeylere gelen aylık ortalama güneş ışınımı şiddetini(W/m²), A_i "i" yönündeki toplam pencere alanını(m²) temsil etmektedir. Güneş enerjisi geçirme faktörü($g_{i,ay}$) hesaplanması aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir;

$$g_{i,ay} = F_w \cdot g_{\perp} \quad (3.14)$$

Burada, F_w camlar için düzeltme faktörüdür ve $F_w = 0,8$ alınır. g_{\perp} laboratuvar şartlarında ölçülen ve yüzeye dik gelen ışın için güneş enerjisi geçirme faktörüdür. Aylık ortalama kazanç kullanım faktörünün hesaplanması aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir;

$$\eta_{ay} = 1 - e^{-1/KKO_{ay}} \quad (3.15)$$

Burada, KKO_{ay} kazanç / kayıp oranı olup hesaplanması aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir;

$$KKO_{ay} = (\phi_{i,ay} + \phi_{s,ay}) + H(\theta_{i,ay} - \theta_{e,ay}) \quad (3.16)$$

Burada, $\theta_{i,ay}$ aylık ortalama iç ortam sıcaklığını($^{\circ}\text{C}$), $\theta_{e,ay}$ aylık ortalama dış hava sıcaklığını($^{\circ}\text{C}$), $\phi_{i,ay}$ aylık iç kazançları(W), $\phi_{s,ay}$ aylık ortalama güneş enerjisi kazancını temsil etmektedir. KKO_{ay} oranı 2,5 ve üzerinde olduğunda o ay için ısı kaybı olmadığı kabul edilir. Ortalama iç sıcaklık değerinin hesaplanması aşağıdaki bağıntıyla ifade edilir;

$$\theta_{i,ortalama} = \frac{\sum H_z \cdot \theta_{i,z}}{\sum H_z} = \frac{H_1 \cdot \theta_{i1} + H_2 \cdot \theta_{i2} + \dots + H_z \cdot \theta_{i,z}}{H_1 + H_2 + \dots + H_z} \quad (3.17)$$

Burada, $\theta_{i,ortalama}$ bina bölümlerinin tamamı için hesaplamalarda kullanılacak olan ortalama iç sıcaklığını($^{\circ}\text{C}$), θ_{i1}, θ_{i2} farklı sıcaklıktaki her bir bina hacminin iç sıcaklığını($^{\circ}\text{C}$), H_z binanın z hacmindeki bölümünün özgül ısı kaybını(W/K), H_1, H_2 farklı sıcaklıktaki her bir bina hacminin özgül ısı kaybını(W/K) temsil etmektedir.

3.2.2.4. Güneş kontrolü ve doğal aydınlatma

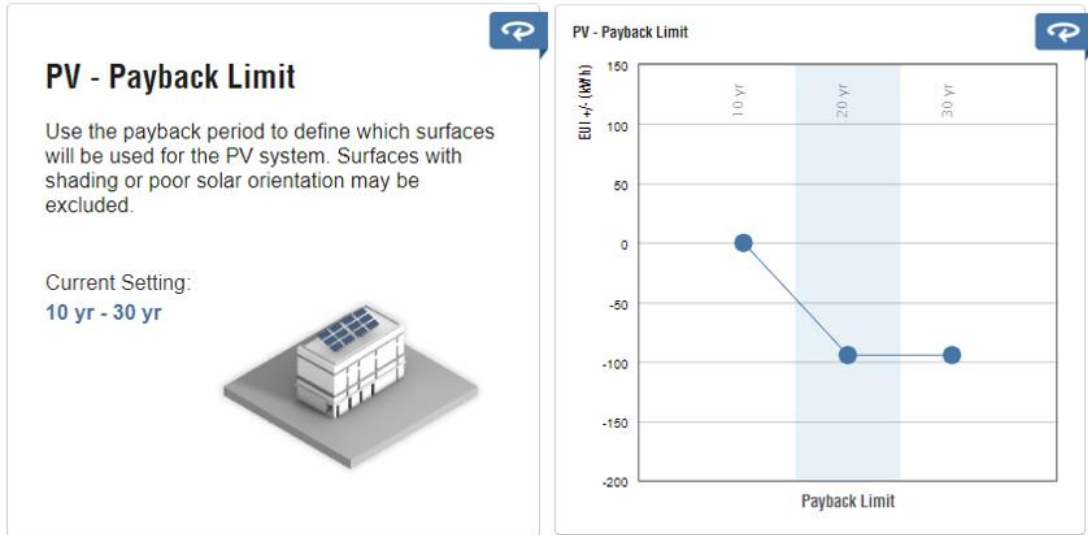
Referans bina, konumlu olduğu il itibarıyla sıcak-nemli iklim tipine sahip olduğu için güneşin tüm ısı ve aydınlığına yoğun bir şekilde maruz kalmaktadır. Bu sebeple referans binanın şeffaf bileşenleri, yazın güneşin yoğun etkisinden koruyacak güneş kontrollü pencerelere dönüştürülmüş, binanın tüm cephelerine güneş kırıcılar entegre edilmiştir. Binaya, gün ışığı ve doğal aydınlatmanın optimum kullanılması amacıyla gün ışığı ve aydınlatma sensörleri tanımlanmıştır.

3.2.2.5. Doğal vantilasyon düzeni

Enerji etkin binada doğal vantilasyon düzeninin oluşturulması amacıyla; pencereler hâkim rüzgâr doğrultusunda karşılıklı ve çoğunlukla şaşirtmalı konumlandırılmıştır. Binanın güney ve kuzey cephelerinin saydamlık oranları, yaz aylarında KKB yönünden esen hâkim rüzgârı binanın içine bu cephelerden alacak ve kuzey-güney yönünde karşılıklı akış sağlayacak şekilde belirlenmiş; mekân organizasyonu odalar karşılıklı konumlanacak şekilde yapılmıştır. GBS'nin referans bina için oluşturduğu doğal vantilasyon potansiyeli 1.387 kWh'tir. Belirlenen bu potansiyel doğrultusunda, enerji etkin binanın doğal vantilasyon potansiyelini kullanmak amacıyla belirtilen tasarım kararları uygulanmıştır.

3.2.3 Enerji etkin sistemlerin entegre edilmesi

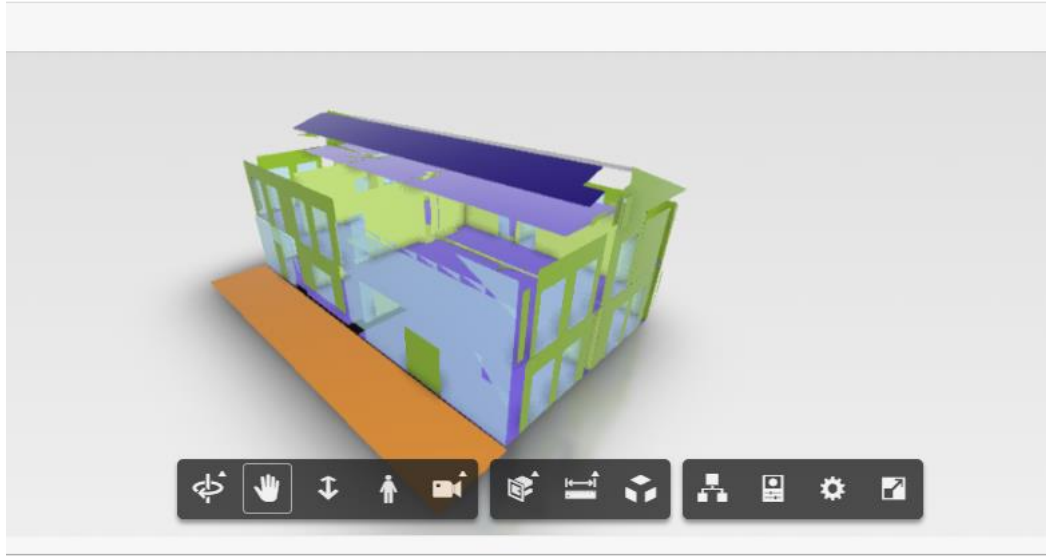
Bu bölümde, enerji performans analizi yapılan referans binaya, enerji performansının yükselmesi amacıyla entegre edilecek sistemler belirtilmiştir. Isıtma ve soğutma sistemlerinin tükettiği enerjiyi minimuma çekebilmek amacıyla, binaya geleneksel sistemlerden daha az enerji tüketen toprak kaynaklı ısı pompası entegre edilmiştir. GBS'nin yaptığı PV analizi sonucu binaya entegre edilebilecek PV panel detayları belirlenmiştir. Bina çatısının güney yönüne bakan yüzeyinin 25 m²lik alanına, 18° açı ile %13,8 verim oranına sahip monokristalin PV panel entegre edilmiştir. Entegre edilen yüksek verimli panelin geri ödeme süresi 21.3 yıl olmakla birlikte bu süre ülkemiz için değişkenlik göstermektedir. PV panel entegre edilmesiyle sağlanacak enerji tasarruf miktarı 6.286 kWh'tir. Şekil 3.22'de Insight yazılımı üzerinden yapılan, PV geri ödeme sınırı-EUI(kWh/m²/y) grafiği gösterilmektedir. Grafikten gözüktüğü gibi PV geri ödeme süresi üzerine yapılan bu seçim EUI'yı düşürücü bir etki göstermektedir.



Şekil 3.22. PV geri ödeme sınırı-EUI grafiği(kWh/m²/y)

3.2.4. Enerji etkin bina enerji performans analizi

Bu bölümde GBS'nin oluşturduğu alternatifler arasından optimum enerji kullanımına yönelik seçilen alternatiflerin tasarım parametrelerine uygulanmasının ardından oluşturulan enerji etkin bina kombinasyonu için GBS aracılığıyla yapılan enerji performans analizi sonuçları belirtilmiştir. Yazılım PV panel entegre edilmesi ve doğal ventilasyon düzeninin oluşturulması durumunda oluşacak tasarruf oranını ayrı olarak hesaplamaktadır. Bu nedenle bu iki parametrenin eklenmemiş hali için yapılan enerji performans analizi sonucunda; enerji etkin binanın yıllık elektrik tüketim miktarının 23.955 kWh, yakıt tüketim miktarının 10,253 MJ olduğu tespit edilmiştir. PV panel entegre edilmesi ve doğal ventilasyon düzeninin oluşturulması parametrelerinin eklenmiş hali için, enerji etkin binanın yıllık elektrik tüketim miktarının 15.211 kWh olduğu tespit edilmiştir. Insight yazılımı ile enerji etkin bina için yapılan enerji performans analizi Şekil 3.23'de gösterilmektedir.



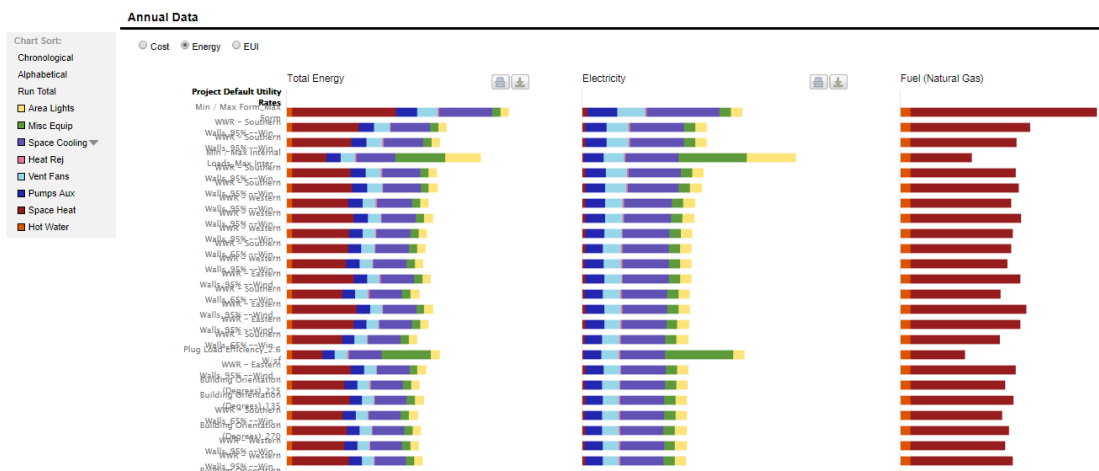
3.23. Enerji etkin bina enerji performans analizi-Insight

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Referans binanın enerji tüketim miktarı GBS’de belirlendikten sonra, GBS enerji tüketimi üzerinde farklı etkileri bulunan 248 farklı tasarım alternatifi oluşturmuştur. Oluşturulan tasarım alternatifleri arasından, minimum enerji tüketimine yönelik seçilen alternatifler ile enerji etkin bina kombinasyonu oluşturulmuştur. Şekil 4.1’de GBS’nin oluşturduğu alternatiflerin, Şekil 4.2’de ise bu alternatiflerin enerji tüketim miktarlarına dair grafiklerinin bir bölümü görülmektedir.

Building Orientation (Degrees)_180	GBS Design Alternate Run	2,129	105	\$6,289.4	\$1,933.2	\$8,222.6	38,117	929	N/A	169,384	0	Update data	3,927
Building Orientation (Degrees)_225	GBS Design Alternate Run	2,129	113	\$6,764.2	\$2,118.5	\$8,882.7	40,995	1,018	N/A	169,384	0	Update data	3,927
Building Orientation (Degrees)_270	GBS Design Alternate Run	2,129	115	\$6,704.7	\$2,196.4	\$8,901.1	40,635	1,055	N/A	169,384	0	Update data	3,927
Building Orientation (Degrees)_315	GBS Design Alternate Run	2,129	115	\$6,526.7	\$2,278.2	\$8,804.9	39,556	1,095	N/A	169,384	0	Update data	3,927
Building Orientation (Degrees)_45	GBS Design Alternate Run	2,129	112	\$6,471.1	\$2,192.3	\$8,663.4	39,219	1,053	N/A	169,384	0	Update data	3,927
Building Orientation (Degrees)_90	GBS Design Alternate Run	2,129	116	\$6,635.9	\$2,265.3	\$8,901.3	40,218	1,089	N/A	169,384	0	Update data	3,927
Daylighting & Occupancy Contro_Daylighting & Occupancy Contro	GBS Design Alternate Run	2,129	96	\$5,532.3	\$1,890.3	\$7,422.6	33,529	908	N/A	169,384	0	Update data	3,927
Daylighting & Occupancy Contro_Daylighting Controls	GBS Design Alternate Run	2,129	97	\$5,644.0	\$1,871.9	\$7,515.8	34,206	900	N/A	169,384	0	Update data	3,927
Daylighting & Occupancy Contro_None	GBS Design Alternate Run	2,129	98	\$5,809.0	\$1,856.9	\$7,665.8	35,206	892	N/A	169,384	0	Update data	3,927
Daylighting & Occupancy Contro_Occupancy Controls	GBS Design Alternate Run	2,129	97	\$5,671.9	\$1,877.5	\$7,549.4	34,375	902	N/A	169,384	0	Update data	3,927
HVAC Types_ASHRAE Heat Pump	GBS Design Alternate Run	2,129	66	\$6,356.8	\$202.2	\$6,559.0	38,526	97	N/A	169,384	0	Update data	3,927
HVAC Types_ASHRAE Package System	GBS Design Alternate Run	2,129	69	\$5,754.9	\$569.5	\$6,324.4	34,878	274	N/A	169,384	0	Update data	3,927
HVAC Types_ASHRAE Package Terminal Heat P	GBS Design Alternate Run	2,129	44	\$4,094.9	\$202.2	\$4,297.2	24,818	97	N/A	169,384	0	Update data	3,927
HVAC Types_ASHRAE VAV	GBS Design Alternate Run	2,129	101	\$6,185.0	\$1,822.0	\$8,007.1	37,485	876	N/A	169,384	0	Update data	3,927

Şekil 4.1. GBS’nin oluşturduğu alternatiflerin bir bölümü



Şekil 4.2. GBS’nin oluşturduğu alternatiflerin toplam enerji(kWh), elektrik(kWh) ve yakıt tüketim(MJ) grafiklerinin bir bölümü

GBS aracılığıyla yapılan enerji performans analizleri sonucu referans bina elektrik tüketimi 35.137 kWh, yakıt tüketimi 93.729 MJ'dur (Şekil 4.3). Yazılım yapısından kaynaklı sebeplerle PV panel entegre edilmesi ve doğal vantilasyon düzeninin oluşturulması durumunda oluşacak tasarruf oranını ayrı olarak hesaplamaktadır. Bu nedenle bu iki parametrenin eklenmemiş hali için yapılan enerji performans analizi sonucunda; enerji etkin binanın yıllık elektrik tüketim miktarının 23.955 kWh, yakıt tüketim miktarının 10,253 MJ olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.4).

1 Base Run	
Energy, Carbon and Cost Summary	
Annual Energy Cost	\$7,647
Lifecycle Cost	\$104,147
Annual CO₂ Emissions	
Electric	0.0 Mg
Onsite Fuel	4.7 Mg
Large SUV Equivalent	0.5 SUVs / Year
Annual Energy	
Energy Use Intensity (EUI)	488 MJ / m ² / year
Electric	35,137 kWh
Fuel	93,729 MJ
Annual Peak Demand	8.2 kW
Lifecycle Energy	
Electric	1,054,104 kWh
Fuel	2,811,885 MJ

Şekil 4.3. Referans bina enerji performans özeti

2 Design Alternative	
Estimated Energy & Cost Summary	
Annual Energy Cost	\$4,155
Lifecycle Cost	\$56,588
Annual CO₂ Emissions	
Electric	0.0 Mg
Onsite Fuel	0.5 Mg
Large SUV Equivalent	0.1 SUVs / Year
Annual Energy	
Energy Use Intensity (EUI)	488 MJ / m ² / year
Electric	23,955 kWh
Fuel	10,253 MJ
Annual Peak Demand	5.2 kW
Lifecycle Energy	
Electric	718,639 kWh
Fuel	307,604 MJ

Şekil 4.4. Enerji etkin bina enerji performans özeti

PV panel entegre edilmesi ve doğal ventilasyon düzeninin oluşturulması parametrelerinin eklenmiş hali için, enerji etkin binanın yıllık elektrik tüketim miktarının 15.211 kWh olduğu tespit edilmiştir. Çizelde 4.1’de görüldüğü üzere enerji etkin tasarım kararlarının uygulanması sonucu referans binaya göre; elektrik tüketiminde %56,7, yakıt tüketiminde ise %89 oranında iyileşme sağlanmıştır. Yakıt tüketiminde gözükten yüksek oranlı iyileşmenin çoğunluklu sebebi yüksek verimli ısı pompası seçilmiş olmasıdır.

Çizelge 4.1. Referans bina ve enerji etkin bina yıllık elektrik ve yakıt tüketim miktarları karşılaştırması

	Elektrik tüketimi (kWh)	Yakıt tüketimi (MJ)
Referans bina	35.137	93.729
Enerji etkin bina	15.211	10.253
İyileşme oranı (%)	56,7	89

GBS’nin referans bina için oluşturduğu doğal ventilasyon potansiyelini belirten gösterge Şekil 4.5’te gösterilmektedir. GBS’nin yaptığı bu analiz sonucu doğrultusunda, enerji etkin bina tasarım kararları alınarak, potansiyelden fayda sağlanmıştır.

Natural Ventilation Potential	
Total Hours Mechanical Cooling Required:	5,195 Hours
Possible Natural Ventilation Hours:	1,387 Hours
Possible Annual Electric Energy Savings:	2,458 kWh
Possible Annual Electric Cost Savings:	\$406
Net Hours Mechanical Cooling Required:	3,808 Hours

Şekil 4.5. Doğal ventilasyon potansiyeli göstergesi

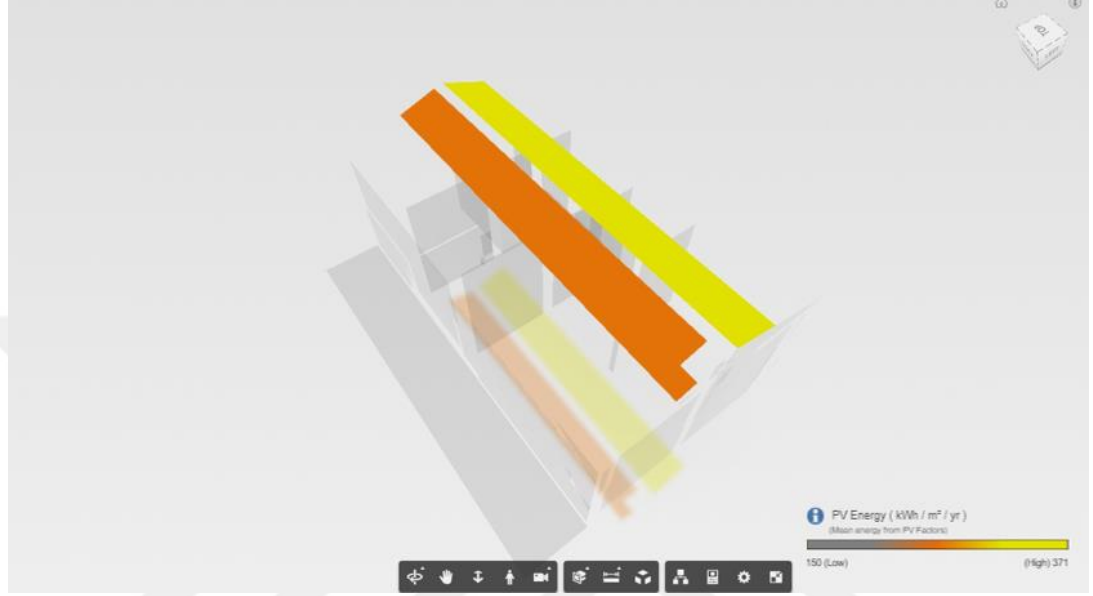
GBS’nin referans bina için oluşturduğu PV panel potansiyelini belirten gösterge Şekil 6.6’da gösterilmektedir. Yapılan bu analiz sonucu binaya entegre edilebilecek PV panel detayları belirlenmiştir. Şekil 4.7’de Insight yazılımı üzerinden yapılan PV enerji analizi gösterilmektedir.

Photovoltaic Surface Analysis

Note: The calculation assumes that BIPV panels used on windows will have a lower efficiency than standard wall and roof panels.

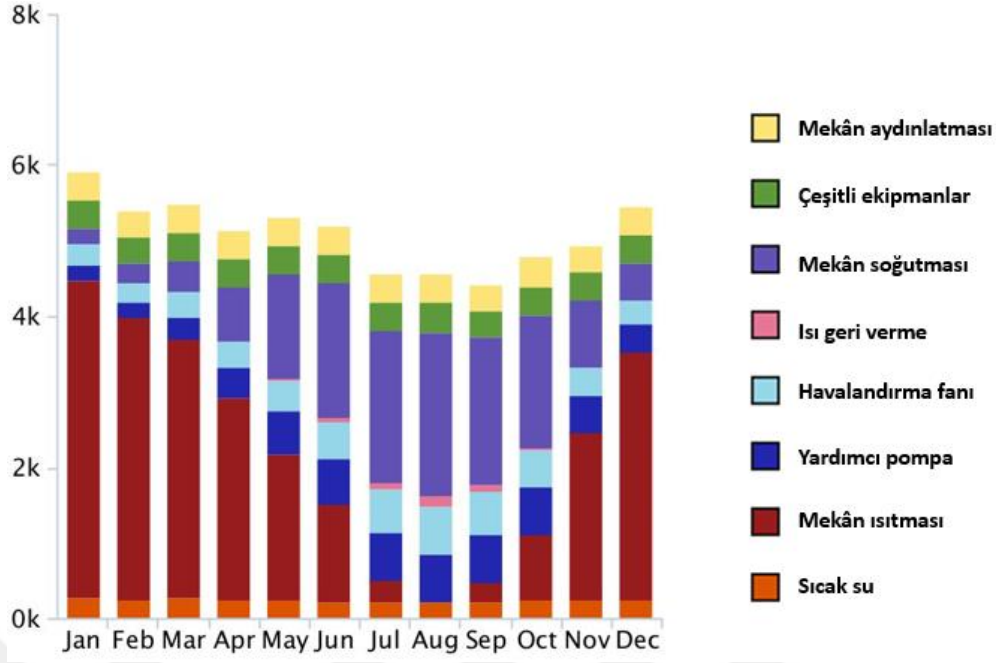
Surface Variables				Shading Variables		Summary				
ID	Type	Direction	Tilt (degrees)	Panel Area (m ²)	Solar Exposure	Obstruction Shading	Annual Energy (kWh)	Potential Cost Savings		Payback per Surface (years)
								per year/m ²	per year	
aim13964	Roof	S	18	25	73.7 %	0.0 %	6,286	\$41.47	\$1,037	21.3

Şekil 4.6. GBS PV analizi

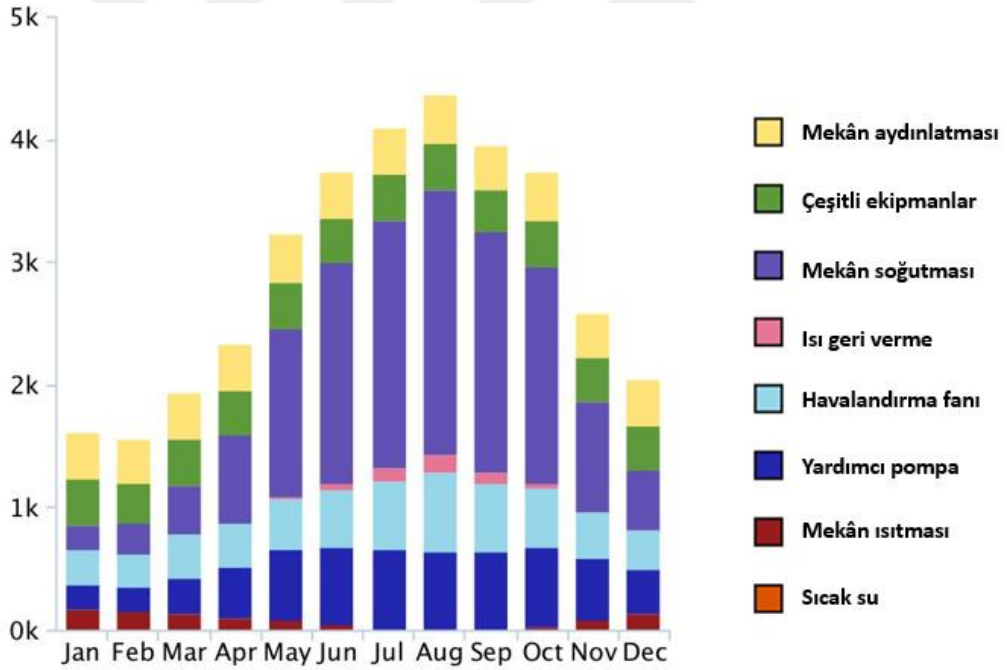


Şekil 4.7. PV enerji analizi

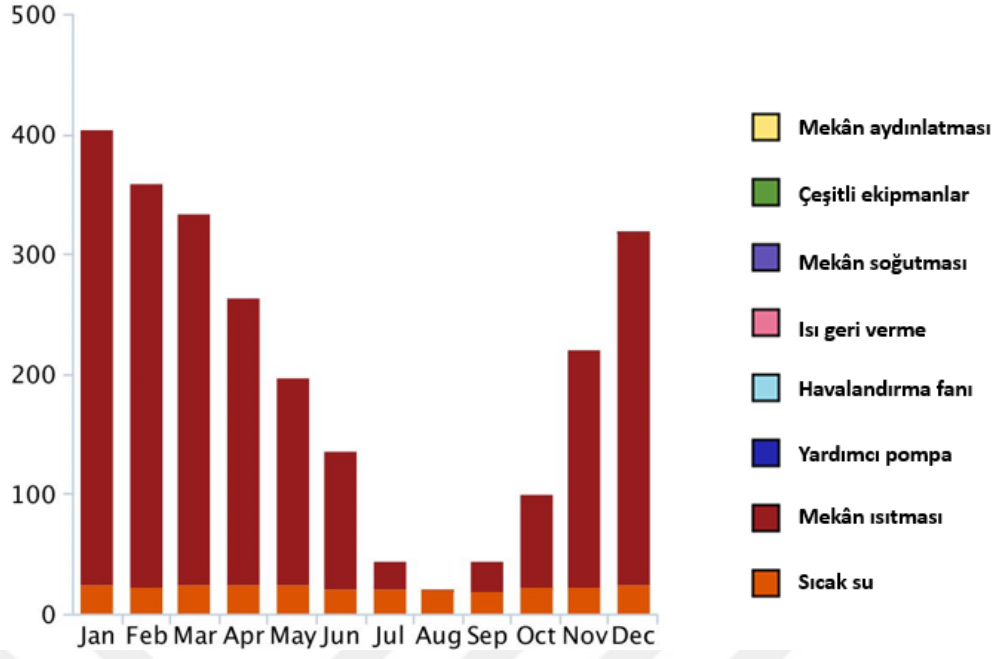
GBS enerji performans analizi üzerine oluşturulan referans binanın aylık toplam enerji, elektrik ve yakıt tüketimi grafikleri sırasıyla Şekil 4.8, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da gösterilmektedir. Grafikten de görüldüğü gibi; referans bina için aylık en fazla toplam enerji tüketimine sırasıyla mekânın ısıtılması ve soğutulması, en fazla elektrik tüketimine mekânın soğutulması, en fazla yakıt tüketimine ise mekânın ısıtılması neden olmaktadır.



Şekil 4.8. Referans bina aylık toplam enerji tüketim(kWh) grafiği

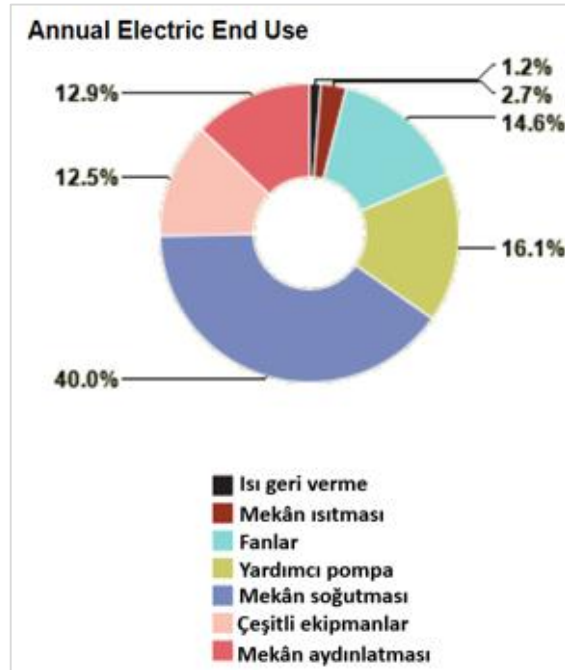


Şekil 4.9. Referans bina aylık elektrik tüketim(m³) grafiği

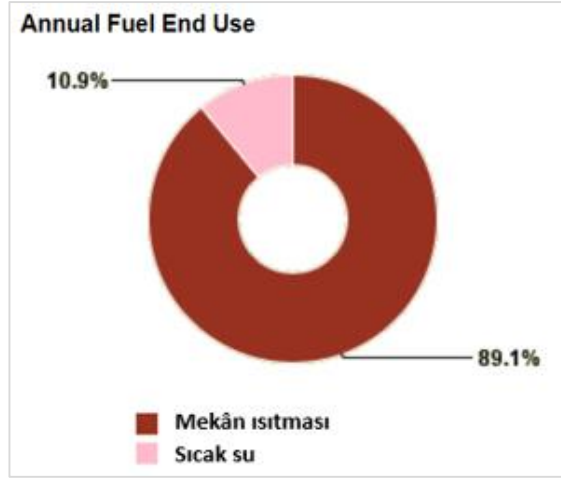


Şekil 4.10. Referans bina aylık yakıt tüketimi(m³) grafiği

GBS aracılığıyla yapılan referans bina enerji performans analizi sonucu oluşturulan yıllık elektrik ve yakıt tüketim grafikleri Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de gösterilmektedir. Bu grafiğe göre, referans binanın yıllık elektrik tüketiminin büyük bir kısmının mekânın soğutulmasından, yakıt tüketiminin ise mekânın ısıtılması ve sıcak su kullanımından kaynaklandığı gözükmektedir.

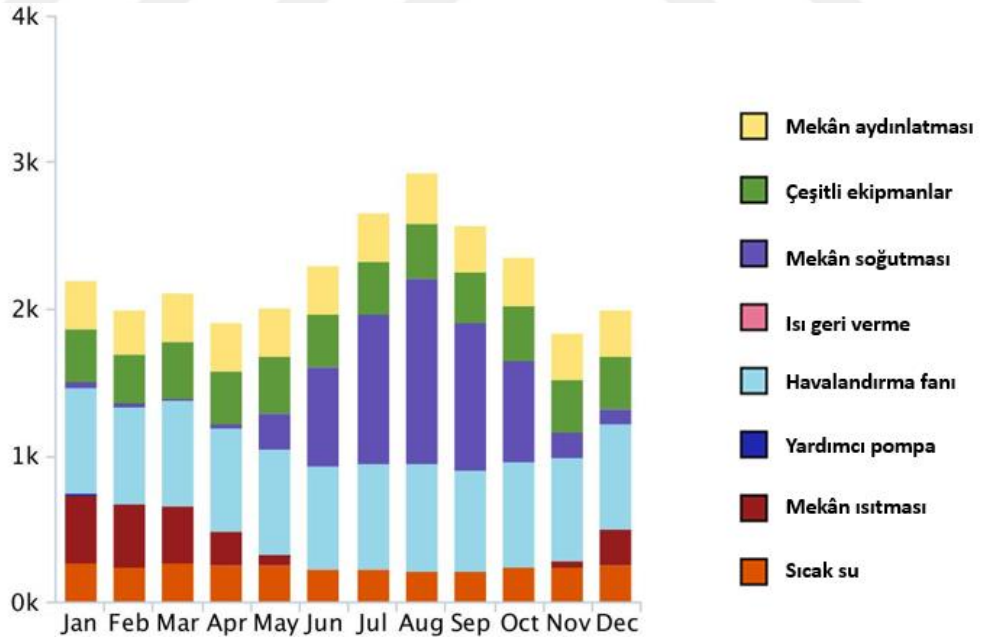


Şekil 4.11. Referans bina yıllık elektrik tüketim grafiği

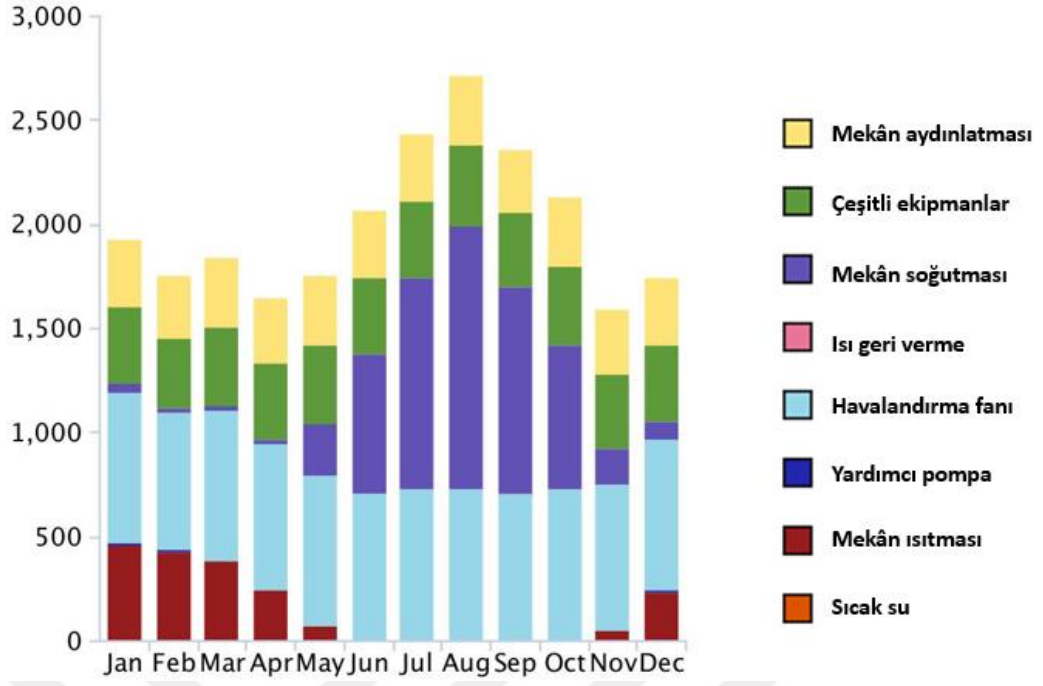


Şekil 4.12. Referans bina yıllık yakıt tüketim grafiği

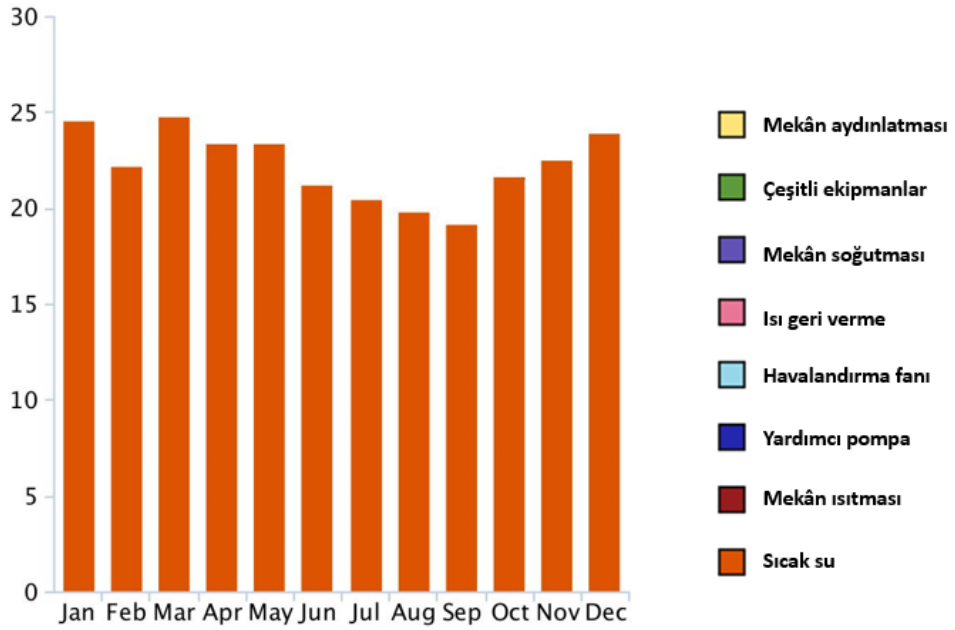
PV panel entegre edilmesi ve doğal vantilyasyon düzeni oluşturulması parametreleri eklenmeden önce yapılan enerji etkin bina analizi sonucu oluşturulan aylık toplam enerji, elektrik ve yakıt tüketim grafikleri sırasıyla Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve 4.15'te gösterilmektedir. Grafikten de görüldüğü gibi; enerji etkin bina için aylık en fazla toplam enerji ve elektrik tüketimine sırasıyla havalandırma ve mekânın soğutulması neden olmaktadır. En fazla yakıt tüketimine ise sıcak su kullanımı neden olmaktadır.



Şekil 4.13. Enerji etkin bina aylık toplam enerji tüketim(kWh) grafiği



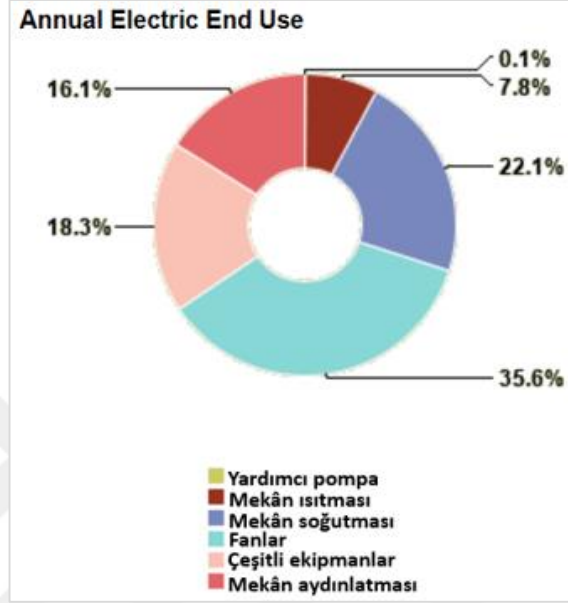
Şekil 4.14. Enerji etkin bina aylık elektrik tüketim(kWh) grafiği



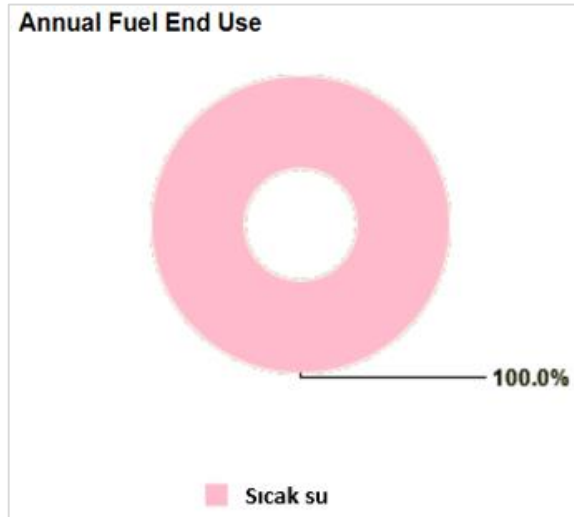
Şekil 4.15. Enerji etkin bina aylık yakıt tüketim(m³) grafiği

GBS aracılığıyla yapılan enerji etkin bina enerji performans analizi sonucu oluşturulan yıllık elektrik ve yakıt tüketim grafikleri Şekil 4.16 ve Şekil 4.17’de gösterilmektedir. Bu grafiğe göre, PV panel entegre edilmesi ve doğal vantilasyon düzeni oluşturulması parametreleri eklenmeden önce, uygulanan enerji etkin tasarım kararları sonrası yapılan enerji etkin bina analizi sonucu, binanın yıllık elektrik tüketiminin büyük bir kısmının havalandırma, mekânın soğutulması ve çeşitli ekipmanlardan kaynaklandığı

gözükmektedir. Yıllık yakıt tüketiminin tamamı ise sıcak su kullanımından kaynaklanmaktadır. Bu değerlerin yüksek çıkmasının sebebi GBS yazılımının yapısı sebebiyle, grafik hesaplanırken PV panel entegrasyonu ve doğal vantilasyon düzenlemeleri sonrası sağlanacak tasarruf miktarlarının hesaba dâhil edilmemiş olmasıdır.



Şekil 4.16. Enerji etkin bina yıllık elektrik tüketim grafiği



Şekil 4.17. Enerji etkin bina yıllık yakıt tüketim grafiği

Enerji etkin bina modelleme sürecinde aktif olarak kullanılan GBS, kullanım amacı itibarıyla kullanıcılarına profesyonel destek verebilmekte olup, önerilen alternatifler tavsiye niteliğindedir. Yazılımın kendi oluşturduğu alternatifler arasından seçim

yapılırken, tasarım parametresine göre değişmekle birlikte bazı parametrelerde spesifik malzeme seçimi yapılamadığı ve kategorisel olarak malzeme seçimi yapılabildiği görölmüştür. Aynı zamanda yazılımın yapısı sebebiyle, seçilmesi durumunda, uygulama açısından ölkemizde temin edilmesi zor olan alternatifler de bulunmaktadır. Bunun dışında enerjinin optimum kullanımı kaygısı güden tasarımcıya, hızlı karar alma ve yol gösterici bir rehber niteliği taşıdığı görölmüştür. Tasarım parametrelerine enerji kullanım ekseninde bütüncül bir çerçeveden bakabilme ve hayli uğraş gerektiren enerji performansının yükseltilmesi sürecini kısalttığı deneyimlenmiştir. Bu tip BIM ve BEM yazılımlarının, Revit ve GBS gibi birbirine bütüncül bir şekilde entegre olabilmiş yazılımların tasarımcıya, erken tasarım döneminden itibaren enerji kullanımını doğru planlama yolunda büyük kolaylıklar sağlayacağı düşünülmektedir.



5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Fosil yakıt rezervlerinin yakın bir gelecekte tükenme durumunun bulunmasına rağmen; hızla gelişme gösteren teknoloji, sanayi ve büyüyen dünya nüfusu karşısında artan enerji ihtiyacı öncelikli olarak fosil yakıtlardan sağlanmaya devam etmektedir. Yakın bir gelecekte yakıt rezervlerinin tükenme durumu bulunan fosil yakıtların enerji kaynağı olarak kullanımı, atmosferde CO₂ gibi sera gazlarının emisyon değerlerinin artmasına bu da küresel ısınma ve iklim değişikliğine neden olmaktadır. Bu durum dünya ve ülkemiz için önem verilmesi gereken konuların başlarında yer almaktadır. Artan enerji ihtiyacında önemli bir paya sahip olan yapı sektörü, bütün dünyada olduğu gibi ülkemizde de tüketilen toplam enerjinin büyük bir oranını yapılarda kullanıcı konforunu sağlamak üzere kullanmaktadır. Yapı sektöründe enerji tasarruflu önlemlerin alınması ve enerji etkin bina tasarım parametrelerinin, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının erken tasarım sürecine dâhil edilmesi zorunlu bir gereksinim halini almaktadır. Buna yönelik, enerji analiz süreci, dünyanın her yerinde artan düzenlemelerle tasarım sürecinin erken aşamasına dâhil edilmektedir. Geliştirilen enerji etkin tasarım kriterleri ve verimliliği yüksek yapı standartlarıyla binaların enerji tüketimleri oldukça düşük seviyelere çekilebilmektedir.

Bu çalışmayla, erken tasarım aşamasında binanın belirlenen enerji etkin tasarım parametreleri doğrultusunda tasarlanması ve bu aşamada binaya enerji etkin sistemlerin entegre edilmesiyle enerji tüketim miktarında sağlanan tasarruf oranı ortaya konulmuştur. Aynı zamanda BIM ve BEM süreçlerinin tasarıma dâhil edilmesinin sağladığı faydaları belirtilmiştir. Bu faydalar arasında bütünleşik çalışmayı kolaylaştırması, enerji tüketim miktarının belirlenen hedefler doğrultusunda azaltılabilmesi, BEM yazılımları aracılığıyla enerji performans analizi üzerine oluşturulan alternatifler arasından erken tasarımın aşamasından itibaren ve hatta yaşam döngüsü boyunca enerji tüketim miktarını optimum seviyede tutabilecek alternatiflerin ve iyileştirmelerin belirlenebilmesi, optimum kombinasyonların kolaylıkla oluşturulabilmesi ve tasarım sürecinde daha etkili kararlar alınabilmesi sayılabilir. Belirlenen belirlenen enerji etkin tasarım parametreleri ve enerji etkin sistemler ışığında sıcak-nemli iklim tipi için bir uygulama örneği üzerinden enerji etkin bina tasarımı modellenmiştir. Model kapsamında, enerji etkin tasarlanan alternatifi ile enerji tüketim miktarlarının karşılaştırılması için bir referans bina oluşturulmuştur. Referans bina üzerinden, binanın enerji performansını etkileyecek parametrelerin farklı alternatifleri arasından enerji tüketimini minimuma indirecek kombinasyon oluşturularak enerji

etkin bina oluşturulmuştur. Binanın modellenmesi, Revit yazılımı aracılığı ile yapılmış ve model BIM sürecine dâhil edilmiştir. Binanın, enerji performans analizlerinin yapılması ve tasarım alternatiflerinin değerlendirilmesinde, Revit'in web tabanlı enerji modelleme yazılımlarından GBS-Green Building Studio kullanılmış ve BEM süreci tamamlanmıştır. Aynı zamanda enerji etkin bina özelinde, uygun tasarım kararlarının alınmasında yol gösterici olarak Autodesk Insight yazılımından yararlanılmıştır. Enerji etkin bina ile enerji tüketim miktarı karşılaştırılmak üzere referans bina oluşturulmuştur. Yapılan enerji performans analizleri sonucu referans bina elektrik tüketimi 35.137 kWh, yakıt tüketimi 93.729 MJ;, enerji etkin bina elektrik tüketimi 15.211 kWh, yakıt tüketimi 10.253 MJ olarak hesaplanmıştır. Enerji etkin tasarım kararlarının uygulanması sonucu, referans binaya göre; elektrik tüketiminde %56,7, yakıt tüketiminde ise %89 oranında iyileşme sağlanmıştır. Bu sonuçlar, iklim tipine uygun olacak şekilde enerji etkin binanın, enerji tüketim miktarında yaşam döngüsü boyunca önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlayabileceğini göstermektedir.

Oluşturulan model yapısının esnekliği, farklı iklim tiplerine de uyarlanabilir olmasını sağlamaktadır. Çalışma, akademik açıdan öğrencilere, bu konudaki çalışmaların artarak devam etmesi amacıyla teşvik sağlama ve enerji etkin bina tasarımı konusundaki bilgilerini artırabilmeleri açısından kullanılabilir potansiyeli taşımaktadır. Modelleme sürecinde enerji tüketim miktarlarına ulaşmak hedeflenmiş olup maliyet etkinliği açısından da çalışmaların yapılması gerekmektedir. Aynı zamanda enerji etkinliğinin artırılması amacıyla, ülkemizde uygulanan konvansiyonel tasarım sürecinin uluslararası tasarım sürecine entegre olması gerekmektedir. Bu tür çalışmaların artmasıyla sağlanabilecek enerji tasarrufunun, kısıtlı enerji kaynaklarının optimum kullanılması ve ülke ekonomisine katkı sağlama yönünde pozitif gelişmeler olduğu dikkate alınmalıdır.

KAYNAKLAR

- Abanda, F. H., Byers, L., 2016. An Investigation of the Impact of Building Orientation on Energy Consumption in A Domestic Building Using Emerging BIM(Building Information Modelling). *Energy*, 97, 517-527.
- Akmalı Özçiftçi, S., 2010. Ekolojik Binalarda Enerjinin Etkin Kullanılmasının İrdelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 161s, İzmir.
- Aljundi, K., Pinto, A., Rodrigues F., 2016. Energy Analysis Using Cooperation Between BIM Tools(Revit And Green Building Studio) And Energy Plus. 1º Congresso Português de Building Information Modelling, 24-25 November, Guimarães, Portugal, 1-11.
- Arpacıoğlu, Ü. T., 2010. Günışığı Öncelikli Fiziksel Çevre Tasarım Destek Modeli. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 259s, İstanbul.
- Aşıkoğlu, A., 2014. Sürdürülebilir Konut Yapılarında Pasif Sistemlerin Kullanılan Teknikler Açısından İrdelenmesi; İzmir İli için Bir Uygulama Örneği. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 203s, İzmir.
- Avrupa Birliği Türkiye Delegasyonu, 2016. Geleceğe Dair: Paris İklim Anlaşması. Erişim Tarihi: 20.12.2018. https://www.avrupa.info.tr/sites/default/files/2016-08/brochure_4_v2.pdf
- Çelik Bedeloğlu, A., Demir, A., Bozkurt, Y., 2010. Fotovoltaik Teknolojisi: Türkiye ve Dünyadaki Durumu, Genel Uygulama Alanları ve Fotovoltaik Tekstiller. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4(2), 43-58.
- Buratti, C., Moretti, E., Zinzi, M., 2017. High Energy-Efficient Windows with Silica Aerogel for Building Refurbishment: Experimental Characterization and Preliminary Simulations in Different Climate Conditions. *Buildings*, 7(8), 1-12.
- Chel, A., Kaushik, G., 2017. Renewable Energy Technologies for Sustainable Development of Energy Efficient Building. *Alexandria Engineering Journal*, 57(2), 1-15.
- Çağlı Şahin, Z., 2018. Enerji Etkin Bina Tasarımı ve Adana Örneği. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 172s, Adana.
- Çamalan, İ., Çamalan, G., 2004. Antalya İli ve Çevresi İklim Elemanlarının Dağılımı ve Meteorolojik Risk Haritaları. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü-Antalya Meteoroloji Bölge Müdürlüğü, 224s.
- Çelebi, G., 2002. Bina Düşey Kabuğunda Fotovoltaik Panellerin Kullanım İlkeleri. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 17(3), 17-33.
- Çelik, E., 2009. Yeşil Bina Sertifika Sistemlerinin İncelenmesi Türkiye'de Uygulanabilirliklerinin Değerlendirilmesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 97s, İstanbul.
- Çengel, Y.A, Boles, M.A., 2012. Termodinamik; Mühendislik Yaklaşımıyla. Çev. Pınarbaşı, A. Güven Bilimsel Kitapevi, 945s, İzmir.

- Demirbilek, F. N., İrklı Eryıldız, D., 2001. Güneş Mimarlığı. Ankara: Temiz Enerji Vakfı.
- Demirel, B., 2013. Pasif Ev Uygulamasının Türkiye için Değerlendirilmesine Yönelik Bir Çalışma. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 83s, İstanbul.
- Dizdar, H., 2009. İklimsel Tasarım Parametreleri Açısından Geleneksel ve Yeni Konutların Değerlendirilmesi: Diyarbakır Örneği. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 219s, İstanbul.
- Douglass, C. D., 2010. Instructional Modöles Demonstrating Building Energy Analysis Using A Building Information Model. University of Illinois, M.Sc. Thesis, 94p, Urbana-Champaign.
- Erkmen, F. İ., Gedik, G. Z., 2007. Örnek Bir Konutun Farklı Yöntemlerle Hesaplanan Soğutma Yüklerinin Karşılaştırılması: Antalya ve Diyarbakır Örneği. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 6(11), 143-163.
- Gazioğlu, A., 2012. Enerji Etkin Bina Tasarımında Isıtma Enerjisi Harcamalarını Azaltmaya Yönelik Bir İyileştirme Çalışması. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 63s, İstanbul.
- Gerrish, T., Ruikar, K., Cook, M., 2017. Using BIM Capabilities to İmprove Existing Building Energy Modelling Practices. Engineering, Construction and Architectural Management, 24(2), 190-208.
- Gil-Lopez, T., Gimenez-Molina, C., 2013. Influence of double glazing with a circulating water chamber on the thermal energy savings in buildings. Energy and Buildings 56, 56-65.
- Holloway, D.R., 2011. A Simple Design Methodology For Passive Solar Houses. Erişim Tarihi: 12.10.2018.
<http://www.dennisrhollowayarchitect.com/SimpleDesignMethodology.html>
- Işın, A., 2016. Konut ve Yerleşmelerin Ön Tasarımında Enerji Etkinliğine İlişkin Bir Model Önerisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 143s, İstanbul.
- İnan, T., Başaran, T., 2013. Çift Cidarlı Cephelerdeki Etkin Mimari Tasarım Kararları. SAÜ Fen Bilimleri Dergisi, 17(3), 427-436.
- Kabakçı, O.K., 2018. Türkiye'de Bulunan Farklı Bina Tipolojilerinde Yerinde Üretim Olanaklarının Enerji Verimliliği Çerçevesinde Değerlendirilmesi. Erişim Tarihi: 17.12.2018.
<http://www.etkuzmanlari.org/wp-content/uploads/2018/01/Binalarda-Yerinde-%C3%9Cretim-ve-Enerji-Verimlili%C4%9Fi.pdf>
- Karaaslan, S., 2011. Sürdürülebilir Mimari Tasarım Sürecinde Ön Tasarım Kararlarını İçeren Bir Model Önerisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 163s, İstanbul.
- Karabuğa, A., Yakut, M.Z., Selbaş, R., 2017. Bir Turizm Tesisinde Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sisteminin İncelenmesi. Akademia Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 1(3), 95-104.

- Keskin, T., 2012. Yapı Kabuğunda Enerji Etkin İyileştirmeye Yönelik Güneş Isı Kazanç Faktörü ve Hava Sızdırmazlık Parametrelerinin İncelenmesi Edirne Örneği. Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 56s, Edirne.
- Kısa Ovalı, P., 2009. Türkiye İklim Bölgeleri Bağlamında Ekolojik Tasarım Ölçütleri Sistematiğinin Oluşturulması "Kayaköy Yerleşmesinde Örneklenmesi". Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 223s, Edirne.
- Kim, S., Zadeh, P. A., Staub-French, S., Froese, T., Terim Cavka, B., 2016. Assessment of the Impact of Window Size, Position and Orientation on Building Energy Load Using BIM. *Procedia Engineering*, 145, 1424–1431.
- Koca, Ö., 2006. Sıcak Kuru ve Sıcak Nemli İklim Bölgelerinde Enerji Etkin Yerleşme ve Bina Tasarım İlkelerinin Belirlenmesine Yönelik Yaklaşım. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 147s, İstanbul.
- Lakot, E., 2007. Ekolojik ve Sürdürülebilir Mimarlık Bağlamında Enerji Etkin Çift Kabuklu Bina Cephe Tasarımlarının Günümüz Mimarisindeki Yeri ve Performansı Üzerine Analiz Çalışması. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 184s, Trabzon.
- Livatyalı, H., 2011. Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi Teknolojileri. TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Enstitüsü-MAM, 32s.
- Meteoblue. 2014. İklim Antalya. Erişim Tarihi: 23.11.2018. https://www.meteoblue.com/tr/hava/tahmin/modelclimate/antalya_turkiye_323777
- Moakher, P. E., Pimplikar, S. S., 2012. Building Information Modeling (BIM) and Sustainability–Using Design Technology in Energy Efficient Modeling. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 1(2), 10-21.
- Moral Uğur, E., 2006. Güneş Pillerinin Yapı Kabuk Elemanları ile Bütünleştirilmelerine Yönelik Bir Araştırma. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 85s, İstanbul.
- Mousiadis, T., Mengana, S., 2016. Parametric BIM: Energy Performance Analysis Using Dynamo for Revit. *Kungliga Tekniska Högskolan, M.Sc.Thesis*, 46p, Stockholm.
- Mujeebu, M. A., Ashraf, N., Alsuwayigh, A. H., 2016. Effect of Nano Vacuum Insulation Panel And Nanogel Glazing on The Energy Performance of Office Building. *Applied Energy*, 173, 141–151.
- Oğuz, Y., Karakan, A., Uslu, B., 2015. Afyonkarahisar'da Kurulu Olan Monokristal, Polikristal ve İnce Film Güneş Panellerinin Verimliliğinin İncelenmesi. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 149, 47-58.
- Olgun, B., Kurtuluş, O., Heperkan, H., 2009. Yeşil Binalar ve LEED. *Mühendis ve Makina Dergisi-MMO Dergisi*, 50(594), 53-59.
- Özaydoğdu, G., 2015. Enerji Etkin Pasif Sistemlerin Tasarım Boyutunda Önemi ve Bu Bağlamda Dicle Üniversitesi Lojmanlarının Değerlendirilmesi. Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 129s, Diyarbakır.

- Özcan, H., 2010. Yapı Bilgi Sistemleri ve Mimarlıktaki Yeri. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 101s, İstanbul.
- Özdemir, B. B., 2005. Sürdürülebilir Çevre için Binaların Enerji Etkin Pasif Sistemler Olarak Tasarlanması. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 123s, İstanbul.
- Özkılıç Keleş, C., 2008. Türkiye'de Binalarda Enerji Verimliliği Açısından Fotovoltaik Sistemlerin Kullanılmasına Yönelik Bir İnceleme. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 152s, İstanbul.
- Özler, E., 2003. Akıllı Binalarda Enerji Etkin Tasarım Parametreleri. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 141s, İstanbul.
- REN21., 2018. Renewables 2018 Global Status Report. 324p.
- Rocha, C.R.F., 2017. Generative Design for Energy Efficiency Energy Analysis and Optimization. Technico Lisboa University, M.Sc. Thesis, 94p, Lisbon.
- Savaşkan, M. O., 2015. Yüksek Enerji Performanslı Konut Yapıları için BIM Tabanlı Bir Açık Kaynak Bilgi Sistemi Modeli. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 83s, İstanbul.
- Schulze, T., Eicker, U., 2013. Energy and Buildings Controlled Natural Ventilation For Energy Efficient Buildings. Energy and Buildings, 56, 221-232.
- Shim, J., Song, D., Kim, J., 2018. The Economic Feasibility of Passive Houses in Korea. Sustainability, 10(3558), 1-16.
- Shivsharan, A. S., Vaidya, D. R., Shinde, R. D., 2017. 3D Modeling and Energy Analysis of a Residential Building using BIM Tools. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 4(7), 629-636.
- Sorgato, M.J., Melo, A.P., Lamberts, R., 2016. The Effect of Window Opening Ventilation Control on Residential Building Energy Consumption. Energy and Buildings, 133, 1-13.
- Soysal, S., 2008. Konut Binalarında Tasarım Parametreleri ile Enerji Tüketim İlişkisi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 129s, Ankara.
- TS 825, 2008. TS825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standartı. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Turgut, A., Evgin, T., 2017. Hava-Su Kaynaklı Isı Pompasının Deneysel İncelenmesi. Erişim Tarihi: 17.12.2018. <http://makina.deu.edu.tr/wp-content/uploads/2017/09/5HeatPump.pdf>.
- Ulukavak Harputlugil, G., 2016. Enerji Verimli Bina Tasarım Stratejileri. ÇŞB, 38s.
- Uslusoy, S., 2012. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kullanan Enerji Etkin Binaların Yapı Bileşeni Açısından İncelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 172s, İzmir.

- Üçgöl, İ., Tüysüzoğlu, E., Yakut, M.Z., 2014. PV Çatı Uygulaması için Enerji Hesaplaması ve Ekonomik Analiz. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 18(2), 1-6.
- Veziroğlu, V., 2010. Enerji Etkin Yapı Tasarım Kriterleri, Sürdürülebilir Kaynakların Yapıda Kullanımı ve Mimari Örnekler. Haliç Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 142s, İstanbul.
- Yakut, M.Z., Selbaş, R., Yakut, G., 2013. Ofis Ortamında İklimlendirmenin Çalışanlara Etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 1, 97-106.
- Yakut, M.Z., Esen, S., 2017. Principles of Energy Efficient Building Design. ICEUBI2017-International Congress on Engineering 2017, 5-7 December, University of Beira Interior, Covilhã, Portugal.
- Yasan, A. S., 2011. Bina Tasarım Parametrelerinin Enerji Harcamalarına Etkilerinin Belirlenmesine Yönelik Bir Çalışma. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 137s, İstanbul.
- YEGM., 2018. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023. 96s.
- Yener, A. K., 2007. Binalarda Günışığından Yararlanma Yöntemleri: Çağdaş Teknikler. VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 25-28 Ekim, İzmir, 231-241.
- Yılmaz, A., Yılmaz, A.S., Bolek, Y., 2015. BIPV ile Güneş Enerjili Konutlar. International Journal of Scientific and Technological Research-IIESTE, 1(1), 109-114.
- Yörük, B., 2014. Akdeniz İklim Bölgesi İçin Enerji Etkin Bina Kabuğu Tasarımında Yenilikçi Pasif Yaklaşımlar. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 58s, İstanbul.
- Yüksel, N., 2005. Günümüz Kamu Kurumlarında Yapısal Konfor Koşullarının Tespit Edilmesine Yönelik Bir Çalışma. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 10(2), 21-31.
- Zerefos, S. C., Tassas, C. A., Kotsiopoulos, A. M., Founda, D., Kokkini, A., 2012. The role of building form in energy consumption: The case of a prismatic building in Athens. Energy and Buildings, 48, 97-102.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Sinem ESEN
Doğum Yeri ve Yılı : İstanbul, 1991
Medeni Hali : Bekâr
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : snemesen@gmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Kasımpaşa Anadolu Lisesi, 2009
Lisans : SDÜ, Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü

Yayınlar

Yakut, M.Z., Esen, S., 2017. Principles of Energy Efficient Building Design. ICEUBI2017-International Congress on Engineering 2017, 5-7 December, University of Beira Interior, Covilhã, Portugal.