

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPILARDA KULLANILAN GÜNEŞ ENERJİSİ KAZANÇ
SİSTEMLERİNİN ENERJİ TÜKETİMLERİNE ETKİSİNİN
ÖRNEK BİR KONUT YAPISI ÜZERİNDE
DEĞERLENDİRİLMESİ

ZEYNEP AYBÜKE TIRYAKI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI

GEBZE
2022

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPILARDA KULLANILAN GÜNEŞ
ENERJİSİ KAZANÇ SİSTEMLERİNİN
ENERJİ TÜKETİMLERİNE ETKİSİNİN
ÖRNEK BİR KONUT YAPISI ÜZERİNDE
DEĞERLENDİRİLMESİ

ZEYNEP AYBÜKE TİRYAKİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
DR. ÖĞRETİM ÜYESİ ELİF ÖZER YÜKSEL

GEBZE

2022

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**EVALUATION OF THE EFFECT OF
SOLAR ENERGY GAIN SYSTEMS USED
IN BUILDINGS ON ENERGY
CONSUMPTION ON AN EXAMPLE
HOUSING STRUCTURE**

ZEYNEP AYBÜKE TİRYAKİ
A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF ARCHITECTURE

THESIS SUPERVISOR
ASSIST. PROF. DR. ELİF ÖZER YÜKSEL

GEBZE

2022



YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 07/02/2022 tarih ve 2022/08 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 17/02/2022 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Zeynep Aybüke TİRYAKİ' nin tez çalışması Mimarlık Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) :Dr. Öğr. Üyesi Elif ÖZER YÜKSEL

ÜYE

:Doç. Dr. Saniye KARAMAN ÖZTAŞ

ÜYE

:Dr. Öğr. Üyesi Suzi Dilara MANGAN

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

ÖZET

İnsanlar tarih boyunca iklimlerin sert koşullarından korunabilmek için yerel ve sürdürülebilir yapı formları geliştirmişlerdir. Hızla artan nüfus, endüstrileşme gibi faktörler doğal kaynakların tükenmesine sebep olmuştur. Fosil yakıtların tüketilmesi dünyanın ekolojik dengesi üzerinde ciddi problemler yaratmıştır. Bu durumun önüne geçilebilmesi için yenilenebilir kaynakların kullanımının artırılması gerekmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi birçok sektörde kullanılmaktadır. Yapılarda da güneş enerjisinden yararlanmak mümkündür.

Tez kapsamında güneş enerjisi kazanç sistemlerinin tarihsel süreç içerisindeki gelişimleri incelenmekte, ülkelerin güneş enerjisi kazanç sistemlerine dair uygulamaları ve teşvikleri araştırılmaktadır. Yapılarda kullanılan pasif, aktif ve hibrit güneş enerjisi kazanç sistemleri sistematik bir biçimde açıklanmaktadır. Referans bir konut yapısı üzerinde enerji simülasyon araçlarından biri olan Revit Insight programı aracılığı ile güneş enerjisi kazanç sistemlerinin yapının enerji harcamalarına olan etkisi analiz edilmektedir. Yapılan analizler doğrultusunda referans yapı ile sistemlerin kullanıldığı tasarım alternatifleri arasında oluşan enerji harcamaları farklılıkları ortaya konmuş, verimlilik oranları tespit edilmiştir. Analiz sonucunda güneş enerjisinden pasif, aktif ve hibrit kazanç sistemlerinin kullanımları ile yapıların verimliliklerinin artırılabilirdiği ortaya konmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi Kazanç Sistemleri, Pasif Sistemler, Aktif Sistemler, Hibrit Sistemler, Simülasyon Aracı.

SUMMARY

Throughout history, people have developed local and sustainable building forms in order to be protected from the harsh conditions of climates. Factors such as rapidly increasing population and industrialization have caused the depletion of natural resources. Consumption of fossil fuels has created serious problems on the ecological balance of the world. In order to prevent this situation, it is necessary to increase the use of renewable resources. Solar energy, one of the renewable energy sources, is used in many sectors. It is also possible to benefit from solar energy in buildings.

Within the scope of the thesis, the development of solar energy gain systems in the historical process is examined, the applications and incentives of countries on solar energy gain systems are investigated. Passive, active and hybrid solar energy gain systems used in buildings are systematically explained. The effect of solar energy gain systems on the energy expenditure of the building is analyzed through the Revit Insight program, which is one of the energy simulations tools on a reference residential building. In line with the analyzes made, the differences in energy expenditures between the reference structure and the design alternatives in which the systems are used have been revealed, and the efficiency rates have been determined. As a result of the analysis, it is revealed that the efficiency of the structures can be increased by the use of passive, active and hybrid gain systems from solar energy.

Key Words: Solar Energy Gain Systems, Passive Systems, Active Systems, Hybrid Systems, Simulation Tool.

TEŞEKKÜR

Öncelikle tez çalışmamın planlanması ve yürütülmesi sırasında danışmanlığımı yapan, yol gösteren çok sevgili hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Elif Özer Yüksel'e, tez çalışmamda jüri olma nezaketini gösteren ve zamanlarını ayıran hocalarıma, lisans ve lisansüstü eğitimim boyunca katkılarını sunan hocalarıma;

Lisansüstü süreci boyunca her daim desteğini hissettiğim, bütün sorularıma bıkmadan cevap veren, derttaşım Ayşe Feyza KARAKOÇ' a;

Çalışmak için her masaya oturduğumda bilgisayarıma yaslanıp uyuyan, her daim gurlayarak yanımda olan hayvan dostum Fibi' ye;

Hem en güzel zamanlarımda hem de en zor zamanlarımda daima yanımda olan, bana baharların sessizleşmemesi gerektiğini öğreten, içimdeki doğaya olan saygıyı, sevgiyi büyüten, beni bugünlere getiren canım babam Adnan TİRYAKİ' ye ve biricik annem Leyla TİRYAKİ' ye, dostum, ablam, oyun arkadaşım, kardeşim, daha birçok şeyim olan ablam Gamze Gül'e, sarı çiçeğim Asude Begüm'e ve sarı böceğim Kutlu Töre' ye;

Zor zamanların sonunda kalkıp devam edebildiğim için, henüz yılmadığım ve pes etmediğim için, bugünleri görebildiğim için kendime;

Tüm içtenliğimle çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLolar DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Sorun	1
1.2. Amaç ve Kapsam	3
1.3. Yöntem ve Hipotez	3
2. MİMARLIK VE ENERJİ	5
2.1. Yenilenebilir Bir Enerji Kaynağı Olarak Güneş	6
2.1.1. Güneş Enerjisi Kullanımının Tarihçesi	8
2.1.2. Yapılarda Güneş Enerjisi Kullanımı Üzerine Literatür Analizi	14
2.1.3. Yapılarda Güneş Enerji Sistemlerinin Sınıflandırılma Önerisi	20
2.1.4. Dünyada Güneş Enerjisi Potansiyeli, Kullanımı ve Teşvikler	21
2.1.5. Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli, Kullanımı ve Teşvikler	24
3. YAPILARDA KULLANILAN GÜNEŞ ENERJİSİNDEN KAZANÇ SİSTEMLERİ	28
3.1. Pasif Güneş Enerjisi Kazanç Sistemleri	28
3.1.1. Pasif Güneş Enerjisi Kazanç Sistemlerini Etkileyen Parametreler	29
3.1.1.1. Yönlenme ve Konum	30
3.1.1.2. Form	30
3.1.1.3. Bina Kabuğu	32

3.1.2. Doğrudan Kazanç Sistemleri	33
3.1.3. Dolaylı Kazanç Sistemleri	34
3.1.3.1. Düşey Sistemler	34
3.1.3.2. Yatay Sistemler	37
3.2. Aktif Güneş Enerjisi Kazanç Sistemleri	38
3.2.1. Güneş Kolektörleri	38
3.2.2. PV Sistemler	40
3.3. Hibrit Güneş Enerjisi Kazanç Sistemleri	43
3.3.1. Pasif Güneş Enerjisi Kazanan Hibrit Sistemler	44
3.3.1.1. Faz Değiştiren Malzemeli Cephe Sistemleri	45
3.3.1.2. Pasif Güneş Enerjisi Kazanan Hibrit Trombe Duvarları	46
3.3.1.3. Hareketli Güneş Kontrol Elemanları	47
3.3.2. Pasif ve Aktif Güneş Enerjisi Kazanan Hibrit Sistemler	50
3.3.2.1. Pasif ve Aktif Güneş Enerjisi Kazanan Hibrit Trombe Duvarları	50
3.3.2.2. Fotovoltaik Entegre Güneş Kontrol Elemanları	51
3.3.2.3. Fotovoltaik Entegre Saydam Cepheler	52
4. PASİF VE AKTİF GÜNEŞ ENERJİSİ KAZANÇ SİSTEMLERİNİN BİR KONUT YAPISININ ENERJİ TÜKETİMLERİNE ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	55
4.1. Çalışmanın Yöntemi	55
4.1.1. Analiz Programı Tanıtımı	55
4.1.2. Bina Seçim Kriterleri	58
4.1.2.1. Yapı Tipi Seçimi	58
4.1.2.2. İklim Bölgesi Seçimi	60
4.2. Referans Bina Verileri	64
4.2.1. Referans Bina Mimari Proje	64
4.2.2. Enerji Simülasyonu Programı Ayarları	67
4.3. Enerji Analizleri	69
4.3.1. Güneş – Gölge Analizi	69
4.3.2. Güneş Işınım Analizi	71
4.3.3. Yönlenme Analizi	73
4.4.4. Cephe Saydırlık Oranı Analizi	75

4.4.5. Sera Etkisi Analizi	78
4.4.6. PV Panel Potansiyeli Analizi	79
4.4. Değerlendirme	81
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	90
KAYNAKLAR	94
ÖZGEÇMİŞ	103
EKLER	104

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve **Açıklamalar** **Kısaltmalar**

ASHRAE	: American Society of Heating Refrigerating
BIM	: Building Information Modeling
BIPV	: Building Integrating Photovoltaics
CAD	: Computer Aided Design
Cm	: Santimetre
EPS	: Expanded Polystyren Foam
GW	: Gigawatt
IEA	: International Energy Agency
İZODER	: Isı Su Ses ve Yangın Yalıtımcıları Derneği
Kg	: Kilogram
KW	: Kilowatt
MW	: Megawatt
PV	: Photovoltaic
SAI	: Solar America Initiative
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
TW	: Terawatt
U	: Isıl Geçirgenlik Birimi

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Azimut ve rakım (altitude).	7
2.2: Sokrates Evi a) Plan b) Kesit.	9
2.3: Güneş enerjisi kullanımı tarihçesi.	13
2.4: 2010-2020- yılları arasında küresel PV enerjisindeki artış.	14
2.5: Pasif güneş enerji sistemlerinin gruplandırılması.	18
2.6: Aktif güneş enerji sistemlerinin gruplandırılması.	18
2.7: Yapılarda kullanılan güneş enerjisinden kazanç sistemleri.	20
2.8: Küresel güneşlenme haritası.	21
2.9: 1990-2018 Dünya PV panellerden elde edilen elektrik miktarı.	22
2.10: Türkiye güneşlenme haritası.	25
2.11: 1990-2018 Dünya PV panellerden elde edilen elektrik miktarı.	26
3.1: Farklı yüzey/hacim oranlarının ısıtma yükü üzerine etkisi.	31
3.2: Güneşten doğrudan kazanç sistemi.	33
3.3: Trombe duvarı sistemi.	35
3.4: Çağdaş Trombe duvarı prototipleri.	36
3.5: Bidon duvarı sistemi.	36
3.6: Çatı Havuz Sistemi.	37
3.7: Havalı güneş kolektörü kesit ve görünüşü.	39
3.8: PV hücre, modül, panel ve dizisi.	41
3.9: Solar panel diagramı.	41
3.10: Tesla, Solar Roof.	43
3.11: Marché International Support Office, Cephe sistemi.	46
3.12: Faz değiştiren malzemeli trombe duvarı.	47
3.13: Henning Larsen's Üniversite Binası hareketli güneş kontrol elemanları.	49
3.14: ThyssenKrupp Quarter Essen Binası hareketli güneş kontrol elemanları.	49
3.15: Pv-Trombe duvarı deney düzeneği.	51
3.16: Fotovoltaik panelli yatay güneş kırıcı ve giydirme cephe hibrit sistem.	52
3.17: Gemini House fotovoltaik güneş kontrol elemanları.	52
3.18: Architecture Science and Ecology Center, PV entegre cephe sistemi.	53
3.19: Şeffaf fotovoltaik kaplı hibrit cepheler.	54
4.1: Autodesk Revit Malzeme Editörü.	58

4.2:	Köppen iklim sınıflandırması haritası.	62
4.3:	Kocaeli ili iklim verileri.	62
4.4:	Referans yapının yeri ve iklim verilerinin alındığı meteoroloji istasyonu.	63
4.5:	Yapı vaziyet planı.	64
4.6:	Referans bina dış duvar detayı.	66
4.7:	Revit programına girilen dış duvar katmanlarının özellikleri.	66
4.8:	Referans bina oturtma ahşap çatı nokta detayları.	67
4.9:	Konut yapı tipine ait varsayılan ayarlar.	68
4.10:	Güneş – gölge analizi.	70
4.11:	21 Mart tarihinde referans binaya ait güneş ışıınım analizi.	71
4.12:	21 Haziran tarihinde referans binaya ait güneş ışıınım analizi.	72
4.13:	23 Eylül tarihinde referans binaya ait güneş ışıınım analizi.	72
4.14:	21 Aralık tarihinde referans binaya ait güneş ışıınım analizi.	72
4.15:	Referans bina plan şemasında cam kaplanacak balkonların yerleri.	78
4.16:	Güney yönde yerleştirilen PV panellerin potansiyel enerji analizi.	80
4.17:	Güney yönde yerleştirilen PV panellerin potansiyel enerjinin miktarı.	80
4.18:	Güney yöndeki PV ve BIPV panellerin potansiyel enerji analizi.	81
4.19:	Güney yöndeki PV ve BIPV panellerin potansiyel enerji miktarı.	81

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Pasif ve aktif güneş enerji sistemleri literatür taraması.	15
4.1: Referans bina verileri.	64
4.2: Referans binaya ait malzemelerin termal ve fiziksel özellikleri.	65
4.3: Güneş ışıınım analizleri sayısal değerleri.	73
4.4: Yönlenmenin enerji üzerindeki etkisi.	74
4.5: Malzeme farklılığının enerji üzerindeki etkisi.	75
4.6: Referans yapıya ait saydamlık oranları.	75
4.7: Saydamlık oranının yıllık elektrik ihtiyacına olan etkisi (kWh).	76
4.8: Saydamlık oranının yıllık yakıt ihtiyacına olan etkisi (Kalori).	76
4.9: Saydamlık oranının enerji kullanım yoğunluğuna etkisi (MJ/m ² /yıl).	77
4.10: Referans yapı saydamlık oranlarına bağlı verileri.	77
4.11: Referans yapı sera etkisi analizi verileri.	79
4.12: Tasarım alternatiflerine ait sayısal veriler.	82
4.13: Yapı yönlenmesinin enerji üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi.	84
4.14: Low-e cam kullanılan tasarım alternatifi.	85
4.15: Saydamlık oranlarının enerji ihtiyaçlarına olan etkisi.	86
4.16: Sera etkisinin enerji ihtiyaçlarına olan etkisi.	87
4.17: BIPV ile kazanılan güneş enerjisi miktarları.	88
4.18: Tasarım alternatifleri enerji verimlilik oranları.	89

1. GİRİŞ

Tarih boyunca insanlar korunmak, tapınmak, sosyalleşmek gibi ihtiyaçlarını karşılayabilmek için yapılar üretmişlerdir. Yapılardaki konfor koşullarını sağlayabilmek amacıyla doğal kaynakları kullanmışlardır. İhtiyaç duydukları kaynakları yaşam alanlarına en yakın yerlerden elde etmişler ve sahip oldukları kaynaklara göre toplumsal, ekonomik, fiziki gelişmeler göstermişlerdir. İklim koşullarının olumsuz etkilerinden korunabilmek için yerel ve sürdürülebilir yapılar geliştirmişlerdir. Kentlerdeki insan nüfusunun artmasıyla birlikte günümüzde kentsel alanlarda yerellikten ve yerel sürdürülebilirlik anlayışından uzaklaşıldığı görülmektedir.

Sanayi devriminden sonra nüfus artışı, endüstrileşme gibi faktörler hızla doğal kaynakların tükenmesine sebep olmuştur. Artan enerji ihtiyacını karşılamak için insanoğlu enerji üretebileceği kaynaklara yönelmiş ve yüksek oranda enerji üreten fosil kaynaklı yakıtlar kullanılmaya başlanmıştır. Ancak milyonlarca yılda oluşmuş bu yakıtların bir anda yakılarak tüketilmesi dünyanın ekolojik dengesi üzerinde önemli sorunlara neden olmuştur. Son yüzyılda oluşan bu durum küresel iklim değişikliklerine, dolayısıyla dünya üzerindeki canlı yaşamını tehdit eden, önüne geçilemez doğal felaketlere neden olmaktadır [Aykal vd., 2009].

1.1. Sorun

Tarihin ilk zamanlarından itibaren üretilen barınaklar zamanla gelişerek yaşam alanlarına dönüşmüşlerdir. Bu dönemlerde insanların temel hedefi diğer tüm canlılar gibi doğadan korunmak olmuştur. Zamanla teknolojinin gelişimi, sosyal bir varlık olan insanın bir arada yaşama isteği gibi nedenlerle şehirler kurulmaya başlanmıştır. Şehirlerin ve sanayileşmenin gelişimi doğal kaynakların hızla tükenmesine ve doğanın ciddi tahribatına sebep olmuş, insanlık doğanın etkisinden korunmayı başardığı ancak doğayı olumsuz etkilediği bir zaman dilimine girmiştir. Bu etkilemenin sonucunda doğaya verdiği zararın sonuçları ile karşılaşan insanlık var olma sürecini devam ettirebilmek için yenilenebilir enerji, sürdürülebilirlik, ekoloji gibi kavramları üreterek bu alanlardaki çalışmalarını başlatmıştır.

1973'te doğadan kullanılan kaynakların sınırlı olduğu petrol krizi nedeniyle ortaya çıkmıştır. Alternatif ve sınırsız enerji kaynakları bulabilmek hedefi ile yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde çalışmalar yoğunlaşmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları; güneş, rüzgâr, hidro, jeotermal, odun, biyokütle, gel-git ve dalga olarak kabul edilmektedir [T.C Dış İşleri Bakanlığı, 2022]. Bu kaynaklardan farklı yollarla enerji elde edilebilmektedir. Teknolojik gelişmeler ışığında yeni yenilenebilir enerji kaynakları bulunmakta ve bu tür sonsuz kaynaklardan en verimli biçimde enerji elde edilmesi amacıyla çalışmalar yapılmaktadır.

“Güneş enerjisi açıkça diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına kıyasla çevresel olarak avantajlıdır ve ciddi bir sürdürülebilirlik kalkınma programında temeli oluşturur.”
[Wang and Qui, 2009].

Yukarıda bahsedildiği gibi güneş enerjisi yenilenebilir kaynaklar arasında oldukça önemli bir yere sahiptir. Yapı sektöründe de tüm sektörlerde olduğu gibi güneş enerjisi sıkça kullanılmaktadır. En küçük ölçekli yapılardan en büyük ölçekli yapılara kadar tüm tipolojilerdeki yapılarda güneş enerjisinden yararlanabilmek mümkündür.

Pasif güneş enerji sistemleri; güneş enerjisini fanlar, pompalar veya karışık ve enerji gerektiren kontrol elemanları kullanmadan toplayan, depolayan ve dağıtan sistemlerdir [Lechner, 2014]. Pasif güneş enerji sistemleri ile yapının ısıtma, soğutma, iklimlendirme ve aydınlatma yükleri azaltılarak enerji verimliliği sağlanabilmektedir.

Aktif güneş enerji sistemleri; güneş enerjisini istenilen enerji türüne dönüştürmek için kullanılan elektronik ve mekanik sistemlerin bütünüdür. Bu sistemler sayesinde yapı kendi enerjisini üreterek şebekeden bağımsız hale gelebilmektedir.

Yenilenemez kaynakların hızla tüketilmesi sebebiyle doğanın dengesi bozulmuş, tsunami, seller ve depremler gibi gün geçtikçe sayıları ve şiddetleri artan doğal felaketler ve iklim krizi tüm canlıları etkileyen bir etki alanına ulaşmıştır. Tüm bu felaketlerin insan yaşamına olan büyük etkilerinden korunabilmek amacıyla, günümüzde sahip olduğumuz enerji şebekelerinden destek alınmadan temel yaşamsal faaliyetlerin sürdürülebilir olmasının önemi büyüktür. Bu tür bir sürdürülebilirlik, şebekelerden bağımsız şekilde minimum yaşamsal şartların bireysel olarak sağlanabiliyor olunmasına bağlıdır.

İnsanoğlunun yaşamını sürdürebilmesinde önemli bir rol oynayan barınma gereksiniminin sürdürülebilir ve doğal kaynaklara ve doğal çevreye zarar vermeden ve en az müdahale ile karşılanabilmesinde mimarlık disiplini önemli bir role sahiptir. Tez çalışmasında incelenen ve analizi gerçekleştirilen güneş enerjisinden kazanç sistemlerinin mimarlık pratiğinde daha fazla kullanılır hale gelmesi gerekmektedir.

1.2. Amaç ve Kapsam

Tez çalışmasının amacı yapılarda kullanılan pasif ve aktif güneş enerjisi kazanç sistemlerinin mevcut bir konut yapısı üzerindeki enerji etkinliğinin değerlendirilmesidir. Literatürdeki pasif ve aktif güneş enerjisi kazanç sistemleri ile ilgili terminolojinin irdelenmesi ve derlenmesi ile bu sistemlerin sistematik biçimde ortaya konması hedeflenmektedir. Bu sayede literatürdeki eksik kalmış noktaların ve karmaşıklığın giderilmesi amaçlanmaktadır.

Literatürün kavranabilmesi ve geliştirilebilmesi için güneş enerjisinin kullanımının nasıl ve ne şekilde başladığı tarihsel süreçte irdelenmektedir. Bu sayede geçmişteki kullanımların gelecekteki tasarımlara yol göstermesi amaçlanmaktadır.

Güneş enerjisi kazanç sistemlerinin ılıman iklimde yer alan referans bir yapı üzerinde analizi ile sayısal verilere ulaşılması sayesinde sistemlerin kazançlarının sayısal olarak bulunması hedeflenmektedir. Bu sayede yapı tasarımı sırasında enerji analizi yapılarak ve bu yönde tasarımlar şekillendirilerek elde edilebilecek potansiyel enerji kazancının ortaya konması amaçlanmaktadır.

1.3. Yöntem ve Hipotez

Çalışma kapsamında yapılarda kullanılmakta olan güneş enerji sistemleri ve bu sistemlerin enerji tüketimlerine olan etkisi araştırılmaktadır. Mimarlık pratiğinde kullanılmakta olan pasif, aktif ve hibrit güneş enerjisi kazanç sistemlerine dair bir değerlendirme yapılmaktadır.

Güneş enerjisinden kazanç sistemleri referans bir konut yapısı üzerinde incelenmektedir. Bu inceleme elektrik enerjisi, yakıt tüketimi ve enerji kullanım yoğunluğu parametrelerinin karşılaştırılması ile ortaya konulmaktadır. Konut yapısı üzerinde yapılan çalışmalar; güneş gölge, güneş ışıınım miktarı, yönlenme, cephe

saydamlık oranı, sera etkisi ve PV panel potansiyeline dair analizleri içermektedir. Analizler sonucunda karşılaştırmalı olarak tasarım alternatifleri değerlendirilerek referans yapı ile incelenen alternatifler arasında verimlilik oranlarına dair çıkarımlar yapılmıştır.

Tez kapsamında yapılan analiz çalışması güneş enerjisinin yapıya olan etkisinin sayısal ve görsel verilerle incelenmesini içermektedir. Güneş enerjisi dışında kalan ve yapının iklimlendirilmesinde etkili olan havalandırma sistemleri, rüzgar etkisi gibi faktörler kapsam dışı bırakılmaktadır.

Tez çalışmasında güneş enerji sistemlerinin gelişim süreçleri incelenerek tarihsel bir şema çıkarılmaktadır. İncelenen sistemlerin mimarlık alanındaki literatür sınıflandırmaları analiz edilmektedir. Dünyada ve Türkiye’de güneş enerjisi kullanımının güncel durumu araştırılmaktadır.

Tez çalışması kapsamında verilerin toplanması amacıyla iki ana yöntem kullanılmaktadır. Yapılarda güneş enerjisinden kazanç sistemleri alanında çeşitli veri tabanlarından ulusal ve uluslararası literatürde yer alan makale, tez ve kitaplar taranarak veri toplanmakta ve simülasyon aracı ile toplanan verilerin analizi ve değerlendirilmesi yapılmaktadır.

Tez çalışması kapsamında incelenen güneş enerji sistemlerinin kullanımları doğrultusunda bilgisayar destekli tasarım programlarından Autodesk Revit ile bir analiz çalışması yapılmaktadır. Bu çalışmada güncel simülasyon programları kullanılarak, tasarımdan yapının kullanımına kadar güneş enerjisinin yapı üzerinde oynadığı rol irdelenmektedir. Pasif ve aktif güneş enerji sistemlerinin mevcut bir konut yapısındaki elektrik, yakıt ve enerji tüketimi parametrelerine etkileri analiz edilmektedir.

Güneş enerji sistemlerinin yapılarda kullanımı ile ihtiyaç duyulan enerjinin bir kısmı güneşten pasif, aktif ve hibrit sistemler aracılığı ile elde edilebilmektedir. Pasif, aktif ve hibrit güneş enerjisi kazanç sistemlerinin konut yapılarında etkin bir şekilde kullanılması ile yapıların enerji verimliliği artacaktır. Bu sayede doğal çevrenin ve kaynakların korunumu açısından katkı sağlanacaktır.

2. MİMARLIK VE ENERJİ

Enerji kelimesi; Yunanca kökenlidir ve Türkçe’de “Maddede var olan ve ısı, ışık biçiminde ortaya çıkan güç” olarak tanımlanmaktadır [TDK, 2021]. Enerji kinetik ve potansiyel olmak üzere iki ana başlığa ayrılmaktadır. Başta fizik olmak üzere birçok dalda kullanılan bir terimdir.

Binaların; toplam enerjinin %40’ını harcadığı bilinmektedir. Yapım aşamasında ise toplam enerji harcamasının %8’lik bölümü kullanılmaktadır [Lechner, 2014]. Dolayısıyla yapı sektörünün günümüzde karşı karşıya olduğumuz iklim ve enerji krizinde payı oldukça büyüktür. Pasif ve aktif sistemlerin kullanıldığı enerji verimli yapıların sayılarının artması olumlu gelişmelerdendir. Ancak mevcut yapı stoğu ve yeni yapılaşmanın hızı göz önüne alındığında enerji etkin yapıların sayılarının az kaldığı gözlemlenmektedir.

1973’te yaşanan petrol krizi sonucunda devletler yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini anlamışlardır. Enerji alanında dışa bağımlı ülkeler yaşadıkları kriz sonrasında kendi enerjilerini üretebilmek için yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmişlerdir. Avrupa ülkelerinin ortak katılımlarıyla iklim anlaşmaları imzalanmış, fosil yakıt kullanımının azaltılması için çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Ancak günümüzde anlaşmalara uymayan ve anlaşmaların dışında kalan devletlerin olumsuz etkileri gözle görülür hale gelmiştir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yanında enerji verimliliği de oldukça önem taşımaktadır. Enerji alanındaki bu gelişmelerle paralel olarak yapı sektöründe de “enerji etkin yapı” kavramı ortaya çıkmıştır. Enerji etkin yapılarda, yapının bulunduğu çevrenin iklimsel şartlarına uyumlu olacak şekilde tasarlanması ve mekanik sistemler için gerekli olan enerjinin azaltılması ana hedeflerdir. Yapılarda enerji kayıplarını önlemek ve dışarıdan gelecek etkiyi azaltmak için yalıtım malzemeleri kullanılmaya başlanmış, devletler politikalarında enerji verimliliğine yer vermişlerdir. Pasif tasarım ile doğal havalandırma, ısı kazanımı, doğal aydınlatma, soğutma sağlanarak enerji gereksiniminin azaltılması mümkündür. Aktif sistemler ile de rüzgâr, yağmur, güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanılarak enerji elde edilmesi yaygınlaşmaktadır.

Günümüzde enerji verimliliği her alanda etkin bir rol oynamaktadır. Modernizmin benimsediği “form fonksiyonu takip eder” ilkesi günümüzde yapılacak

yapılar için yetersiz bir bakış açısı halini almıştır. Mimarların, mühendislerin ve işverenlerin “form enerjiyi takip eder” ilkesini temel alarak, gerek üretilen malzemelerin yaşam döngüsü sırasında gerekse yapının kullanımı sırasında enerji etkinliğini önemli bir ilke olarak göz önünde bulundurmaları gerekmektedir.

Enerji verimliliğinin sağlanması kadar enerjinin nereden ve nasıl elde edildiği de önem taşımaktadır. En küçük yapılardan en büyük yapılara kadar entegre edilerek kullanılabilen, yenilenebilir enerji elde etmeyi sağlayan mekanik sistemler sayesinde yapılar kendi enerjilerini kazanabilmekteledir. Sıfır enerjili binalar bu alanda örnek teşkil etmekteledir. Gelişmeler sayesinde pozitif enerjili binalar dahi inşa edilebilmekte, yapı enerji tüketen konumundan enerji üreten konumuna geçebilmektedir.

Yenilenebilir kaynaklardan biri olan güneş enerjisi sıkça kullanılmaktadır. Güneş enerjisi diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına kıyasla çevresel olarak avantajlıdır ve bir sürdürülebilirlik kalkınma programında temeli oluşturur. [Wang and Qui, 2001]. Güneşli gün sayısının nispeten daha az olduğu kutup yakını bölgelerde dahi güneşten enerji elde edebilmek mümkündür.

Pasif sistemler ile güneş enerjisinden faydalanma oranı artırılabilen ve başta alan ısıtması olmak üzere birçok farklı şekilde kullanılabilir. Aktif sistemler ile de güneşten ısı ve elektrik enerjisi elde edilebilmektedir. Bu sayede şebekenin olmadığı, uç yaşam alanlarında ve uzayda dahi elektrik elde edilebilmektedir.

Pasif ve aktif sistemlerin bir arada kullanıldığı tasarımlar ile güneşten elde edilen enerjinin artırılması mümkündür. Bu tür sistemler ile yüksek enerji verimliliğine sahip yapılar elde edilebilmektedir.

2.1. Yenilenebilir Bir Enerji Kaynağı Olarak Güneş

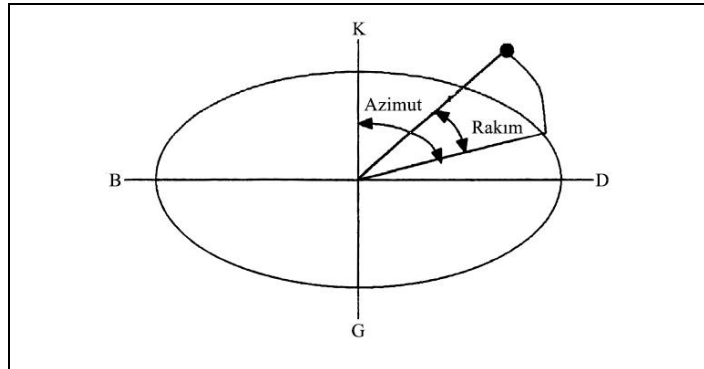
Güneş; yeryüzünde bulunan tüm canlı organizmaların temel kaynağıdır ve sonsuzdur. Dünya nüfusunun büyük çoğunluğunun “Güneş Kuşağı” da denilen $\pm 40^\circ$ enlemlerinde yaşadığı düşünülmektedir. Güneş enerjisinin miktarı bu enlemler arasında insan yaşamı için elverişlidir.

Yenilenebilir ve yenilenemez tüm enerji kaynakları güneş sayesinde oluşmaktadır. Yeryüzünün coğrafi özelliklerinin bir etkisi olarak ısınma farklılıkları oluşmakta bu da farklı basınç bölgeleri yaratmaktadır. Bu basınç bölgelerinin yer

değiştirmesi rüzgârı oluşturmaktadır. Petrol ve kömür gibi yenilenemez enerji kaynakları ise yaşam kaynağı güneş olan bitki ve canlıların fosilleri sayesinde oluşmaktadır.

Güneş yeryüzünden 151.106 km uzaklıkta bulunmaktadır. İçinde sürekli olarak hidrojen helyuma dönüşmekte ve bu füzyon reaksiyonları sırasında oluşan kütle farklı ısı enerjisine dönüşerek uzaya yayılmaktadır. Yayılan ısı enerjisinin çok küçük bir miktarı yeryüzüne ulaşabilmektedir. Pratik olarak, yeryüzüne ulaşan güneş ışınımı değeri 1000 W/m² olarak kabul edilmektedir [Çıtıroğlu, 2000].

Güneşin bir noktaya çarpma açısı azimut ve rakım (altitude) terimleri ile ifade edilmektedir. Güneş ışınlarının kuzeye göre saat dönüş yönünde sapmasını gösteren açı azimut olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2.1). Rakım ise yüzeyin dikeyinin yerel boylama göre olan sapmasını gösteren açı, yüksekliktir (Şekil 2.1). Güneye bakan yüzeyler için sıfırdır. Doğuya yönelen yüzeyde artı, batıya yönelen yüzeyde eksi değeri alır [Day and Roaf, 2007].



Şekil 2.1: Azimut ve rakım (altitude).

Güneş enerjisinden yararlanmak için birçok yol bulunmaktadır. Bu yollardan sıkça kullanılan sistemlerden biri olan fotovoltaik güneş enerji sistemleri; güneş ışınlarını odaklayarak toplar ve elektrik enerjisine dönüştürürler. Fotovoltaik teknolojisi uzay programları başta olmak üzere elektrik şebekelerine erişim sağlanamayan birçok alanda kullanılmaktadır. Güneş Kuşağı'nda bulunan tüm bölgelerden elektrik elde edilebilmesi güneşi başlıca yenilenebilir enerji kaynağı yapmaktadır.

1930 yılında Heliodon' un keşfi ile yapının üzerine düşen güneş ışınlarını analiz etmek mümkün hale gelmiştir. Bu da yapıların güneş enerjisinden faydalanacak

şekilde tasarlanabilmesi için önemli bir adım olmuştur. Günümüzde gelişen teknoloji sayesinde bilgisayar simülasyon programları ile bir yapının üzerine düşen güneş ışınları ve bu ışınların etkilerinin analizi mümkün hale gelmektedir.

Yapı ölçeğinde güneşten yararlanılabilmesi için yapı ve yerleşmelerin bulunduğu bölgenin iklimi ve topografyası büyük önem taşımaktadır. Isıtma ya da soğutma ihtiyacının düzeyine uygun olarak güneş enerjisinden yararlanılabilecek biçimde pasif tasarımlar yapılmalıdır. Pasif tasarım yöntemleri ile güneş ışınlarını, malzemeler aracılığıyla yapı içine ısıtım, taşıtım ve iletim yollarıyla almak mümkündür.

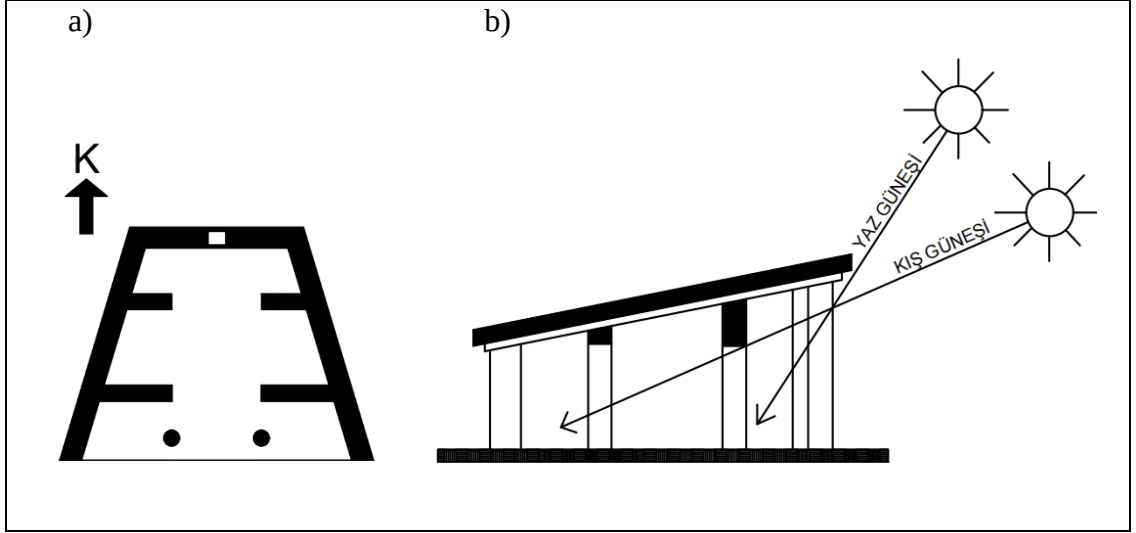
2.1.1. Güneş Enerjisi Kullanımının Tarihçesi

Güneş enerjisinin kullanımı, canlı varlığının başlangıcından itibaren hayati önem taşımaktadır ve insanlığın tüm çağlarında var olmuştur. Başlarda doğanın insanlara sunduğu en temel hali ile kullanılmış, zamanla insanlığın ilerlemesine paralel olarak güneş enerjisinden faydalanma yöntemleri gelişmiştir.

Milattan önce 7. yüzyılda insanların güneş ışığını konsantre etmeyi başarak ateş yakmakta kullandıkları arkeolojik buluntularla birlikte keşfedilmiştir. Çin’de güneş ışınlarının aynalarla odaklanarak meşalelerin yakıldığı belgelenmiştir. Milattan önce 5.yy.da Antik Yunan kentlerinden 4000 kişinin yaşadığı Priene’nin kentsel planı incelendiğinde yapıların tümünün güneş ışığına erişebileceği şekilde yerleştirildiği anlaşılmaktadır. Sokaklar doğu-batı, kuzey-güney doğrultusunda gridal şekilde oluşturulmuş, böylece tüm evlerin en az bir cephesi güneye yönelmiştir. Vitruvius, M.Ö. 1. yy.da yazdığı “Mimarlık Üzerine On Kitap” adlı eserinde; yapıların kuzey cephelerinin kapatılması, güney cephelerinin ise olabildiğince açık olması gerektiğini açıklamaktadır. Bu bulgular bize tarihin başlarından itibaren yapılarda pasif olarak güneş enerjisinden yararlanıldığını göstermektedir [Web 1, 2021].

MÖ 469 – 397 yıllarında ünlü düşünür Sokrates, pasif güneş enerjisinden nasıl fayda sağlanabileceğini “iyi bir ev” i tanımlayarak açıklamıştır. Sokrates’e göre iyi evin planı, uzun kenarı güneşe bakan bir yamuk şeklindedir. Güneyde bulunan çatı çıkıntısı; sıcak yaz güneşini engellerken, ısınmayı sağlayan kış güneşinin eve girmesine izin vermektedir. Şekil 2.2.a’da Sokrates Evi’nin Planı, Şekil 2.2.b’de Sokrates Evi’nin kesiti verilmektedir [Atagündüz,1989 “Güneş Enerjisi Temelleri ve

Uygulamaları”, İzmir: Ege Üniversitesi Basımevi’nden esinlenerek düzenlenmiştir]. Aynı zamanda çatı, kış rüzgarından kaçınmak için arkaya doğru eğimlidir [Bonnette and Bruell, 2014].



Şekil 2.2:a)Sokrates Evi Planı b)Sokrates Evi Kesiti.

Milattan sonra 4.yüzyıla kadar ayakta kalmayı başaran Roma İmparatorluğunda halk pencere boşluklarını cam ile kapatmaya başlamışlardır. Bu sayede evler, devlet binaları, hamamlar gibi günlük hayatta aktif olarak kullanılan yapılar sera etkisiyle ısıtılmaya başlanmıştır. Milattan sonra 6.yüzyılda Bizans İmparatoru Jüstinyen günümüzdeki kanunların temelini oluşturan Jüstinyen Kanunları’nı uygulamaya başlamıştır. Bu kanunlardan biri de “Güneş Yasası”dır. Bu yasaya göre her bir bireyin ve yapının güneşe doğrudan ulaşabilme hakkı vardır. Yeni yapılan yapıların mevcut binaların güneşini kesecek biçimde inşa edilmeleri yasaklanmıştır. Rönesans döneminde ise Leonardo Da Vinci, güneş ışınlarını odaklayarak suyun kaynamasını sağlayan bir tür ayna yapmaya çalışmıştır ancak başarılı olup olmadığı bilinmemektedir [Web 1, 2021].

Daha sonraki yıllarda güneybatıya yerleşen İspanyollar, kış güneşinden yararlanabilmek amacıyla evlerin ana bölümlerini güneye konumlandırmışlardır. Kış boyunca gündüz eve giren güneş ısısının pencerelerden kaçmasını engellemek için akşamları dış kısımlarda bulunan kepenklerle pencerelerini kapatmışlardır. Benzer yerel ve kültürel örnekler dünyanın her yerinde mevcuttur. Bu durum geleneksel mimarinin, binlerce yıl yaşamış insanların bilgi birikimiyle oluşarak özünde sürdürülebilir ve ekolojik ilkelere bağlı olduğunu göstermektedir.

18. yüzyıla gelindiğinde bilim çağının etkisi ile güneş enerjisi üzerine yapılan çalışmalar da hızla artmış, sadece pasif olarak değil aktif olarak da güneşten yararlanma yöntemleri geliştirilmeye başlanmıştır. Endüstri devrimi ile sanayileşmenin artışı sonucu enerji ihtiyacı artmış, bu durum güneş enerjisi gibi alternatif enerji kazanç sistemlerinin gelişimlerinin ivme kazanmasını sağlamıştır.

1767’de İsviçreli bilim insanı Horace de Saussure dünyanın ilk solar kolektör prototipini üretmiştir. 1839’da Fransız bilim insanı Edmond Becquerel ise elektrolit deneyi sırasında güneşin etkisiyle elektrik akımının arttığını gözlemlemiş böylece “fotovoltaik etki”yi keşfetmiştir. Albert Einstein görecelilik kuramında fotovoltaik etkiyi de açıklamış ve bu çalışmasıyla Nobel ödülünü kazanmıştır. 1883 yılında Charles Fritts tarafından ilk “Solar Hücre” üretilmiştir. Üretilen bu solar hücrenin verimi %1-2 arasında iken günümüzde kullanılan hücrelerin verimlilik oranı %15-20’yi bulmaktadır [Web 1,2021].

1930’ların başında İngiliz Kraliyet Enstitüsü; tasarlanan yapıların inşa edilmeden önce, güneşten nasıl etkilendiklerinin anlaşılabilmesini sağlayan “Heliodon” adlı cihazı keşfetmişlerdir [Web 1, 2021]. Bu cihaz günümüzde kullanılan güneş enerjisi simülasyon programlarının temel mantığını oluşturmaktadır.

Mimar Mies van der Rohe 1930 yılında Çekya’da tasarladığı “Villa Tugendhat”ta pasif solar mimarinin temel elementlerini kullanmıştır. Konut yapısı; arazi konumlanması, planın termal şartlara göre yerleşimi, gölgeleme elemanları, termal kütle kullanımı, camların güneş alımına uygun yerleşimi ve boyutlandırılmasını kapsayan temel ilkelere bağlı olarak tasarlanmıştır [Fugate, 2018].

Bilimsel gelişmelerin yanı sıra 1900’lerin başlarında güneş ışığının kullanımı fikrinsel olarak da önem kazanmaya başlamıştır. Almanya’da kurulan Bauhaus Sanat ve Tasarım Okulu’nda yeni bir mimarlık etiği ortaya çıkmış, işlevselliğin estetikten önde tutulması gerektiği kabul edilmiştir. Okulun müdürlüğünü de yapan Alman mimar Hannes Meyer’e göre yapının en iyi planı güneşten en çok yarar sağlayacak şekilde düzenlenmiş halidir. II. Dünya Savaşı sırasında başta Amerika’da olmak üzere dünyada yaşanan petrol krizi güneş enerjisinin kullanımına olan ilginin artmasını sağlamıştır. Bu dönemde sıkça kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları, krizin bitmesiyle tekrar ikinci plana atılmıştır.

1940’lı yıllarda Keck Kardeşler Amerika’da prefabrike binalarda güneş enerjisini kullanmaya başlamışlardır. Bu binalarda güneşi kış aylarında içeri almak, yaz aylarında engellemek amacıyla çıkıntılı güneye bakan büyük pencereler

kullanmışlardır. Aynı zamanda yapılarda yaz aylarında fazla ısınmayı engellemek amacıyla su doldurulabilen düz çatılar yapmışlardır [Paul, 1979].

1948’de mimar Arthur Brown tarafından dünyanın ilk güneş enerjisiyle ısıtılan kamu binası olan Rose İlköğretim Okulu tasarlanmıştır. Okul binasının yalnızca gündüzleri kullanılan bir yapı olması sayesinde kazanılan güneş ısısı, gerekli olan ısı enerjisini %80’inden fazlasını karşılayabilmiştir. Bu yıllarda mimar Frank Bridgers tarafından dünyanın ilk pasif ve aktif güneş enerjisi ısınma sistemlerinin kullanıldığı ofis binası tasarlanmıştır. Bu yapı National Historic Register’ da dünyanın ilk güneş enerjisi ile ısınan ofis binası olarak kaydedilmiştir [Denzer et al., 2010].

1954 yılına gelindiğinde, o zamana kadar ısısal olarak yararlanılan güneş ışığından Bell Labs’da üretilen silikon fotovoltaik paneller sayesinde elektrik enerjisi kazanılmaya başlanmıştır. Bu panellerin ticari olarak üretimi sayesinde güneş enerjisinden aktif kazanç sistemleri halkın da kullanabildiği sistemler haline gelmiştir. 1970’lerde Exxon Şirketi’nin solar hücrelerin fiyatını 100 \$’ dan 20 \$’ a düşürmesiyle elektrik bağlantısı olmayan yerlerde güneş enerjisinden elektrik üretilmemeyi sağlayan aktif kazanç sistemleri sıkça kullanılmaya başlanmıştır. Tren yollarında uyarı lambaları, deniz fenerleri, petrol ve gaz sondaj alanları gibi birçok alanda kullanımı yaygınlaşmıştır.

İkinci Dünya Savaşı’ndan sonra oluşan kaynak sıkıntısı sonucu güneş enerjisine olan ilgi artmıştır. Ancak pasif sistemlerden daha çok aktif sistemler kullanılmaya başlanmış, pasif kazanç sistemleri büyük ölçüde ihmal edilmiştir. 1959 yılında Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneği (ASHRAE) kurularak pencerelerden güneş ısısı kazanımını belirleme stratejileri üzerinde çalışmaya devam etmişlerdir. Bu sayede New Mexico başta olmak üzere pasif güneş enerjili konutlar üretilmiştir [Web 2, 2021].

1900’lü yıllarda giderek kullanımı artan güneş enerjisinden pasif kazanç sistemleri dünyada birçok ülkede mimarlar ve mühendisler tarafından benimsenmeye başlanmıştır. 1967’de Felix Trombe ve Jacques Michel Fransa’da “Trombe House” u tasarlamışlardır. 1974 yılında doğal hava ısıtıcı kategorisine giren, sonrasında “Trombe Duvarı” adı ile bilinen sistemi tasarlayarak patentini almışlardır. Bu yıllarda ünlü mimarlık dergilerinden olan Architectural Design, Casabella and Domus, Technique et Architecture gibi dergilerde sistemin çalışma prensipleri açıklanmış, çizimler ve örnek yapı ile duvarın enerji performansı üzerine yazılar yazılmıştır. Bu sayede güneş enerjisinden pasif yararlanma yöntemlerinden biri olan “Trombe

Duvarı” dünyada tanınmış ve mimarlar tarafından kullanılmaya başlanmıştır [Medici, Piero, 2018].

1972’de Delaware Üniversitesi Enerji Dönüşüm ve Geliştirme Laboratuvarı’nı kurmuştur. Burası PV sistemlerin araştırılması ve geliştirilmesi için kurulan dünyadaki ilk laboratuvardır. Üniversite, laboratuvarın ardından “Solar One” adıyla dünyanın ilk PV enerjisini kullanan konut yerleşkesini de inşa etmiştir [Web 1, 2021].

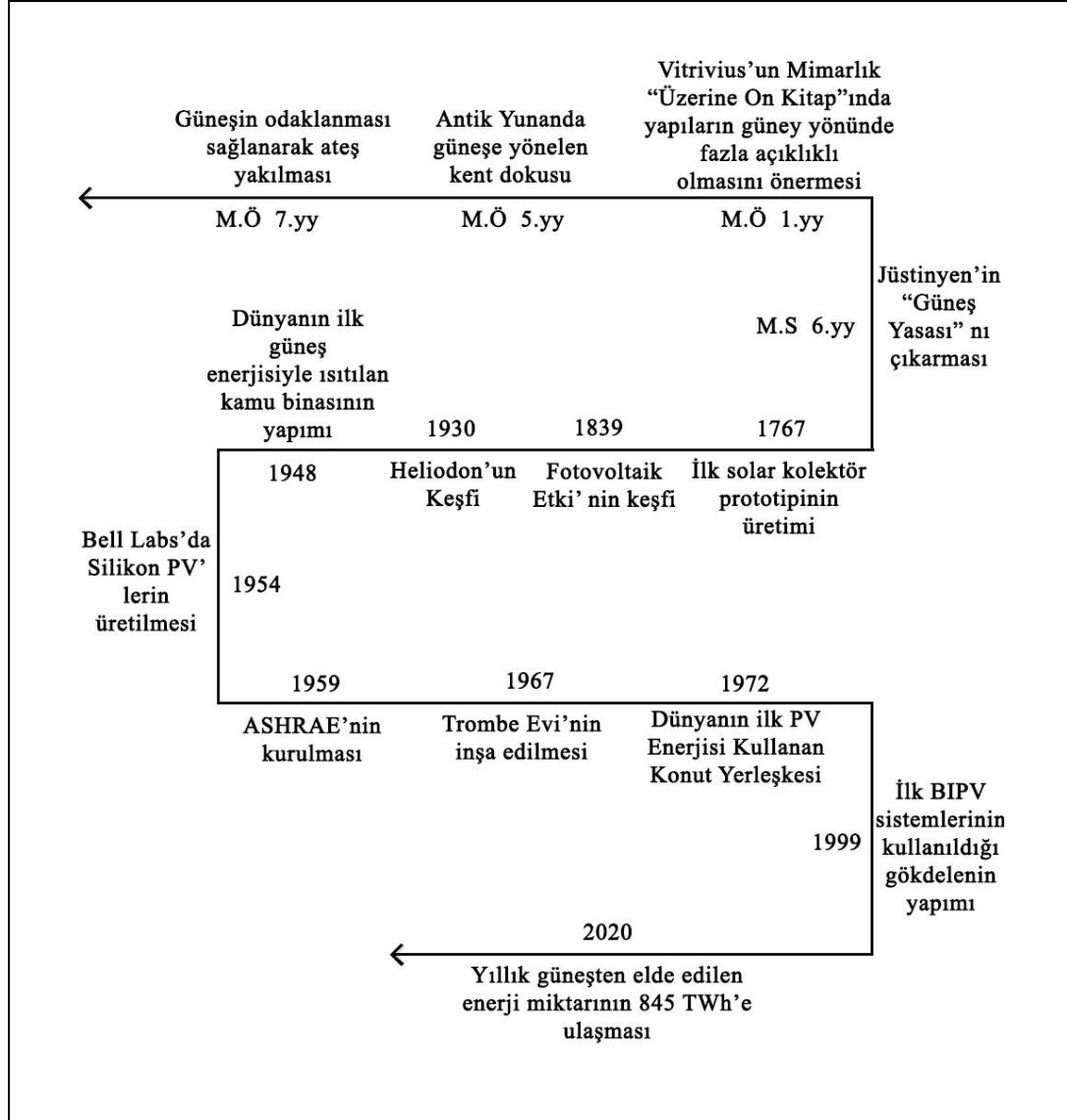
Gelişmeler hızla artarken 1999 yılında ilk defa Kiss+Cathcon Architects tarafından BIPV panelli 4 Times Square isimli gökdelen tasarlanmıştır. New York kentinde inşa edilen bu gökdelenin 37 ile 43’ üncü katları arasında güney ve batı cepheleri panellerle kaplanmış, yapının elektrik enerjisi ihtiyacının bir bölümü bu şekilde karşılanmıştır. Gökdelenin 37’inci kata kadar olan bölgesi gölgede kaldığı için bu kısımda paneller kullanılmamıştır [Web 3, 2021].

Teknolojinin gelişimi, aktif güneş enerji sistemlerinin de gelişmesini sağlarken, malzeme biliminde yapılan buluşlar yapı endüstrisini önemli seviyede etkilemiştir. Yapı izolasyonunun daha iyi sağlanabilmesi, pencerelerin ısı geçirgenliğinin azaltılması gibi gelişmeler pasif güneş enerjisinden sağlanan ısı kazancının daha verimli şekilde yapı içerisinde kullanılabilmesini sağlamıştır.

Günümüzde dünya üzerinde hemen hemen her ülke güneş enerjisinden elektrik üretimi yapmaktadır. Avrupa ülkelerinde hükümetin yaptırımları, uluslararası sözleşmelere olan bağlılık, halkın bilincinin ve alım gücünün yüksek olması gibi faktörler sayesinde güneş enerjisinden kazanç sistemleri halk tarafından günlük hayatta sıkça kullanılır hale gelmiştir. 1985 yılındaki verilere göre güneşten enerji üretimi yılda 0.01 TWh (Terawatt saat) kadardır. Dünyada kurulu güneş enerjisi kapasitesi 2020 yılı itibarı ile yıllık 845 TWh’e ulaşmış olup; bu kapasitenin %30’unu Çin (260 TWh), %15’ini ABD (132 TWh) üretmektedir [BP Statistical Review of World Energy and Ember, 2020].

Teknolojinin 1900’lü yıllardan itibaren hızla ilerlemesi sayesinde fotovoltaik sistemler ile ilgili birçok gelişme sağlanmıştır. PV panellerin ilk üretiminde sahip oldukları düşük verimlilik oranları zamanla geliştirilmiştir. Hem pasif hem aktif sistemlerin bir arada kullanıldığı hibrit sistemler tasarlanmıştır. Büyük alanlara kurulan güneş tarlalarının yanı sıra günlük hayattaki enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için birçok yeni malzeme ve sistemler geliştirilmektedir. Cam ve pencerelerde kullanılan kaplamalar sayesinde hem enerji kazanımı hem de gün ışığından faydalanabilmek artık mümkün hale gelmiştir. Aynı zamanda solar tekstil

malzemeleri, solar termal katı yakıtlar gibi yenilikçi tasarımlar ile güneş enerji sistemlerinin yaygınlaşması ve farklı alanlarda kullanımlarının artırılması hedeflenmektedir.

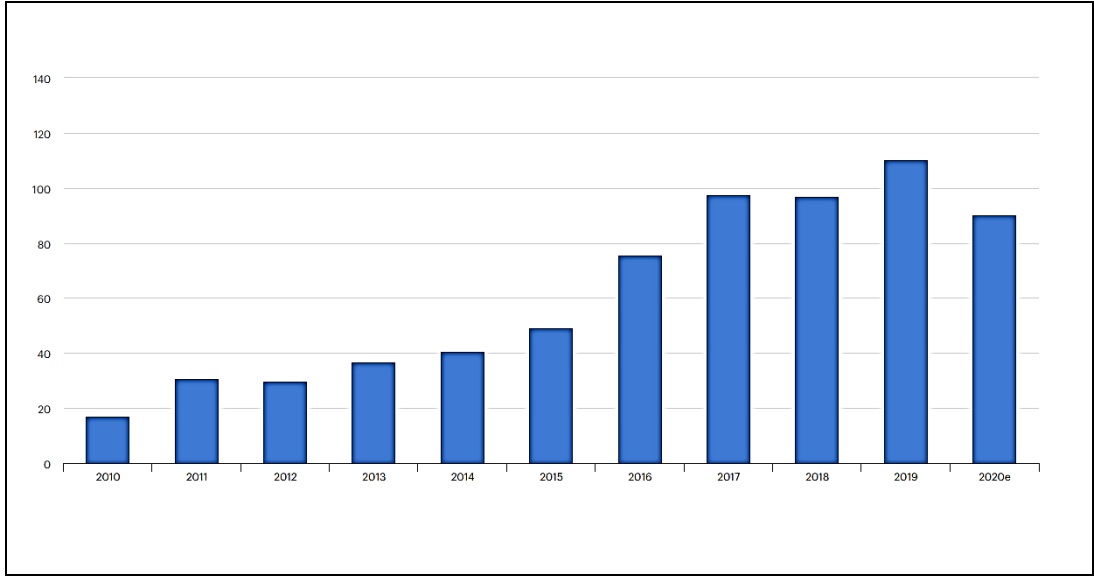


Şekil 2.3: Güneş enerjisi kullanımı tarihçesi.

Son yıllarda güneş enerjisi sistemlerinde düşen maliyetler sayesinde yapılan sermaye yatırımları çok daha verimli hale gelmektedir. 2020 yılında güneş enerjisi yatırımdan beklenen yıllık üretim, 2010'daki aynı yatırım ile elde edilen yıllık üretim oranının 7 katından fazladır [Web 4, 2021]. Bu sayede yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi, gün geçtikçe daha çok kullanılabilir hale gelmektedir.

Ulusal Enerji Ajansı (IEA) verilerine göre küresel çapta PV panellerden elde edilen enerjide 2019 yılında 110 GW (Gigawatt), 2020 yılında ise 90 GW artış

olmuştur. 2010-2020 yılları arasında PV enerjisindeki artışın grafiği Şekil 2.4' te verilmektedir [Web 1, 2021].



Şekil 2.4: 2010-2020 yılları arasında küresel PV enerjisindeki artış.

2020 yılında tüm dünyada etkili olan COVID-19 salgını nedeniyle, tam karantina önlemlerinin alındığı ülkelerde elektrik talebinin %20 oranında azaldığı belirlenmiştir [Web 5, 2021].

Tedarik zincirindeki kesintiler ve iş gücünde yaşanan kısıtlamalar sonucu inşaat ve enerji sektöründe büyümeler duraklamıştır. İş gücündeki azalma, sosyal mesafe zorunluluğu, karantina önlemleri gibi sebeplerle küçük ve orta ölçekli yapılarda PV kurulumları birçok ülkede önemli ölçüde yavaşlamıştır. Ancak bu duruma rağmen, COVID-19 salgınından önce tahmin edilen büyümeye ulaşamasa da, %16'lık oranla PV sektörü 2020'de yenilenebilir kaynaklar arasında en hızlı büyüyen sektör olmaya devam etmiştir [Web 6, 2021].

2.1.2. Yapılarda Güneş Enerjisi Kazanç Sistemleri Üzerine Literatür Analizi

Günümüzde sürdürülebilirlik, ekoloji, yenilenebilir enerji gibi kavramların üzerine yapılan çalışmalar hızla devam etmektedir. Bu terminolojilere dair yapılan çalışmalar sosyal bilimler ve fen bilimleri alanlarında farklı şekillerde ele

alınmaktadır. Mimarlık alanında; pasif ve aktif güneş enerji sistemleri hem sosyolojik hem de yapı fiziki alanlarında incelenmektedir. Pasif ve aktif sistemlerin açıklandığı yayınlarda yazarlar sistemleri birçok farklı gruplara ayırmaktadırlar.

Tez çalışmasında; yapı fiziki alanı kapsamında kitaplar, tezler, makaleler ve bildiriler olmak üzere çeşitli yayınlar taranmıştır. Literatürde bulunan 30 adet çalışma incelenerek sistemlerin sınıflandırılması bakımından analiz edilmektedirler. Çalışmalar Tablo 2.1’de verilmektedir ve tanımlanmayan alanlara «---» işareti konmuştur.

Tablo 2.1: Pasif ve aktif güneş enerjisinden kazanç sistemleri literatür taraması.

YAYIN BİLGİLERİ	PASİF SİSTEMLER	AKTİF SİSTEMLER
RESEARCH & DESIGN, SOLAR ARCHITECTURE DESIGNING SENSIBLE SOLUTIONS TO THE ENERGY CRISIS AIA Research Corporation, 1978	Doğrudan Kazanım Sistemleri, Dolaylı Kazanım Sistemleri, İzole Edilmiş Sistemler	----
SOLAR PASSIVE BUILDINGS FOR DEVELOPING COUNTRIES C. L. GUPTA, 1993	Doğrudan Kazanım Sistemleri, Termal Kazanç Duvarı, Güneş Bölgeleri (Sunspaces), Çatı Havuzları	----
THERMAL MASS IN PASSIVE SOLAR AND ENERGY-CONSERVING BUILDINGS B. HAGLUND, K. RATHMANN, U Of I, 1995	Doğrudan Kazanım Sistemleri, Dolaylı Kazanım Sistemleri	----
EKOLOJİK MİMARLIK KAPSAMINDA KONUT TASARIMLARININ İNCELENMESİ N. DEDEOĞLU, YTÜ, 2002	Doğrudan Kazanım Sistemleri, Dolaylı Kazanım Sistemleri	Güneş Kolektörleri, PV Sistemler
DEĞİŞİK İKLİM ŞARTLARINDA BİNA İÇERİSİNDE PASİF ISITMA VE SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN KULLANILABİLİRLİĞİ K. TUŒALP, M. SUCU, Y. OĞUZ, 2002	Doğrudan Kazanım Sistemleri, Dolaylı Kazanım Sistemleri	----
PASSIVE SOLAR DESIGN STRATEGIES FOR BUILDINGS: A CASE STUDY ON IMPROVEMENT OF AN EXISTING RESIDENTAL BUILDING’S THERMAL PERFORMANCE BY PASSIVE SOLAR DESIGN TOOLS S. BİLGİÇ, İTE, 2003	Doğrudan Kazanım Sistemleri, Dolaylı Kazanım Sistemleri, İzole Edilmiş Sistemler	----
YAPILARDA GÜNEŞ ENERJİSİNİN ÖNEMİ VE KULLANIMI N. KOÇU, M. DERELİ, 2004	Doğrudan Kazanım Sistemleri, Dolaylı Kazanım Sistemleri	PV Sistemler
SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇEVRE İÇİN BİNALARIN ENERJİ ETKİN PASİF SİSTEMLER OLARAK TASARLANMASI B. B. ÖZDEMİR, İTÜ, 2005	Direkt Kazanım Sistemleri Dolaylı Kazanım Sistemleri İzole Edilmiş Kazanç Sistemleri Termosifon Sistemler	PV Sistemler Isıl Güneş Teknolojileri,

Tablo 2.1: Devam.

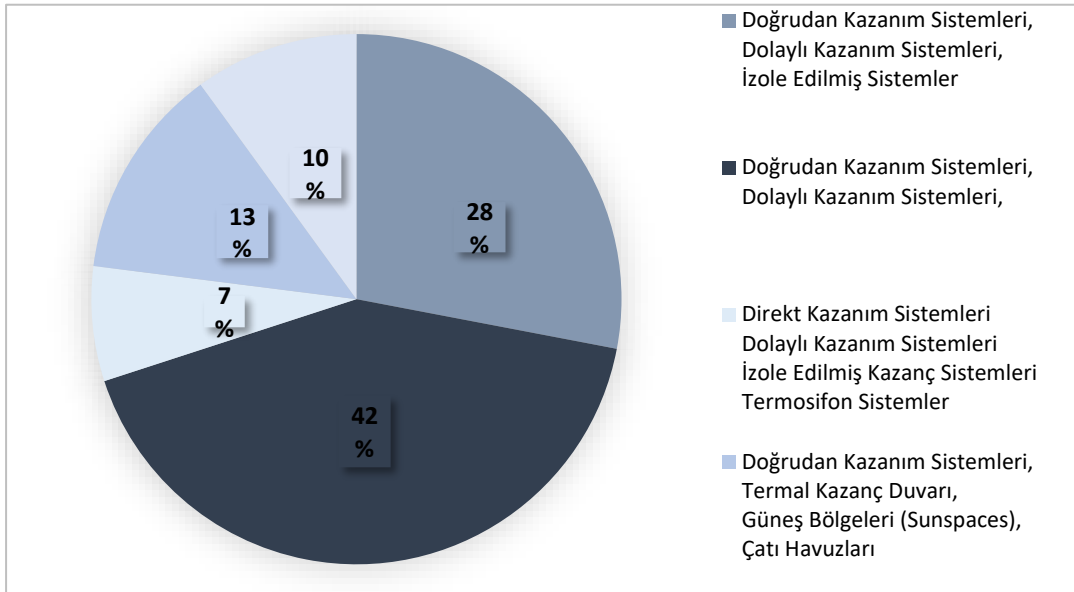
YENİLENEBİLİR ENERJİNİN ÜLKEMİZ YAPI SEKTÖRÜNDE KULLANIMININ ÖNEMİ VE YAPILARDA GÜNEŞ ENERJİSİNDEN YARARLANMA OLANAKLARI S. SAYIN, SÜ, 2006	Doğrudan Kazanım Sistemleri, Dolaylı Kazanım Sistemleri	Termodinamik Sistemler PV Sistemler
GÜNEŞ ENERJİSİNDEN EDİLGEN SİSTEM YARARLANMADA GÜNEŞ ODASI EKLEME YÖNTEMİNİN İÇ ORTAM SICAKLIĞINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ İSTANBUL ÖRNEĞİ T. YÜRE, YTÜ, 2007	Doğrudan Kazanım Sistemleri, Dolaylı Kazanım Sistemleri	Güneş Enerjili Isıtma Sistemleri, PV Sistemler, Isı ve elektriği aynı anda üreten Güneş Enerjili Isıtma/Pv S.
EKOLOJİK MİMARLIKTAKİ AKTİF ENERJİ SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ D. BEKAR, YTÜ, 2007	Doğrudan Kazanım Sistemleri, Dolaylı Kazanım Sistemleri	Güneş Kolektörleri, PV Sistemler
GÜNEŞ ENERJİSİNDEN EDİLGEN YARARLANMANIN SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARİDEKİ YERİ E. Dumlupınar, YTÜ, 2008	Doğrudan Kazanım Sistemleri, Dolaylı Kazanım Sistemleri	Güneş Kolektörleri, PV Sistemler
YAPILAŞMADA GÜNEŞ ENERJİSİ KULLANIMI VE ESTETİK ÇÖZÜM ÖRNEKLERİ H. M. DANACI, R. E. GÜLTEKİN, AÜ, 2009	Kütle Duvarı, Trombe Duvarı, Su Duvarı, Kış Bahçesi, Dolaylı Kış Bahçesi, Termosifon S., Kaya Zemin	Güneş Kolektörleri, PV Sistemler
TÜRKİYE İKLİM BÖLGELERİ BAĞLAMINDA EKOLOJİK TASARIM ÖLÇÜTLERİ SİSTEMATİĞİNİN OLUŞTURULMASI “Kayaköy Yerleşmesinde Örneklenmesi” P. KISA OVALI, TÜ, 2009	Doğrudan Kazanım Sistemleri, Dolaylı Kazanım Sistemleri	Güneş Kolektörleri PV Sistemler
EKOLOJİK BİNALARDA ENERJİNİN ETKİN KULLANILMASININ İRDELENMESİ S. AKMALI ÖZÇİFTÇİ, DEÜ, 2010	Doğrudan Kazanım Sistemleri, Dolaylı Kazanım Sistemleri	----
BİNA TASARIM PARAMETRELERİNİN ENERJİ HARCAMALARINA ETKİLERİNİN BELİRLENMESİNE YÖNELİK BİR ÇALIŞMA A. S. YASAN, İTÜ, 2011	Doğrudan Kazanım Sistemleri, Dolaylı Kazanım Sistemleri, İzole edilmiş Kazanım S., Termosifon Sistemler	PV Sistemler, Isıl Güneş Teknolojileri
HISTORY OF PASSİVE SOLAR ENERGY S. BARBER, ECU, 2012	Doğrudan Kazanım Sistemleri, Dolaylı Kazanım Sistemleri İzole Edilmiş Sistemler	----
CLIMATE RESPONSİVE BUILDİNG ELEMENTS R. LOOMAN, 2012	Doğrudan Kazanım Sistemleri, Termal Kazanım Duvarı, Güneş Bölgeleri (Sunspaces), Çatı Havuzları	----
A REVIEW OF SOLAR TECHNOLOGİES FOR BUILDİNGS N. DJONGYANG, R. TCHİNDA, C. KAPSEU, African Journal of Science, 2012	Doğrudan Kazanım Sistemleri, Dolaylı Kazanım Sistemleri, İzole Edilmiş Sistemler	PV Sistemler
SOLAR ENERGY SYSTEMS IN ARCHITECTURE, İntegration Criteria and Guidelines Report T.41.A.2: IEA SHC Task 41, SEA, 2012	----	Güneş Kolektörleri PV Sistemler

Tablo 2.1: Devam.

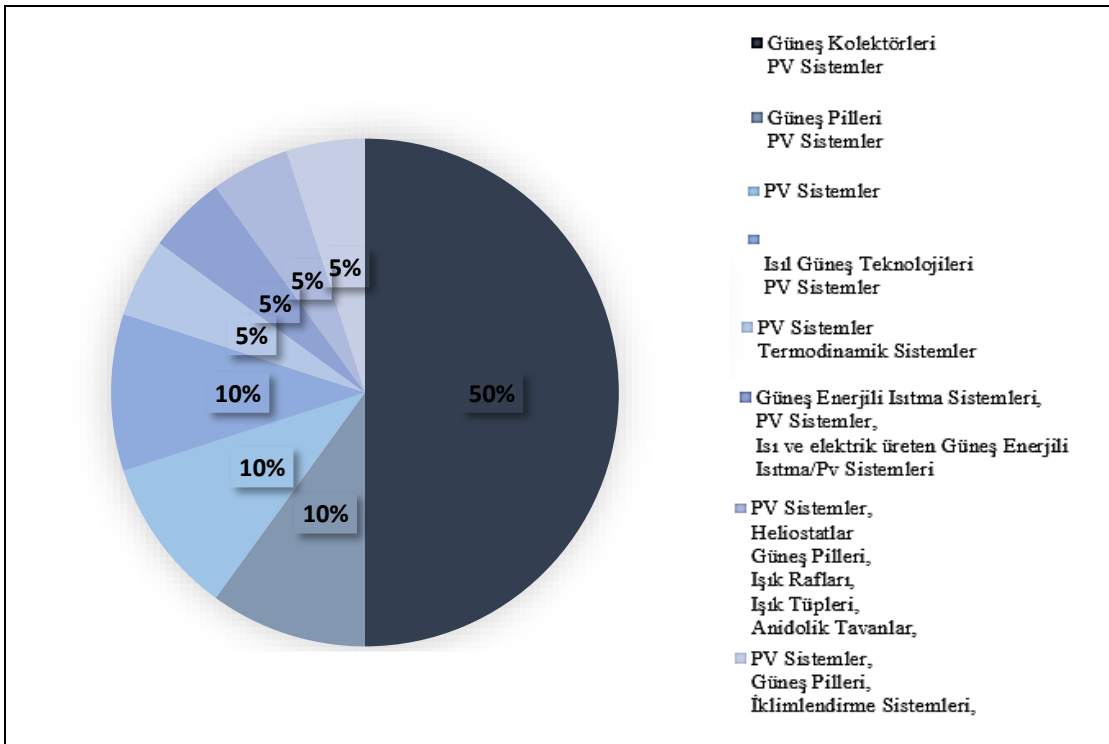
BİLGİSAYAR ANALİZ YÖNTEMLERİYLE, EKOLOJİK TASARIM İLKELERİ BAĞLAMINDA, SİDE TARİHİ KONUTLARININ İNCELENMESİ C. YILMAZ, BÜ, 2015	Doğrudan Kazanım Sistemleri, Dolaylı Kazanım Sistemleri	PV Sistemler, Güneş Pilleri
FARKLI BİNA FORMLARINDA GÜNEŞ PİLİ UYGULAMALARININ ENERJİ VE MALİYET ETKİNLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ H. M. YANARDAÇ, İTÜ, 2015	Bina Yönlenmesi, Bina Formu, Bina Kabuğu, Güneş Kontrolü, Doğal Havalandırma Sistemleri	PV Sistemler, Güneş Pilleri
HEATING, COOLING, LIGHTING SDMA, N. LECHNER, 2015	Doğrudan Kazanım Sistemleri, Dolaylı Kazanım Sistemleri, İzole Edilmiş Sistemler	Güneş Kolektörleri, PV Sistemler
BİNALARDA PASİF VE AKTİF GÜNEŞ SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ R. KILIÇ DEMİRCAN, A. B. GÜLTEKİN, GÜ, 2017	Doğrudan Kazanım Sistemleri, Dolaylı Kazanım Sistemleri	PV S., Heliostatlar, Güneş Pilleri, Işık R. Işık T. Anidoluk Tavanlar,
A PASSİVE SOLAR RETROFIT IN A GLOOMY CLIMATE J. R. FUGATE, RIT, 2018	Bina Yönlenmesi, Bina K. Dolaylı Kazanım Sistemleri, Doğrudan Kazanım Sistemleri, İzole Edilmiş Sistemler	----
A PROPOSAL FOR IMPROVING THE USE OF PASSIVE SOLAR TECHNIQUES IN RESIDENTIAL BUILDINGS: ERBİL CITY P. SHWANY, BÜ, 2018	Doğrudan Kazanım Sistemleri, Dolaylı Kazanım Sistemleri, İzole Edilmiş Sistemler	----
ENERJİ ETKİNLİĞİ AÇISINDAN BİR İLKÖĞRETİM BİNASININ AKTİF VE PASİF SİSTEM OLARAK PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ T. KÖKSAL, İTÜ, 2018	Bina Yönlenmesi, Binanın Formu, Bina Kabuğu, Güneş Kontrol Elemanları, Doğal Havalandırma Sistemler	PV Sistemler, Güneş Pilleri, İklimlendirme Sistemleri,
AN EVALUATION OF THREE SOLAR ARCHITECTURE HOUSING PROJECTS USING THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP) S. ŞİMŞEK, EÜ, 2019	Doğrudan Kazanım Sistemleri, Dolaylı Kazanım Sistemleri, İzole Edilmiş Sistemler	Güneş Kolektörleri, PV Sistemler
GÜNEŞ ENERJİSİNİN BİNALARDA AKTİF VE PASİF OLARAK BİR ARADA KULLANILMASININ İRDELENMESİ S. YALÇINKAYA, DEÜ, 2019	Güneş Duvarları, Güneş Pencereleri, Çatı Havuz Sistemi, Güneş Bacaları, Seralar - Kış Bahçeleri, Bina Yönlenmesi	Güneş Kolektörleri, PV Sistemler
SOLAR BUILDINGS AND NEIGHBORHOOD DESIGN CONSIDERATIONS FOR HIGH ENERGY PERFORMANCE C. HACHEM-VERMETTE, U Of C, AB, Canada, 2020	Doğrudan Kazanım Sistemleri, Dolaylı Kazanım Sistemleri, İzole Edilmiş Sistemler	Güneş Kolektörleri, PV Sistemler

Güneş enerji sistemlerinin incelendiği 30 adet yayının 29 adetinde pasif sistemler, 20 adetinde aktif sistemler gruplandırılmaktadır. Şekil 2.5'te pasif

sistemlerin, Şekil 2.6’da aktif sistemlerin gruplandırılmaları grafiksel anlatım ile ifade edilmektedir.



Şekil 2.5: Pasif güneş enerjisi kazanç sistemlerinin gruplandırılması.



Şekil 2.6: Aktif güneş enerjisi kazanç sistemlerinin gruplandırılması.

Pasif sistemler Şekil 2.5'te belirtildiği şekilde;

- %42 oranında doğrudan kazanım sistemleri ve dolaylı kazanım sistemleri olarak iki ana başlığa,
- %28 oranında doğrudan kazanım sistemleri, dolaylı kazanım sistemleri ve izole edilmiş sistemler olmak üzere üç ana başlığa,
- %13 oranında doğrudan kazanım sistemleri, termal kazanç duvarı, güneş bölgeleri ve çatı havuzları olmak üzere dört ana başlığa,
- %10 oranında doğrudan kazanım sistemleri, dolaylı kazanım sistemleri, izole edilmiş kazanç sistemleri ve termosifon sistemleri olmak üzere dört ana başlığa,
- %7 oranında bina yönlenmesi, bina formu, bina kabuğu, güneş kontrol elemanları ve doğal havalandırma sistemleri olmak üzere beş ana başlığa ayrılmaktadır.

Aktif sistemler Şekil 2.6'da belirtildiği şekilde;

- %50 oranında PV sistemler ve güneş kolektörleri olmak üzere iki ana başlığa,
- %10 oranında PV sistemler ve güneş pilleri olmak üzere iki ana başlığa,
- %10 oranında PV sistemler olmak üzere tek ana başlığa,
- %10 oranında PV sistemler ve ısı güneş teknolojileri olmak üzere iki ana başlığa,
- %10 oranında PV sistemler, güneş enerjili ısıtma sistemleri, ısı ve elektrik üreten güneş enerjili ısıtma ve PV sistemler olmak üzere üç ana başlığa,
- %10 oranında PV sistemler, güneş pilleri ve iklimlendirme sistemleri olmak üzere üç ana başlığa ayrılmaktadır.

Literatürde bulunan pasif ve aktif güneş enerjisi kazanç sistemleri, grafiklerde belirtilen gruplamalar başta olmak üzere birçok farklı başlık altında incelenmektedir.

Teknolojik gelişmeler son yıllarda hızla artmaktadır. Bu gelişmeler doğrultusunda ise her geçen gün farklı güneş enerji sistemleri geliştirilmekte, mevcut sistemler üzerinde çalışılarak verimlilikleri artırılmaktadır. Gelişmeler karşısında literatürdeki bilgilerin sürekli olarak güncellenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, incelenen çalışmalardaki gruplandırmalara ek olarak güncel sistemlerin de dahil edildikleri bir gruplandırma önerisi yapılmaktadır.

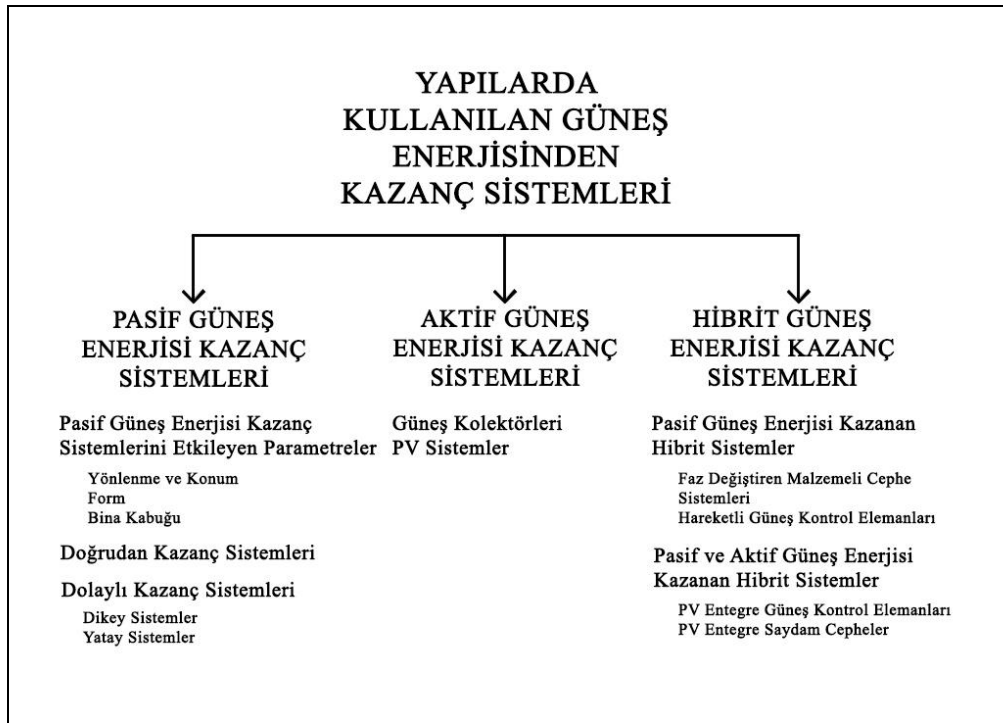
2.1.3. Yapılarda Güneş Enerji Sistemlerinin Sınıflandırılma Önerisi

Mevcut sınıflandırmalar ve içerikleri değerlendirilerek pasif ve aktif sistemlere hibrit sistemler başlığı ile yeni bir sınıflandırmanın eklenmesi önerilmektedir. Hibrit sistemler hem pasif hem aktif sistemlerin bir arada kullanıldığı sistemleri içermektedir. Bu sayede güncel olarak kullanılan ve geliştirilen yeni sistemler, enerji gerektiren pasif sistemler ve iki tür enerji kazancı sağlayan sistemlerin de güneş enerji sistemleri başlığı altında incelenebilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla;

Pasif Güneş Enerji Sistemleri; pasif güneş enerjisi kazanç sistemlerini etkileyen parametreler, doğrudan kazanç sistemleri ve dolaylı kazanç sistemleri olmak üzere üç ana başlık,

Aktif Güneş Enerji Sistemleri; güneş kolektörleri ve PV sistemler olmak üzere iki ana başlık,

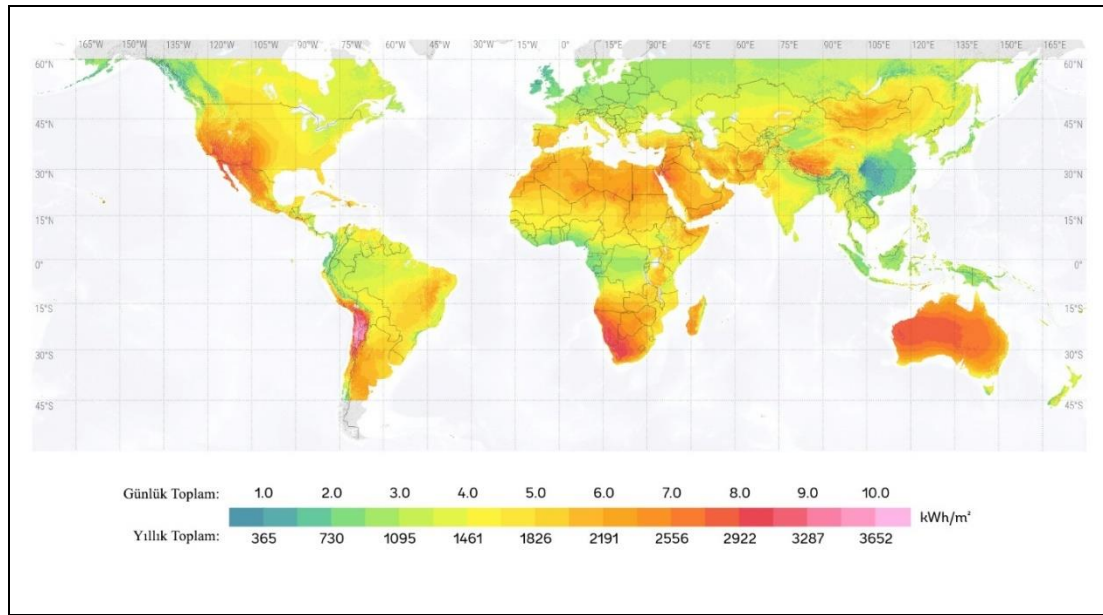
Hibrit Güneş Enerji Sistemleri; pasif güneş enerjisi kazanan hibrit sistemler ve pasif ve aktif güneş enerjisi kazanan hibrit sistemler olmak üzere iki ana başlık altında incelenmesi önerilmektedir. Şekil 2.7’de önerisi yapılan sınıflandırma şematik olarak özetlenmiştir.



Şekil 2.7: Yapılarda Kullanılan Güneş Enerjisinden Kazanç Sistemleri

2.1.4. Dünyada Güneş Enerjisi Potansiyeli, Kullanımı ve Teşvikler

Güneş enerjisi günümüzde hızla kullanımı artan yenilenebilir kaynaklardan biridir. Güneş enerji sistemleri, kullanım ve kurulum kolaylığı sayesinde küçük ve orta ölçekli yapılarda da sıkça kullanılmaktadır. Bu sistemler çevreyi kirletmeyen, zararlı atık oluşturmeyen bir kaynak türüdür. Küresel güneşlenme haritası Şekil 2.8’de verilmektedir [Web 7, 2021]. Haritada görüldüğü üzere dünya nüfusunun büyük oranının yaşadığı yerlerde güneşlenme oranı enerji elde edilebilmesi için uygundur.

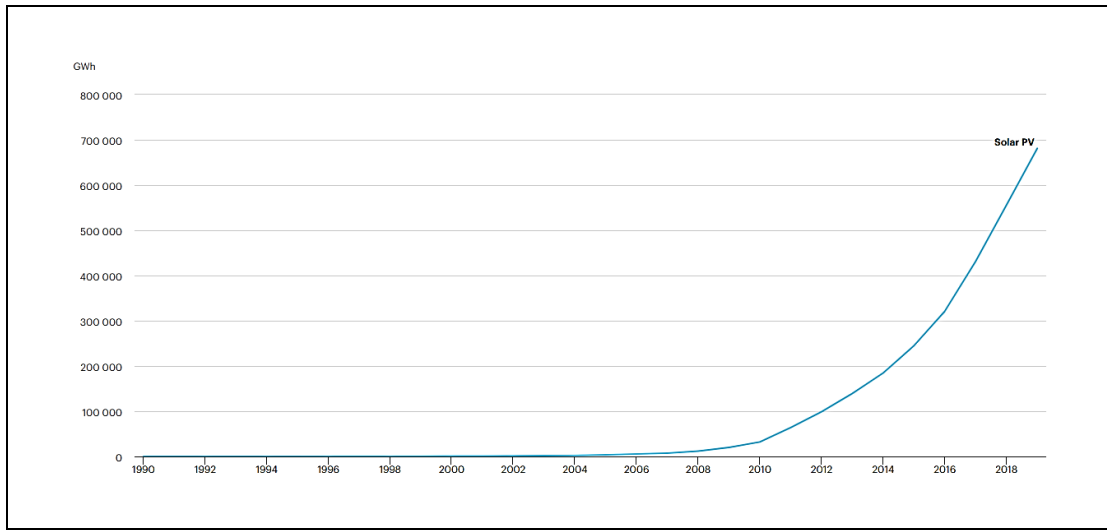


Şekil 2.8: Küresel güneşlenme haritası.

Güneş, yaydığı $3,9 \times 10^{26}$ Watt güç ile dünyadaki tüm enerji ihtiyacını karşılayabilecek potansiyele sahiptir [Web 4, 2021]. Ülkeler fosil kaynaklardan enerji elde ederek doğaya verdikleri zararın farkına vardıkça yenilenebilir kaynaklara olan yatırımlar artmaktadır. Bu yatırımların önemli bir kısmı güneş enerjisinden elektrik elde etmek için gerekli olan fotovoltaik güneş sistemlerine yapılmaktadır.

Yenilenebilir enerji sektörlerinde gerçekleşen yüksek ivmeli büyümeye karşın yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım payı bütünde orta derecede etkili olacak şekilde artmaktadır. Yenilenebilir kaynaklara olan talebin artmasına rağmen, toplamda yaşanan etkinin az olmasının hızla büyüyen sanayileşme sonucu artan küresel enerji talebinin artması, fosil yakıtların daha ucuz olması sonucu bu kaynaklara olan talebin devam etmesi gibi başlıca nedenleri vardır.

Yenilenebilir kaynakların endüstriyel enerji talebindeki payı, özellikle üretimi sırasında yüksek sıcaklık gerektiren sektörlerde düşük seviyede kalmaktadır. Yenilenebilir enerjinin toplam endüstriyel enerji talebindeki kullanım oranı yalnızca %14,8'dir. Bu yüzdenin çoğunluğunu üretim sırasında düşük sıcaklık ihtiyacı olan endüstrilerde kullanılmaktadır. Demir-çelik, çimento ve kimyasallar gibi ağır endüstrilerde, yenilenebilir kaynaklar 2018'deki birleşik enerji talebinin %1'inden azını oluşturmaktadır [Web 6,2021]. Şekil 2.9'da dünyadaki PV panellerden elde edilen elektrik miktarı grafiği verilmektedir [Web 1, 2021].



Şekil 2.9: 1990-2018 Dünyadaki PV panellerden elde edilen elektrik miktarı.

Güneş enerjisinden elektrik elde etmenin birçok yolu vardır. Bu yollardan en fazla kullanılanı fotovoltaiik teknolojidir. Şekil 2.9'da verildiği üzere PV ile elektrik üretimi 2007 yılından itibaren yüksek ivmeyle büyük bir artış göstermektedir. 1990 yılında 91 GWh olan güneşten elektrik üretimi, 2019 yılı itibari ile 680952 GWh'i bulmuştur [Web 1, 2021].

2020 yılında COVID-19 salgını güneş enerji sistemlerinin kurulması üzerine de etkili olmuştur. Evlerde daha fazla vakit geçirilmesinden kaynaklı olarak konutlarda yapılan iyileştirmeler artmıştır. Bu iyileştirmeler sırasında çatılardan enerji elde etmeye yönelik sistem eklemeleri de yapılmıştır. Avustralya'da toplam enerji üretiminin %6.5'ini küçük ölçekli çatı güneş enerji sistemleri karşılar hale gelmiştir [Web 5, 2021].

Çin'deki polisilikon tesislerinde meydana gelen kazalar ve iş gücü azalmasından kaynaklı olarak güneş enerji sistemlerinde kullanılmak üzere üretilen camlarda tedarik

sıkıntıları yaşanmıştır. Yaşanan sıkıntının bir etkisi olarak, kullanım ömürleri tükenen güneş enerji sistemleri atıklarının geri dönüşümü üzerine çalışmalar hız kazanmıştır [Web 5, 2021].

Yeşil ısıtma teknolojilerine yönelik politika destekleri sağlayan Çin ve Almanya’da bölgesel güneş enerjisi ısıtma sistemleri için olumlu bir yıl olmuştur. Zorlu ekonomik şartlara rağmen düşen fiyatlar sayesinde Latin Amerika bölgesindeki Brezilya, Mexico, Şili gibi ülkelerde de güneşten elektrik üretimi artmıştır [Web 5].

Konsantre termal güneş enerji sistemleri (Concentrating Solar Thermal Power, CSP) alanında %50 oranında düşen maliyetlere rağmen Almanya dışında bulunan ülkelerde CPS kurulumunda artış yaşanmamıştır. Bu, solar PV’ den kaynaklanan artan maliyet rekabetinin, CSP teşvik programlarının sona ermesinin ve mevcut tesislerdeki bir dizi operasyonel sorunun sonucu olmuştur. On yıldan uzun bir sürenin en düşük yıllık pazar büyümesini oluşturmaktadır. Almanya ise güneş ısıtma teknolojilerine dair yapılan politika destekleri sayesinde CSP’da %26 oranında büyümeyi başarmıştır [Web 5, 2021].

Almanya’da güneş enerjisine dair düzenlemeler 2000’li yılların başından itibaren yapılmaktadır. Belli bir büyüklüğün altında kazancı olan üretim tesislerine, destek verilmiştir. Ancak 2003 yılına gelindiğinde beklenen büyüme gerçekleşmediğinden politikalarını güncellemişler ve tesislerdeki büyüklüğe dair sınırlamaları kaldırmışlardır. 2004 yılında fiyat destekleri ve yıllık indirim oranları yeniden düzenlenmiştir. 2012 yılında yapılan yeni düzenlemeler ile de güneş enerjisi üretimini daha da artırmışlardır. Aynı zamanda güneş enerjisine dayalı olarak yapılan elektrik üretimi için şebekeye satış tarifesi (feed-in-tariff: FIT) sistemini kullanmaktadır.

İngiltere’de 2020’de yürürlüğe girmesi hedeflenen yasa ile enerji şirketleri müşterilerinden enerji satın almalarının zorunlu hale gelmesi planlanmaktadır. Bu sayede çatılarına güneş paneli monte eden ev sahipleri, ihtiyaç fazlası elektrik üretimlerini tedarikçi şirketlere satabileceklerdir.

Çin 2006 yılında yürürlüğe koyduğu” Yenilenebilir Enerji Kanunu” ile güneş enerjisine dayalı kurulu güç kapasitesini artırmıştır. 2013 yılında uygulamaya başladığı FIT politikasını yeniden düzenleyen Çin, Tibet hariç olmak üzere, güneş potansiyeli temel alınarak ülkeyi üç bölgeye ayırmıştır. Yüksek potansiyelden düşük potansiyel olan bölgelere doğru gidildikçe güneş enerjisine dayalı olarak elektrik enerjisi üretimine yapılan ödeme azalmaktadır [Ball et al., 2017].

“Çin, 2000 yılında öncelikle kırsal alanlarda yaşayan vatandaşlarının elektrik ihtiyacını karşılamak üzere hazırladığı programlar, ardından ulusal programlarında belirlediği hedefler doğrultusunda GES’lere yönelik sübvansiyon ve FIT teşvikleriyle dünyada PV piyasasının gelişmesine katkı sağlayan en önemli ülkelerden birisidir.” [Cebeci, 2017].

Amerika 2006 yılında güneş enerji teknolojilerinin gelişiminin desteklenmesi amacı ile SAI (Solar America Initiative)’i kurmuştur [Web 8,2021]. Bu girişim ile güneş enerji teknolojilerine büyük yatırımlar yapılmış, teknolojik ve bilimsel çalışmalar desteklenmiştir. Eyaletlerin iklimsel farklılıklarından dolayı bütüncül ülke politikaları dışında yerel teşvikler de bulunmaktadır. California eyaletinde yürütülmekte olan sıfır enerjili yeni nesil ev programı ile evin faturalarını ödemek için uygun yöne döşenecek paneller ile güneşten elektrik enerjisi elde edip satmak ve enerji verimliliği optimizasyonunun sağlanması hedeflenmektedir [Black and Veatch, 2005]. New Jersey eyaletinde ise yerel okul binaları ve kamu yapılarının yenilenebilir enerji kullanmaları ve enerji verimliliklerinin artırılması amacıyla uzun vadeli bir finansman programı yürütülmektedir. Aynı zamanda rüzgar ve güneş enerjisi teçhizatlarının satılmasını teşvik etmek amacıyla girişimciler devletin %6’lık satış vergisinden tümüyle muaf tutulmaktadır [Web 4, 2021].

2.1.5. Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli, Kullanımı ve Teşvikler

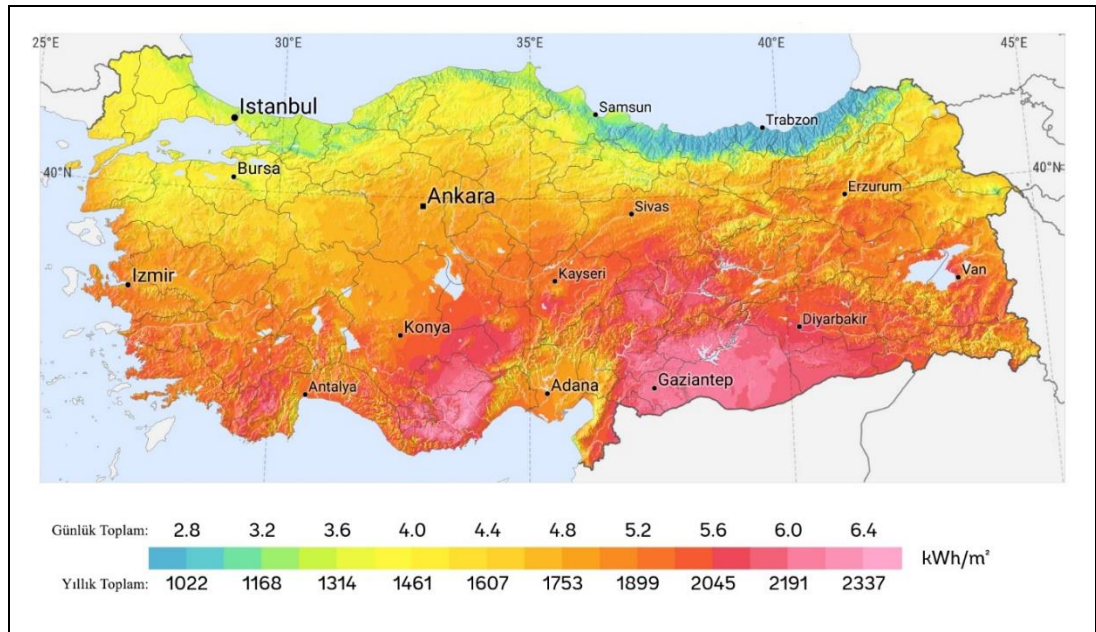
Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep gün geçtikçe artmaktadır. Dünya genelinde iklim krizi ile başa çıkmak amacıyla yapılan çalışmalara katılan ve uluslararası sözleşmeleri onaylayan Türkiye, 2015 yılında Paris İklim Zirvesi sonucu 175 ülkenin katılımı ile Paris İklim Anlaşması’nı imzalamıştır. Bu sözleşme ile CO₂ emisyonu başta olmak üzere birçok alanda yaptırımları kabul etmiştir. 2021 yılı itibari ile ise 5 yıl gecikmeli olarak kabul edilen anlaşma onaylanarak uygulamaya konulmaya karar verilmiştir [Web 9, 2022]. Paris Anlaşması’ nın yanısıra Türkiye; Kyoto Protokolü, Viyana Sözleşmesi ve Montreal Protokolü ve BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi’ni de kabul eden ülkeler arasında bulunmaktadır [Web 10, 2022].

İklim değişikliği ile mücadelede yenilenebilir kaynaklardan enerji kazanımının rolü büyüktür. Fosil yakıtların kullanımının yüksek olduğu ülkeler, kaynak tüketiminin

yanında CO₂ emisyonu, kirlenme, ozon tabakasının delinmesi, ötrofikasyon gibi dünyayı tehdit eden etkilere de sorumludur.

Türkiye 36°-42° paraleli, 26°-45°doğu meridyeni arasında, güneş kuşağının üzerinde yer almaktadır [Sözen ve Arcaklıoğlu,2005]. Türkiye sahip olduğu bu coğrafi konum sayesinde yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın hazırladığı Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) verilere göre, ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2741,07 saat olup ortalama yıllık toplam ışıınım değeri 1527,46 kWh/m²'dir [Web 11,2021].

Şekil.2.10'da Türkiye'nin güneşlenme haritasında da görüldüğü üzere potansiyeli en yüksek bölgeler Güney Doğu Anadolu bölgesi ve Akdeniz Bölgesi'dir [Web 11,2021]. En düşük güneşlenme oranına sahip Karadeniz Bölgesi'nde dahi güneşten orta seviyede enerji elde etmek mümkündür.

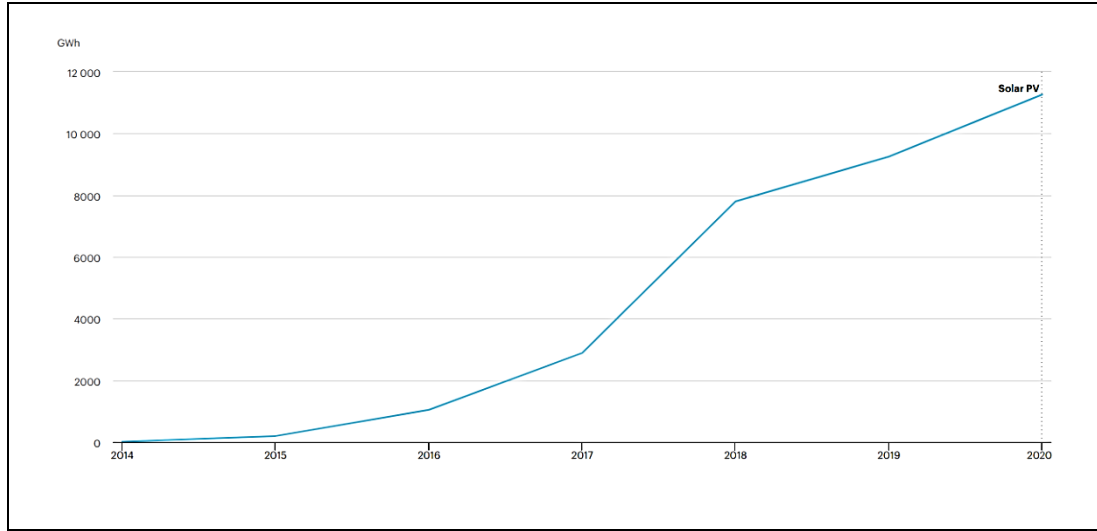


Şekil 2.10: Türkiye güneşlenme haritası.

Aralık 2020 sonu itibari ile Türkiye'de güneş enerjisine dayalı elektrik kurulu gücü 6.667 MW'ı bularak toplam elektrik üretimi içerisindeki payı %3,6'a yükselmiştir [Web 11,2021].

Türkiye 2020 yılında yaşanan salgının etkisine rağmen güneş enerjisinden kazanç sistemlerine yatırım yapmaya devam etmiştir. 2020 yılı içinde yeni kurulumu en fazla olan ülke Çin iken, ikinci sırada Türkiye yer almaktadır [Web 5, 2021].

Salgın Türkiye pazarını iki karşıt şekilde etkilemiştir. Konut sektöründe güneş enerjili su ısıtıcılarının satışları artmıştır. Bunun nedeni salgın sırasında yaşanan kentsel alanlardan kırsal alanlara doğru olan geçici glerdir. Kırsal alanlardaki bireysel konutlarda yapılan tadilatlar sırasında güneş enerji sistemlerine olan talep artmıştır. Ancak oteller ve tatil köyleri için sistem satışları gerilemiştir [Web 5, 2021].



şekil 2.11: 1990-2018 Türkiye’de PV panellerden elde edilen elektrik miktarı.

Isıl güneş teknolojilerinin yanında Türkiye PV panellerden elektrik üretimi alanında da 2020 yılında büyüme göstermiştir. 2014 yılında kurulu PV gücü 17 GWh olan Türkiye, 2020 yılında bu gücü 11265 GWh’ a çıkarmıştır. Türkiye’de PV panellerden elde edilen elektrik miktarı şekil 2.11’de verilmektedir [Web 1, 2021].

Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi ilk defa 2005 yılında ‘‘Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi retimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun’’ ile yasalaştırılmıştır. Kanunun amacı; ‘‘Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımının yaygınlaştırılması, bu kaynakların güvenilir, ekonomik ve kaliteli biçimde ekonomiye kazandırılması, kaynak çeşitliliğinin artırılması, sera gazı emisyonlarının azaltılması, atıkların değerlendirilmesi, çevrenin korunması ve bu amaçların gerçekleştirilmesinde ihtiyaç duyulan imalat sektörünün geliştirilmesi’’ olarak açıklanmıştır [Cebeci, 2017].

2005 yılında yürürlüğe giren FIT uygulaması 2020 yılında bitmesi planlanmaktaydı. Ancak yenilenebilir enerji gelişmelerinin devam etmesini sağlamak için uygulama desteğini 2021 yılına kadar uzatma kararı alınmıştır [Web 4, 2021]. Bu

uygulama tarife garantisi teşviki olarak 63 ülkede kullanılmaktadır. En çok kullanılan ve en etkili yöntemdir [Iraz, vd., 2010].

PV alanında üreticilerin ödemekle yükümlü olduğu vergilere ilişkin de bazı düzenlemeler yapılmıştır. 19 Haziran 2012 tarihli Resmi Gazete’ de yayınlanan 3305 sayılı bakanlar kurulu kararıyla güneş enerjisine dayalı elektrik üretim tesisi yatırımları için Genel Teşvik Sistemi kapsamında;

1. yurtdışından temin edilecek makine ve teçhizat için gümrük vergisi ödememe,
2. yurtiçinden ve yurtdışından temin edilecek makine ve teçhizat için KDV ödememe,
3. yatırımlar sonucu ortaya çıkacak ilave istihdam için ödenmesi gereken gelir vergisi stopajının asgari ücrete denk gelen kısmını 10 yıl süreyle ödememe şeklinde teşvikler sağlanmıştır [Resmi Gazete, 2012].

25 Haziran 2016 tarihli Resmi Gazete’de bu kararda yapılan değişikliklerle yurtdışından ithal edilen güneş panelleri teşvik belgesi kapsamından çıkarılmıştır [Resmi Gazete, 2016a: 31]. Böylece güneş enerjisine dayalı elektrik üretimi yapacak olan üreticiler güneş paneli ithalatında KDV ve gümrük vergisi muafiyetinden yararlanamaz duruma gelmiştir. Yapılan değişiklikler ile amaç yurtiçi üretimi teşvik olsa da yeterli AR-GE çalışmalarının olmaması nedeniyle değişikliklerin etkisi olumsuz olmuştur.

Güneş enerji sistemlerinden olan PV sistemler ile güneş enerjisinden elektrik kazancı sağlanabilmesi sebebiyle, devletlerin politika ve teşviklerinin ağırlıklı olarak PV sistemler üzerine olduğu görülmektedir. Elektrik enerjisinin endüstri alanı başta olmak üzere her alanda ihtiyaç duyulan bir enerji türü olması sebebi ile bu alanda yapılan yatırımlar devletlerin politikalarında önemli bir yere sahiptir.

2. YAPILARDA KULLANILAN GÜNEŞ ENERJİSİNDEN KAZANÇ SİSTEMLERİ

Yapılarda kullanılan güneş enerjisinden kazanç sistemleri üç ana başlık altında incelenmektedir. Pasif, aktif ve hibrit kazanç sistemlerinden oluşan sınıflandırma ile yapılarda güneş enerji sistemlerinin kullanılma yöntemleri incelenmektedir.

3.1. Pasif Güneş Enerjisi Kazanç Sistemleri

Pasif güneş sistemleri; ilave bir enerji tüketimi olmaksızın, yapıda güneş enerjisinin toplanması, depolanması, dağıtılması ve kontrol edilmesi amacıyla tasarlanan sistemlerdir [Demircan ve Gültekin, 2017].

Pasif güneş enerji sistemlerinin amacı; ısıtma ihtiyacı duyulan zamanlarda güneş ısısını yapı içine alarak fayda sağlamaktır. Yani temel olarak enerji harcanmadan kullanıcıların konfor koşullarına en yakın ısının elde edilmesidir. Bu amacın gerçekleşebilmesi için temel olarak sistemlerin toplama, depolama, dağıtma ve kontrol özelliklerinin olması gerekmektedir.

Yapay ısıtma ile konfor koşulları sağlanabilmektedir. Ancak insan bedeni doğal güneşten gelen sıcaklığı daha doğal karşılamaktadır. Doğal yollarla kazanılan ısı ve ışığın insan üzerindeki etkisi mekanik olarak oluşturulan aydınlatma ve ısıtmadan daha olumludur. Bu sebeple pasif sistemler yalnızca enerji tasarrufu sağlamakla kalmaz insan bedeni ve ruhu için de daha istenen ve sağlıklı ısı ve ışık kazanımını sağlar.

2019 yılında dünya çapında başlayan Covid-19 salgınının da gösterdiği gibi, doğal afetler ve hastalıklar sonucu mevcut enerji akışında aksamalar olabilmektedir. Bu aksamaların sonucunda tüm insanlar etkilenmektedir. Enerji ve elektrik aksamalarından en az etkilenebilmek, azami yaşam koşullarını sağlayabilmek için barındığımız alanların enerji ihtiyacı olmadan da konfor koşullarına yaklaşabilmeleri hayati önem taşımaktadır.

Pasif güneş enerji sistemleri tez kapsamında üç ana bölüme ayrılmaktadır. Bu sistemler; pasif güneş enerjisi kazanç sistemlerini etkileyen parametreler, doğrudan ve dolaylı kazanç sistemleri olarak incelenmektedir.

3.1.1. Pasif Güneş Enerjisi Kazanç Sistemlerini Etkileyen Parametreler

Mimari tasarım; inşa edilecek yapının formunun, yönünün, malzemelerinin, pasif ve aktif sistemlerinin, plan ve görünüşlerinin tüm detaylarıyla projelendirilmelerini kapsamaktadır. Enerji etkin yapı tasarımı ise iklim, hakim rüzgar, topografya gibi doğal etkilerin göz önünde bulundurulması ile yapının ihtiyaç duyduğu enerjinin en etkin ve verimli şekilde kullanılmasını sağlayan tasarımları içermektedir. Enerji etkin yapılarda ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma gibi gerekliliklerin doğal yollarla yani pasif şekilde sağlanabilmesi gerekmektedir. Pasif yöntemlerin yetersiz kalması durumlarında aktif sistemler devreye girmektedir. Yapıların verimliliklerinin artırılması hem aktif hem pasif sistemlerin tasarım aşamasında yapıya entegre edildiği ile sağlanabilmektedir.

Dikmen'e göre; *"Yapının pasif sistem olarak enerji verimliliğini etkileyen tasarım parametreleri şu şekildedir:*

- *Yapının yer seçimi,*
- *Yapının diğer yapılara mesafesi ve konumu,*
- *Yapının yönü,*
- *Yapının formu,*
- *Yapı kabuğunun ısı geçişini etkileyen fiziksel özellikleri,*
- *Dış ortam aydınlık düzeyi,*
- *Yapı dışı iklimsel ve görsel konforu etkileyebilecek engeller,*
- *Yapı iç hacminin fiziksel özellikleri,*
- *Pencere ve cam gibi yapı elemanlarının boyutları ve yapısal özellikleri,*
- *Yapay aydınlatma sistemini oluşturan bileşenlerin özellikleri,*
- *Güneş kontrol ve doğal havalandırma sistemleri"* [Dikmen, 2011].

Yapı tasarımının pasif güneş enerjisinden kazanç sistemlerinin verimliliği üzerinde kayda değer bir etkisi vardır. Güneşe göre yapılan bina tasarımı sayesinde güneşten enerji elde etmek ve sonraki adımlarda tasarlanacak güneş enerjisi kazanç sistemlerinin çalışmasını sağlamak mümkündür.

3.1.1.1. Yönlendirme ve Konum

Mimari tasarımın ilk adımlarından biri yapının yerleşeceği arazinin ve çevresinin analizini oluşturmaktır. Bu analiz ile enerji etkin yapı tasarımı sırasında dikkat edilmesi gereken dış unsurlar belirlenmektedir.

Bina yönünün güneşe göre belirlenmesi sayesinde binadan dış ortama doğru ısı kaybı en aza indirilebilmektedir. Bu sayede enerji verimliliği sağlanırken iç mekan ısı konforu da artırılmaktadır.

Bina tasarımında doğal havalandırmayı sağlayacak çözümlerin olması ile ısınma, soğuma, havalandırma gibi iklimlendirme için gereken maliyetler düşürülerek enerji verimliliği sağlanabilmektedir. Bina yönlendirme ve konumunun seçiminde temel unsur, güneşin ısı ve ışınımından faydalanırken olumsuz etkilerinden korunabilmektir [Alparslan vd., 2009].

Kuzey yarımküre için bina yönü güneşe dönük olarak tasarlanmaktadır. Günümüzde kullanılan gelişmiş bilgisayar programları sayesinde yeryüzünde bulunan her nokta için yapının güneşten maksimum şekilde faydalanabileceği yönlendirme açısı saptanabilmektedir.

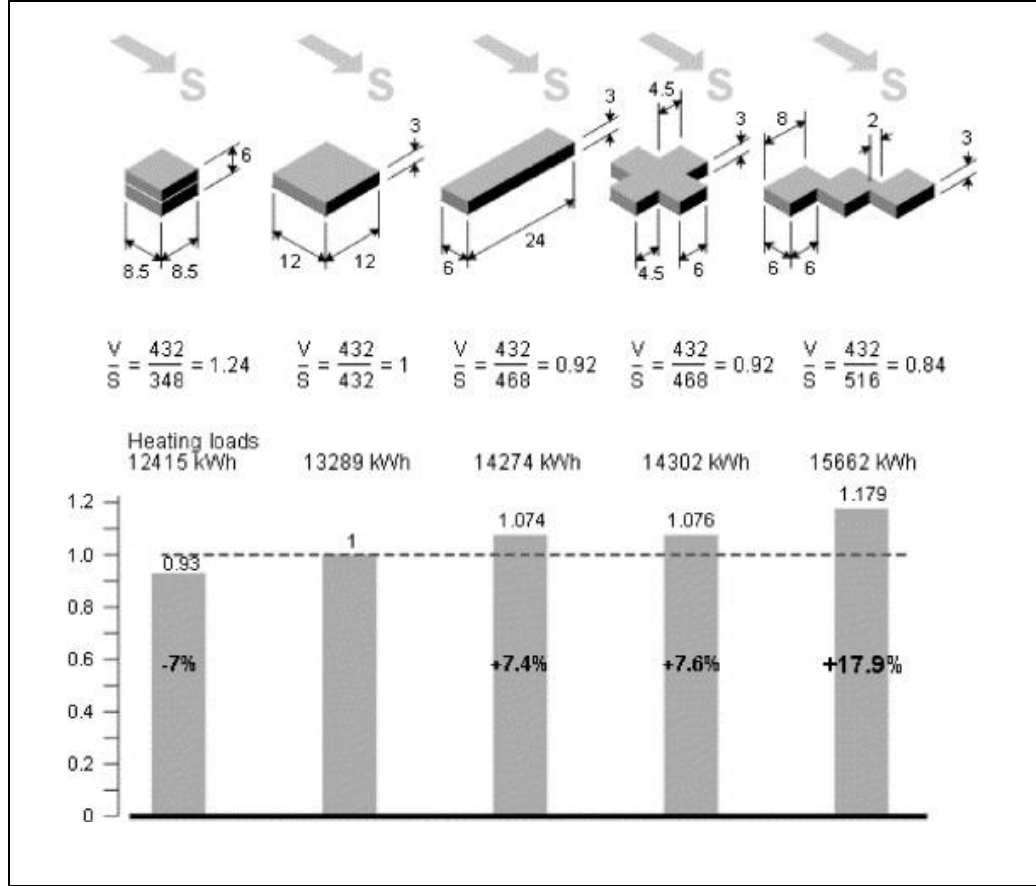
Binanın yer seçiminde güneşin geliş açısı ile birlikte çevresinde bulunan ve güneşten pasif ve aktif olarak kazanç sağlanmasını engelleyecek unsurların göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Yapı çevresinde bulunan yüksek ağaçlar, komşu yapılar gibi faktörlerin tasarlanacak yapıya olan etkileri incelenmeli, elde edilen sonuçlara göre yapının konumu belirlenmelidir.

3.1.1.2. Form

Bina formu, güneş enerjisi ve gün ışığından yararlanma başta olmak üzere manzara, dış yüzeydeki ısı kaybı, havalandırma ve akustik koşullara bağlı olarak belirlenmektedir [Thomas,2006]. Pasif güneş enerjisi kazanımında bina formu dış iklim koşullarının kontrol edilerek iç alanda konfor koşullarının sağlanmasını amaçlamaktadır.

Enerji etkinliği yönünden incelendiğinde form; bina kabuğunun özellikleri ile belirlenen termal iletim katsayısını (u değeri) etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Termal ısı kaybının pasif güneş enerji sistemlerindeki depolama faktörü ve

enerji verimliliği üzerindeki etkisi büyüktür. Yapı formları aynı hacme sahip olmalarına rağmen farklı formlarda bulunabilirler. Bu form farklılıkları güneşten enerjisi kazanımını ve verimliliğini olumlu ve olumsuz yönlerde etkiler.



Şekil 3.1: Farklı yüzey/hacim oranlarının ısıtma yükü üzerine etkisi.

Cephe alanının bina hacmine oranı kompaktlığı belirlemektedir. Bina daha kompakt hale geldikçe ısı kayıpları azalmaktadır. Gratia ve De Herde [2002] yaptıkları çalışmada yalıtım artırma veya cam malzeme geliştirilme yoluna gidilmeden önce bina formunun değiştirilerek cephe alanının azaltılması gerektiğini belirtmektedir. Şekil 3.1’de bina formundaki değişikliklerin enerji tüketimine olan etkisi matematiksel analizler yoluyla tespit edilmektedir [Gratia and De Herde, 2002]. Bu analiz bina formunun güneş enerjisi kazanımına olan etkisini göstermektedir.

3.1.1.3. Bina Kabuğu

Bina kabuğu, yapıların iç mekan konfor koşulları, ısıtma ve soğutma yükleri gibi parametrelerin belirlenmesindeki önemli faktörlerden biridir. Yapı kabuğu iç mekan ile dış ortamı birbirinden ayıran, doğrudan iklim koşullarına maruz kalan yapı elemanıdır. Bu sebeple enerji etkin yapı tasarımında önemli bir yere sahiptir.

Bina kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri doğrudan kazanılan ve yitirilen güneş enerjisini etkiler. Kabuk temel olarak saydam ve opak olmak üzere temel iki bileşen türüne sahiptir. Opak alanlar olan duvarlar ile saydam alanlar olan pencereler bina kabuğu tasarımının bütünü oluşturmaktadır. Farklı malzemelerin bir araya gelmesiyle oluşan bina kabuğunun ısısal performansı bir araya geldiği malzemelerin ısısal performanslarına bağlıdır. Bu performansı etkileyen en önemli termofiziksel özellikler;

- Opak ve saydam bileşenlerin ısı geçirgenlik katsayısı ($U=W/m^2$)
- Opak/Saydam yüzeylerin oranı,
- Opak bileşenlerin genlik küçültme faktörü,
- Opak bileşenlerin zaman geciktirmesi,
- Opak ve saydam bileşenlerin güneş ışınımına karşı geçirgenlik (opak bileşen için geçersiz), yutuculuk ve yansıtıcılık katsayıları (τ, a ve r) olarak sıralanabilir [Web 12, 2022].

Farklı malzemelerin arka arkaya dizilmesiyle oluşan bina kabuğunun ısı geçişine göstermiş olduğu direnç ısı geçirgenlik katsayısı (U) denir. U , malzemelerin ısı iletim katsayısı (λ) ve ısı geçiş yönündeki kalınlığına bağlıdır. U değeri ne kadar küçük olursa, ısı kaybı da o kadar az olur [Web 12, 2022].

Zaman geciktirmesi ve genlik küçültme faktörü, içerisinde ısı depolayabilen malzemeler için geçerlidir. Saydam bileşenlerin ısı depolama kapasiteleri ihmal edilecek düzeydedir. Zaman geciktirmesi, bileşenin dış yüzeyindeki maksimum sıcaklığın olduğu saat ile iç yüzeyinde maksimum sıcaklığın olduğu saat arasındaki zaman farkı olarak tanımlanmaktadır. Saydam bileşenler için ısı kütlesi ihmal edilebilecek kadar küçük olduğundan zaman geciktirmesi ve genlik küçültme faktörü de ihmal edilmektedir.

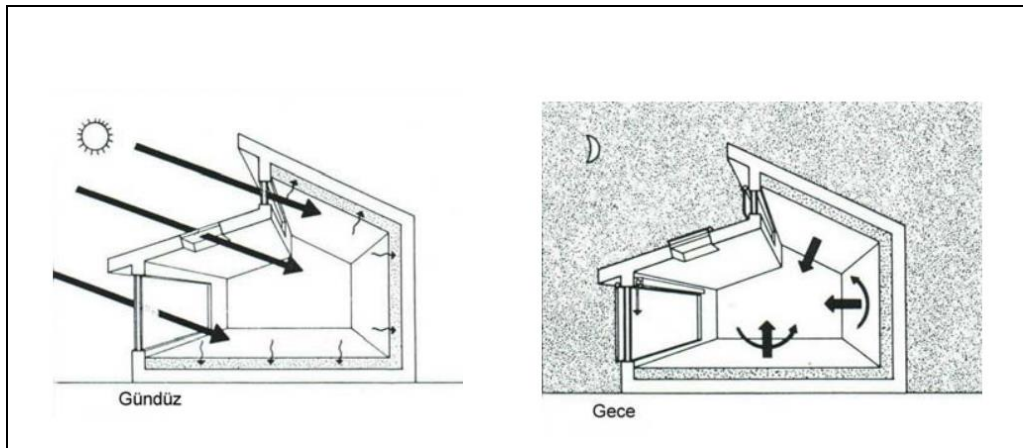
3.1.2. Doğrudan Kazanç Sistemleri

Duvarlarda bırakılan açıklıklar, cam pencereler, çatı pencereleri gibi sistemler doğrudan kazanç biçimleridir [Yürekli, 1983].

Doğrudan kazanç sistemleri; güneş ışınlarının doğrudan yapı içine girdiği, ek bir sistem gerekmeksizin cam yüzeylerden iç mekana giren ışınların ulaştığı yüzeyleri ısıtarak depolandığı sistemlerdir. Depolanan enerji ısının düşmesi ile termodinamik prensibinin bir sonucu olarak sıcaklığın düşük olduğu bölgeye doğru yayılım gösterir. Binanın bütünü bir çeşit doğrudan güneş enerjisi toplayıcısı olarak görev yapmaktadır. Standart bir yapıda bulunan pencere boşluklarına vuran güneş ışığı iç alana girerek mekanda bulunan duvarları ve zemini ısıtır. Bu şekilde yaklaşık bütün yapılar güneş enerjisinden yararlanmaktadır. Doğrudan kazanç sistemleri en temel ve en eski güneş enerjisinden kazanç yöntemidir.

Doğrudan kazanç sistemlerinde, güney yarım kürede bulunan yapılar için, güney yönünde bulunan cam yüzeyler enerjinin toplanmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda çatı pencereleri de ısı kazancını artırabilmektedir. İç mekanda enerjiyi depolayabilecek kütle bulunması kazancı artırmaktadır. Aynı zamanda güney yönündeki camların ısı özelliklerinin olması ve ısı kaçışını engelleyecek bina yalıtımının kullanılması doğrudan kazanç sistemlerinde verimliliği artıran faktörlerdendir [Yürekli, 1983].

Doğrudan kazanç sistemlerinde ısı kütle görevi gören duvar, zemin gibi elemanların yoğunluklarının yüksek olması gerekmektedir. Bu elemanların kalınlığı ve yoğunluğu arttıkça ısı verimleri yükselmektedir. Şekil 3.2’de doğrudan kazanç sistemlerinin çalışma prensibi grafiksel anlatım ile verilmektedir [Wachberger,1988].



Şekil 3.2: Güneşten doğrudan kazanç sistemi.

3.1.3. Dolaylı Kazanç Sistemleri

Dolaylı kazanç sistemleri, ısı toplayıcı bir kütlenin güneşten gelen ışınlardan elde ettiği ısıyı daha sonra yayılmak üzere depolaması prensibine dayanmaktadır.

Dolaylı kazanç sistemlerinde, ısısının istendiği dönemde güneş ışınları toplayıcıya ulaşır ve burada ısı kütlesi tarafından emilerek toplanır. Depolanan ısı, kütlenin bitişindeki yaşam alanına akarak ortamın ısınmasını sağlar. Isınmanın istenmediği dönemlerde ısı kütleye güneş ışınlarının ulaşmasını engellemek amacı ile güneş kontrol elemanları kullanılmaktadır.

Dolaylı kazanç sistemleri düşey sistemler ve yatay sistemler olarak iki ana başlıkta incelenmektedir.

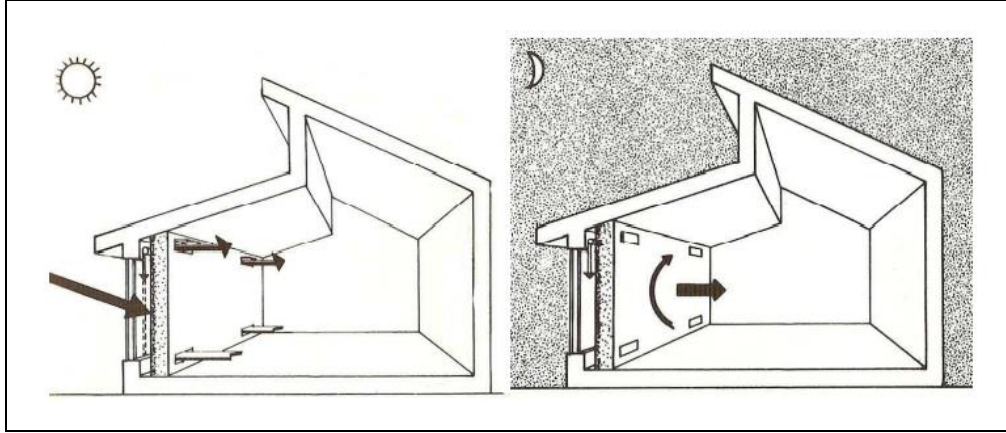
3.1.3.1. Düşey Sistemler

Dolaylı kazanç sistemlerinde kullanılmakta olan düşey sistemler; dikey yönde tasarlanan ve enerji kazanımını sağlayan sistemlerdir. Duvar gibi yapıları oluşturan temel elemanlarda tasarlanırlar. Temel işleyiş sistemleri birbirlerine benzemektedir. Trombe duvarı ve bidon duvarı düşey sistemlerdendir.

Trombe Duvarı: 1960'lı yıllarda Felix Trombe tarafından tasarlanan "Trombe Duvarı" sistemi dolaylı kazanç sistemlerinden biridir [Torcellini and Pless, 2004]. Bu sistemlerde güney yöne bakan dış cephe cam katman-hava boşluğu-ısı kütlesi sıralaması ile tasarlanır. Cam ile ısı kütlesi arasında 2-5 cm kadar boşluk bırakılmaktadır. Isı kütlesi yüzeyi koyu renkli beton, sıkıştırılmış toprak, deliksiz tuğla gibi yoğunluğu ve ısı depolama kapasitesi yüksek masif bir duvardır.

Bu sistem ısınan hava yükselir prensibiyle çalışmaktadır. Cam yüzeyden geçen ısı, ısı kütlesinde tarafından emilerek depolanır ve yükselir. Bitişinde bulunan yaşam alanının ısısının düşmesi ile, sistemde bulunan üst menfezler aracılığı ile bu bölgelere akar. Soğuyan hava alçalarak sistemdeki alt menfezlerden geri döner. Gece ise bu deliklerin kapatılarak var olan ısısının korunması gerekmektedir. Şekil 3.3'te Trombe duvarının çalışma sistemi verilmektedir [Wachberger, 1988].

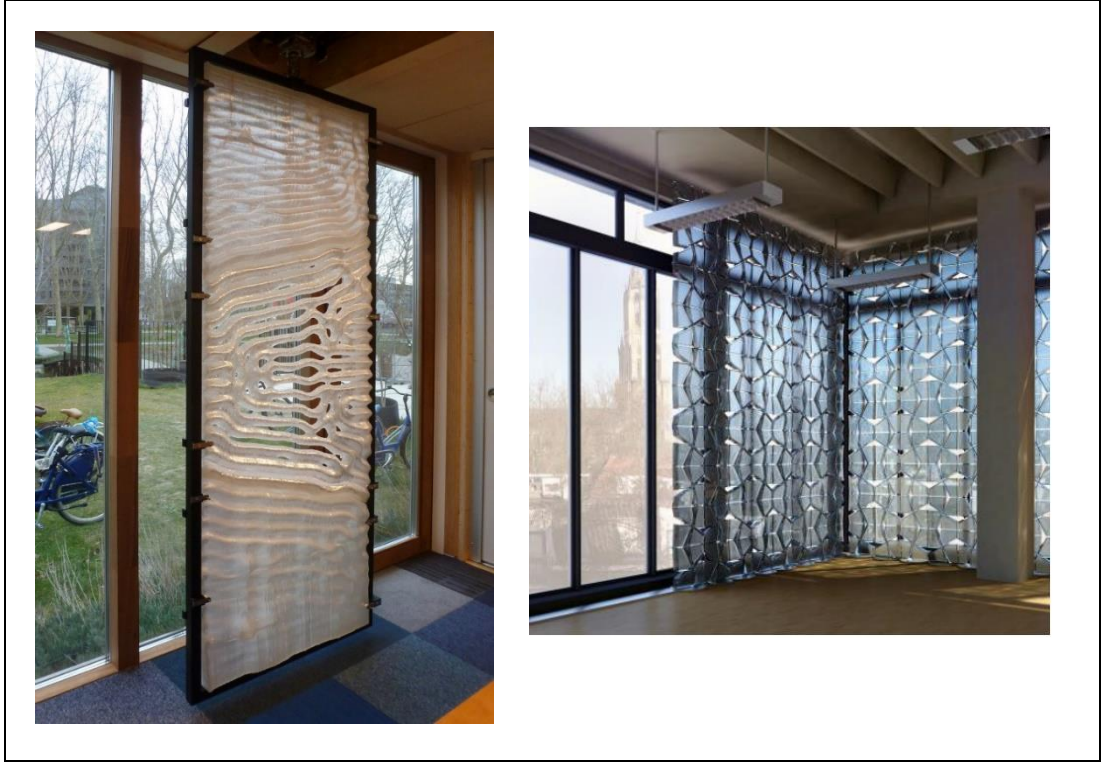
20 cm kalınlığında inşa edilmiş bir Trombe duvarının ısıyı bina içine yayması 8 – 10 saati bulabilmektedir [Torcellini and Pless, 2004]. Trombe duvarının en verimli çalışabileceği alanlar; güneşli ve soğuk kışların görüldüğü iklim bölgeleridir.



Şekil 3.3: Trombe duvarı sistemi.

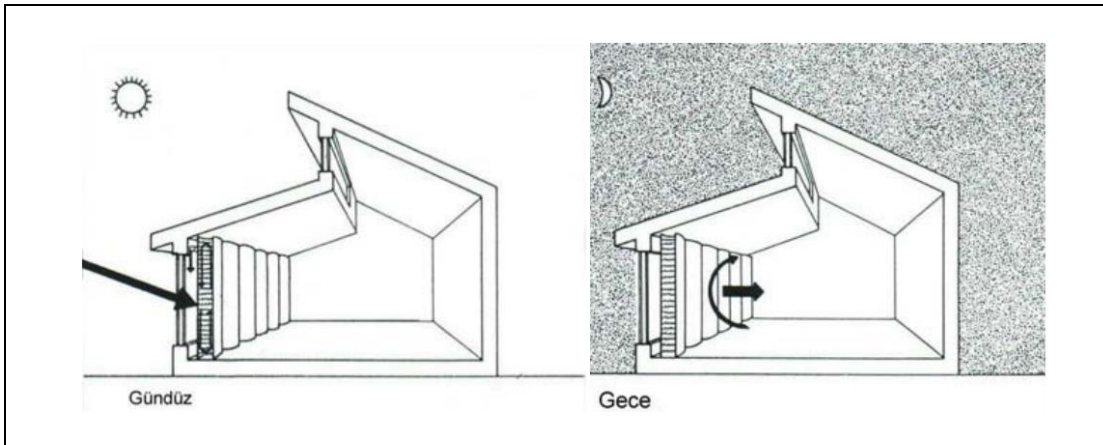
Günümüzde malzeme teknolojilerinde ve 3 boyutlu yazıcıların kullanımları ile büyük ilerlemeler kaydedilerek klasik Trombe duvarının verimliliğinin artırılması yönünde yapılan çalışmalar artmaktadır.

Trombe duvarının geliştirilmesine yönelik çalışmalarda sıkça faz değiştiren malzemeler kullanılmaktadır. Isıl kötü işlevi için kullanılan oldukça kalın ve yoğun malzemeler, iç mekanın manzarasını ve güneş ışığının iç mekana girmesini engellemektedir. Trombe duvarının bu olumsuz özelliğini ortadan kaldırmak amacıyla daha az kalınlıklarda faz değiştiren malzeme kullanımı denenmektedir. Güneş enerjisi ile etkileşimli faz değiştiren malzemeler kullanılarak tasarlanan Trombe duvarının klasik Trombe duvarına göre daha verimli olduğu tespit edilmiştir [Köse, M., 2013]. Gün boyu gelen güneş ışınları faz değiştiren malzeme ile elde edilmiş ısıl kütleye ulaştıklarında malzemenin erimesine neden olur. Bu sayede güneş enerjisi gizli ısı şeklinde depolanır. Gece olduğunda ısıl ktledaki ısı yayılmaya başlar ve faz değiştiren malzeme yeniden katılaşır. Bu dnė yaz aylarında tersine çalışır, bu sayede ısıtma yükünün azalması sağlanabilmektedir. şekil 3.4'te geliştirilmekte olan ağdaş trombe duvarlarına ait prototip örnekleri verilmektedir [Wattez et al., 2017].



Şekil 3.4: Çağdaş Trombe duvarı prototipleri.

Bidon Duvarı: Trombe duvarına benzer bir sistem olarak bidon duvar sistemi Steve Baer tarafından 1970’li yıllarda geliştirilmiştir [Michael and Wachberger, 1988]. Isıl kütle olarak kullanılan beton, tuğla gibi malzemeler bidon duvar sistemlerinde içi akışkan sıvı dolu tanklar, bidonlardır. Bidonların güney yönleri siyah renge boyanarak daha fazla güneş enerjisinin toplanması sağlanmaktadır. Sıvılardaki sürekli akım sayesinde hızlı bir ısı taşınımı yaşanmaktadır. Şekil 3.5’te bidon duvarının çalışma prensibi gösterilmektedir [Wachberger,1988].



Şekil 3.5: Bidon duvarı sistemi.

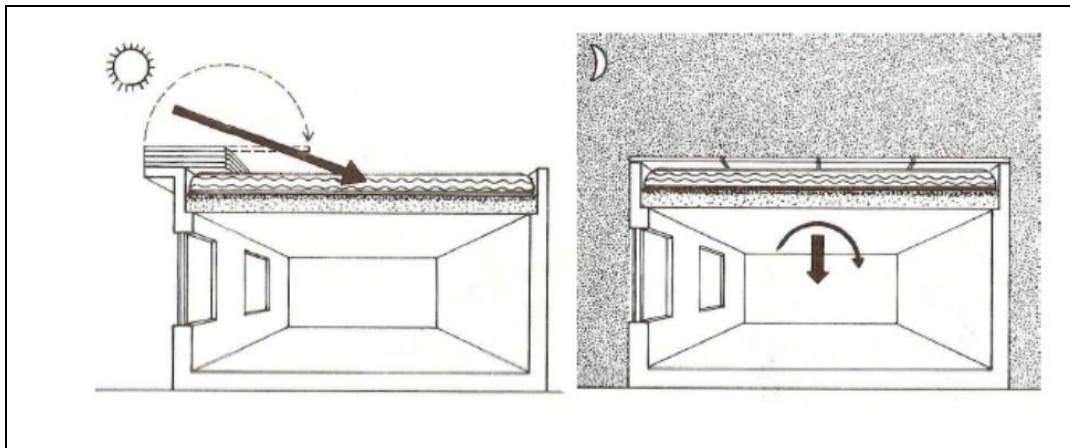
Bidon duvarı sistemlerinde depolama miktarı bidon duvarın hacmi ile doğru orantılıdır. Yaz döneminde gün içinde sistemin fazla ısınmasını, kış döneminde ise gündüz kazanılan ısının gece dışarı çıkışını engellemek amacıyla bidon duvarının dış yüzeyinde güneş kontrol ve yalıtım elemanlarının kullanılması ısıl konforu artıran önlemlerdir.

3.1.3.2. Yatay Sistemler

Dolaylı kazanç sistemlerinde kullanılmakta olan yatay sistemler; yatay yönde tasarlanan ve enerji kazanımını sağlayan sistemlerdir. Yapı elemanlarından biri olan çatıda tasarlanan bu tür sistemler sayesinde güneş enerjisinden pasif olarak faydalanmak mümkündür. Çatı havuzu sistemleri bu tür yatay sistemlerden biridir.

Çatı Havuzu Sistemleri: Çatı; yoğun güneş ışınlarına maruz kalan, bulunduğu katta pasif güneş enerji kazanımını potansiyeli yüksek bina kabuğunun bir bölümüdür. Çatı havuzu sistemleri, temel olarak ısının çatıdaki ısıl kütle aracılığı ile toplandığı ve alttaki hacme bir kanal vasıtasıyla iletildiği sistemlerdir (Şekil 3.6) [Wachberger,1988]. Isıl kütle olarak su kullanılmaktadır. Hem ısıtma hem soğutma sistemi olarak kullanılabilir. Pasif soğutma açısından sağladığı avantajlardan dolayı sıcak iklim bölgelerinde tercih edilmektedir.

Kış aylarında gündüzleri güneş ışınımına maruz kalarak ısınan su havuzu, gece hava ısının düşmesi ile sahip olduğu ıstıyı iç mekana iletir. Yaz aylarında gündüz saatlerinde üzeri kapatılarak doğrudan güneş ışınımına maruz kalması engellenir. Bu sayede serinleyen hava iç mekana iletilir.



Şekil 3.6: Çatı Havuz Sistemi.

Bina strüktürüne ek yük getireceğinden ötürü çatı havuzu sistemlerinin kullanılacağı yapıların doğru çatı konstrüksiyonuna sahip olmaları gerekmektedir. Aynı zamanda gerekli durumlarda tahliye işlemi yapılabilmesi, iç mekana sıvı geçişi gibi sorunlarla karşılaşılabilceği öngörölerek gerekli yalıtım ve drenaj sistemlerinin kullanılması önerilmektedir.

3.2. Aktif Güneş Enerjisi Kazanç Sistemleri

Aktif güneş enerjisi kazanç sistemleri; teknik ve mekanik sistemler ile güneşten enerji elde edilmesini mümkün kılan sistemlerdir. Aktif sistemler çalışabilmeleri için enerjiye ihtiyaç duyarlar. Aktif güneş enerjisi kazanç sistemleri güneşten gelen ışınlamaları sistemin bünyesinde toplar. Toplanan enerji sistemin yapısına göre ihtiyaç duyulan enerjiye çevrilir. Bu sayede güneşten gelen ışınlamalar pasif sistemlerde olduğu gibi ısıtma ve soğutmanın yanında elektrik ve ısı enerjisine de dönüştürülebilir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisinin aktif sistemler sayesinde elektrik enerjisi gibi farklı enerji ihtiyaçlarına da cevap verebilmesi, güneş enerjisinden yararlanma yöntemlerinin kullanımının yaygınlaşmasını sağlamaktadır. Devletler büyük yatırımlar yaparak güneş enerjisinin toplandığı güneş tarlaları inşa etmektedir. Bu sayede yenilenemez kaynaklara olan bağımlılıklarını azaltmaya çalışmaktadırlar.

Binalarda kullanılan güneş enerji sistemleri ile yapıda ihtiyaç duyulan ısıtma, elektrik, aydınlatma enerjisi gibi birincil enerji giderleri karşılanabilmektedir. Bireysel ölçekte kullanılan güneş enerjisi kazanç sistemleri ile kazanılan enerji, büyük ölçekteki kullanıma oranla daha azdır. Bu kazanım bireysel olarak düşük bir miktar gibi görünse de bütünsel ölçekte bakıldığında önemli bir rol oynamaktadır.

3.2.1. Güneş Kolektörleri

Güneş kolektörleri temel olarak güneşten elde edilen kullanılabilir enerjinin sistemler ile toplanarak su, hava gibi akışkanlar aracılığı ile farklı bir ortama iletilmesini sağlayan toplayıcılardır [Değirmencioğlu ve İlken, 2003].

Güneş Kolektörlü Sıcak Su Sistemleri; güneş enerjisini toplayan düzlemsel kolektörler, ısıyan suyun toplandığı depo ve aralarındaki bağlantıyı sağlayan borular,

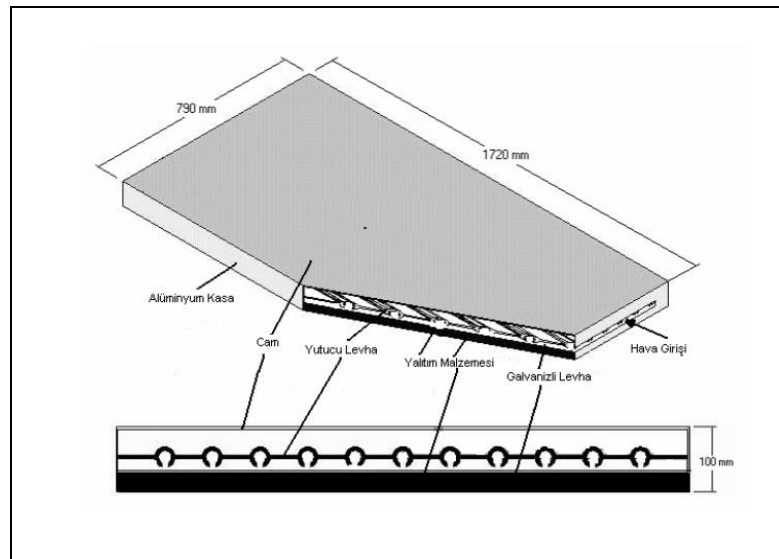
pompa ve kontrol elemanları gibi sistemi tamamlayan elemanlardan oluşmaktadır. Düşük sıcaklıklı sistemlerdir [Sözen ve Sakıncı, 2008].

Yoğunlaştırıcı Sistemler; düzlemsel güneş kolektör sistemlerinin ulaşamayacağı yükseklikte sıcaklıklara ulaşmak için yoğunlaştırıcı kolektör sistemleri kullanılmaktadır. Yoğunlaştırıcı kolektör teknolojisi daha karmaşık sistemlerdir.

Doğrusal yoğunlaştırıcılar ise orta derecede sıcaklık istenen uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu sistemlerde güneş enerjisi bir doğru üzerinde yoğunlaştırılacağından tek boyutlu hareket ile güneşi izlemek yeterlidir [Değirmencioğlu ve İlken, 2003].

Aktif sistemlerde kullanılan ögeler pasif yöntemlerde kullanılan ögeler ile benzerdir. Termodinamik sistemlerde kullanılan kolektörler, güneşten gelen enerjiyi ısı enerjisine dönüştürmekte, depolayıcı ve dağıtıcılar yardımıyla kullanılabilir hale getirmektedir. Toplaç borularındaki akışkanlar güneş enerjisini soğurmakta ve ısı enerjisine dönüştürmektedir. Sonrasında ısınan akışkanlar kullanılacak mekana iletilmektedirler. Bu sayede mekanlar ısıtılabilmekte, sıcak su elde edilebilmektedir.

Toplaçların üst yüzeylerinde örtü olarak genellikle cam kullanılmaktadır. Toplaçlar; üst örtü, hava boşluğu, soğurucu yüzey, yalıtım ve çerçeveden oluşur. Soğurucu yüzeyler genellikle güçlü iletkenler olan bakır veya alüminyumdan oluşurlar. Çerçeve bölümü ise toplaçın bir bütün halde durmasını sağlayan strüktür görevi görmektedir. Şekil 3.7’de sistemin katmanları verilmektedir [Bulut ve Durmaz,2006].



Şekil 3.7: Havalı güneş kolektörü kesit ve görünüşü.

Güneş enerjili su ısıtma uygulamalarında;

- Toplaçlarla deponun konumunun yakın olması,
- Borularda yalıtımın iyi olması,
- Boru ve kanalların yapı içinden dolaşması,
- Yaz koşullarında sistemin etkisinin göz önünde bulundurulması sistemin veriminin artmasını sağlamaktadır [Sözen ve Sakınç, 2008].

3.2.2. PV Sistemler

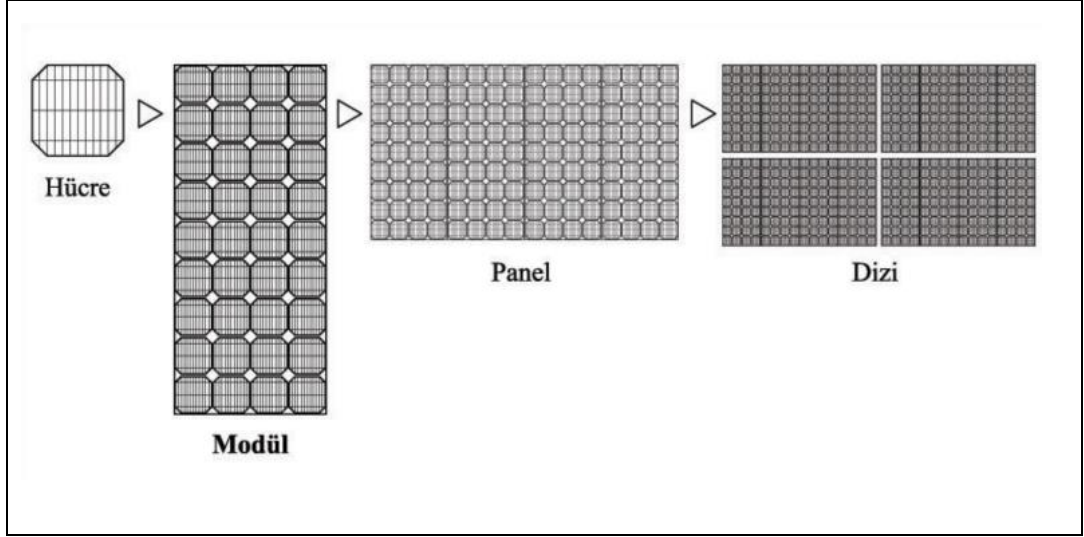
Fotovoltaikler diğer adıyla güneş pilleri güneş ışınımalarını elektrik akımına çeviren yarı iletken devre elemanlarıdır. Fotovoltaik terimi İngilizcede “photo” yani ışık ve “voltaic” yani voltaj kelimelerinin birleşiminden oluşmaktadır.

Fotovoltaik etki, 1839 yılında Fransız bilim insanı Edmond Becquerel tarafından keşfedilmiştir [Barber, 2012]. 1883 yılında Charles Fritts tarafından ilk “Solar Hücre” üretilmiştir. Üretilen bu solar hücrenin verimi %1-2 arasında iken günümüzde bu verimlilik oranı %15-20’yi bulmaktadır [Web 3, 2021]. Albert Einstein 1905 yılında ışığın doğası ve fotoelektrik etkiyi çalıştığı mekanizma teoremleri ile Nobel ödülüne layık görülmüştür [Yajnik, 2017].

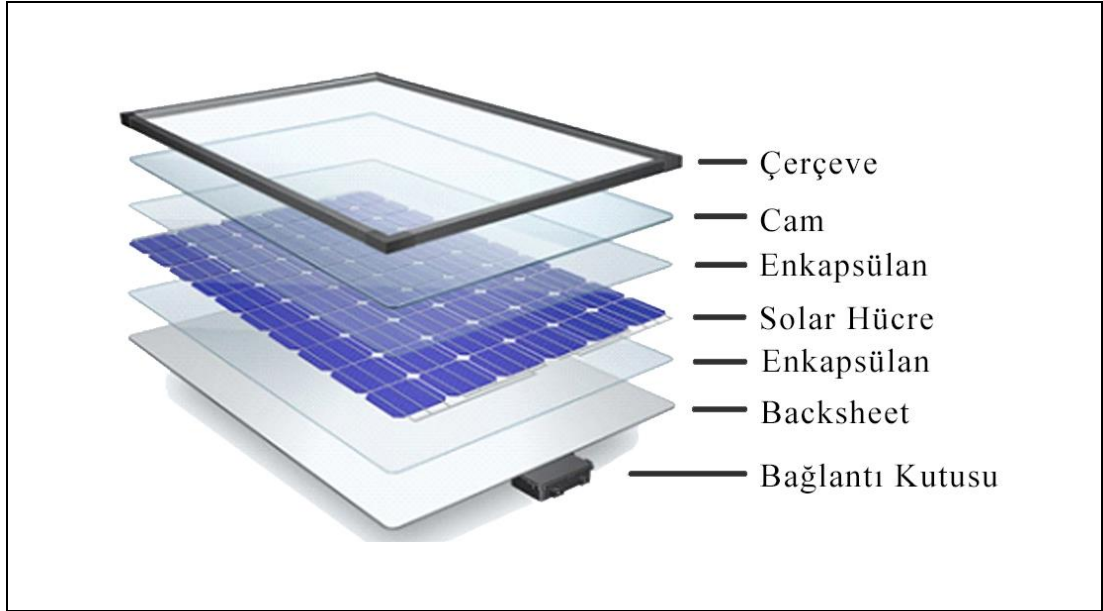
Fotovoltaik sistemler sayesinde elektrik enerjisinin elde edilmesi yenilenebilir enerjiler alanında büyük önem taşımaktadır. Büyük potansiyel taşıyan güneş enerjisinin gelecekte daha da önem kazanması öngörülmektedir [Mertens, 2013].

Fotovoltaik sistemlerde elektrik enerjisi kazanım süreci, yenilenebilir diğer enerji kaynaklarına kıyasla daha kolaydır. Fotonlar adlı hafif parçacıklar fotovoltaik hücrelere nüfuz eder ve elektronları silikon atomlarından serbest bırakarak elektrik akımı yaratır. Fotovoltaik modüller tarafından gerçekleştirilen bu yöntemin güvenli olması sistemin bir diğer ayrıcalığıdır [Sa’atlı, 2014].

PV panellerin hücreden dizine birleşimleri Şekil 3.8’de, katmanlaşma diagramı ise Şekil 3.9’da verilmektedir [Web 13, 2022]. PV paneller, kurulan sisteme bağlı olarak birkaç kW’dan birkaç MW’a kadar elektrik üretebilir.



Şekil 3.8: PV hücre, modül, panel ve dizisi.



Şekil 3.9: Solar panel diyagramı.

PV panellerin şebekeden bağımsız şekilde elektrik üretebilmesi yaygın kullanımının başlıca nedenlerindendir. Güneşin bulunduğu her yerde kullanılabilmektedir. Bu sayede uzay uydularında enerji elde etmek için kullanılırlar. Elektrik şebekesinin olmadığı dağlık bölgeler, tren yolları, deniz fenerleri gibi birçok noktada elektrik fotovoltaiik paneller aracılığı ile elde edilebilmektedir. Ülkemizde arıcılık, hayvancılık gibi uğraşları olan, mevsimsel olarak elektrik şebekesinden uzak noktalarda konaklayan insanlar, taşınabilir güneş panelleri sayesinde elektrik ihtiyaçlarını karşılayabilmektedirler.

PV paneller kendi bünyelerinde elektrik enerjisi depolaması yapmamaktadır. Bu yüzden kazanılan fazla enerjinin güneş ışığı olmadığı zamanlarda kullanılabilmesi için bataryaya ihtiyaç duyulmaktadır. Batarya kullanılmadığı durumlarda, sistem şebekeye bağlı ise, kullanılmayan elektrik enerjisi şebekeye satılabilmektedir. Bu sayede kullanılmayan enerjiden kazanç sağlamak mümkündür.

Şebekeye bağlı olan alanlarda, ihtiyaç duyulan elektrik öncelikli olarak PV sistemlerden karşılanabilmektedir. Yeterli olmadığı durumda varsa depolanan ve son olarak da şebekeden alınarak karşılanmaktadır.

PV sistemlerin olumlu özellikleri şu şekilde sıralanabilir;

- Kurulumları yüksek maliyetli olmasına rağmen, ömürlerinin uzun olması sayesinde maliyetlerini geri öderler.
- Bakımları masraflı değildir ve kolaydır.
- Ek enerji veya yakıt ihtiyaçları yoktur.
- Kullanımları boyunca çevreye zararlı atık bırakmazlar.
- Taşınabilir bir sistemdir.
- Sistemin istenmediği takdirde sökülerek kaldırılması mümkündür.

Olumlu özelliklerinin yanı sıra bazı olumsuz özellikleri de mevcuttur. Bunların başında PV sistemlerin geri dönüştürülmesinin zorluğu gelmektedir. Modüllerde kullanılan kurşun, kalay gibi ağır metaller atık depolama noktalarındaki toprağa ve yer sularına karışarak önemli çevre kirliliği sorunlarına neden olma tehlikesi taşımaktadır. Ancak bu sistemlerin ayrıştırılması kolay değildir. Ayrıştırma işlemleri için özel laboratuvarlar gerekmektedir. Küresel pazardaki artışın bir sonucu olarak, ömrünün sonuna ulaşan modüllerin hacmi hızla büyümektedir. 2016 yılı sonunda, kümülatif küresel PV atığı 250.000 metrik tona ulaşırken, 2050 yılına kadar bu sayının 5.5-6 milyon tona yükselmesi beklenmektedir [Weckend et al, 2016].

Günümüzde gelişen teknolojiler doğrultusunda PV panellerin verimlilikleri hızla artmaktadır. Yapıların cephelerinde kullanılan BIPV'ler (Building Integrated Photovoltaics) sayesinde çatıda PV paneller yalnızca çatılarda değil, yapının güneş alma potansiyeli yüksek olan tüm yüzeylerinde de kullanılabilir.

Teknoloji şirketlerinden biri olan Tesla'nın tasarladığı çatıda kullanılmak üzere PV panel görevi gören “Solar Roof” kiremitler hem estetik yönüyle hem de yüksek verimlilik oranı ile dikkat çekmektedir. 25 yıl garantisiyle birlikte kurulumu yapılan paneller %97,5 verimlilik oranına sahiptir (Şekil 3.10) [Web 14, 2022].



Şekil 3.10: Tesla, Solar Roof.

3.3. Hibrit Güneş Enerjisi Kazanç Sistemleri

Güneş enerjisi kazanç sistemlerinin incelendiği çalışmalar göz önüne alındığında 1900'lü yılların başından itibaren kullanılmakta olan pasif güneş enerjisi kazanç sistemlerine ilişkin sınıflandırma ve terminolojinin çoğunlukla büyük değişikliklere uğramadan ele alındığı dolayısıyla bilimsel yayınlarda tekrar edildiği görülmektedir. Öte yandan güneş enerjisinden aktif kazanç sistemleri 2000'li yıllardan itibaren hem bilimsel çalışmalarda hem de mimarlık pratiğinde yoğun bir şekilde ele alınmaya ve literatürde yer bulmaya başlamıştır.

Malzeme bilimindeki gelişmeler, yenilenebilir kaynakların öneminin artması, akıllı bina sistemlerindeki yaygınlaşma gibi faktörler tasarımcıların her gün daha inovatif çözümler geliştirebilmelerini sağlamaktadır. Bu çözümler sayesinde güneş enerjisinden hem aktif hem de pasif olarak elde edilen kazancın artırıldığı gözlemlenmektedir. Pasif sistemlerin güneş enerjisinden kazanç sağlama stratejilerinden farklı olarak yeni tasarlanan bu tür sistemlerde, düşük miktarda enerji

harcanarak elde edilen mevcut pasif kazanç artırılabilir. Güneş enerjisinden kazanç sağlanan etkin kabuk sistemleri tasarlanırken pasif ve aktif kazanç stratejileri bir arada kullanılabilir. Örneğin güneş enerjisinden pasif kazanç sistemlerinden biri olan trombe duvarına fanlar, vantilatörler, faz değıştiren malzemeler eklenerek enerji etkinliğinin artırılması amacıyla çalışmalar yapılmaktadır. Bu durumda tasarlanan trombe duvarı sistemi; tıpkı aktif güneş enerjisinden kazanç sistemlerinde olduğu gibi, çalışması için enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Ancak sistem güneş enerjisinden pasif kazanç sağlamaktadır.

Literatürde güneş enerjisinden kazanç sistemlerinin genellikle pasif ve aktif kazanç sistemleri olarak ayrı ayrı ele alındığı görölmektedir. Bu bağlamda, güneş enerjisinden pasif ve aktif olarak kazanç sağlayan sistemlerin “Hibrit Güneş Enerji Sistemleri” adıyla ayrı bir sistem olarak ele alınabileceği düşünülmektedir. Bu doğrultuda, hibrit güneş enerjisi kazanç sistemleri; pasif güneş enerjisi kazanan hibrit sistemler ve pasif ve aktif güneş enerjisi kazanan hibrit sistemler olarak ele alınmakta ve bu sistemlere ait örnek yapılar ve gelişmeler incelenmektedir.

3.3.1. Pasif Güneş Enerjisi Kazanan Hibrit Sistemler

Pasif güneş enerjisi kazanım sistemleri temel işleyiş bakımından birbirlerine benzer sistemlerdir. Bu sistemler ek enerji olmadan enerji kazanımı sağlamaktadır. Ancak bu tür sistemler günümüzde geliştirilerek verimlilikleri artırılabilir. Çalışabilmeleri için ek enerji gerektiren bu tür sistemler pasif güneş enerjisi kazanan hibrit sistemler olarak adlandırılmıştır.

Pasif güneş enerjisi kazanan hibrit sistemlerde, pasif kazanç sağlayan sistemler dinamik olarak tasarlanmaktadır. Kontrol sistemlerinin çalışmaları için enerji gerekmektedir. Ancak bu sistemler sayesinde güneşin konumuna uygun şekilde hareket ettirilebilen pasif kazanç sisteminin güneş enerjisinden elde ettiği kazanç artmaktadır. Bu sebeple kullanılan sistemin bütünü hibrit sistem olarak ele alınmaktadır.

3.3.1.1. Faz Değiştiren Malzemeli Cephe Sistemleri

Materyaller farklı fiziksel hallerde bulunurlar bunlar katı, sıvı ve gaz halleridir. Faz değiştiren malzemeler de farklı hallerde yani fazlardadır. Faz değiştiren malzemelerin çalışma prensibi sıcaklık ya da basınçta meydana gelen bir değişiklikle materyalin bir durumdan diğer duruma geçmesi sırasında sürekli olarak büyük miktarda enerjinin gizli ısı şeklinde emilmesi, depolanması veya serbest bırakılmasına dayanmaktadır. Materyal katı durumdan sıvı duruma ve daha sonra gaz durumuna geçtiğinde büyük miktarda enerji emilimi gerçekleşmekte, gaz durumundan sıvı durumuna ve daha sonra katı durumuna geri döndüğünde büyük miktarda enerji açığa çıkmaktadır. Bu işlemler geri dönüşümlüdür ve faz değiştiren malzemeler bozulma olmadan neredeyse sınırsız sayıda dönüşüme maruz kalabilmektedir [Addington and Schodek, 2005].

Faz değiştiren malzemeler ısıl yöntemin alt kollarından biri olan gizli ısı (maddenin faz değişimi sırasında çevresinden aldığı veya verdiği ısı) depolama yöntemi ile termal enerjiyi depolamaktadır [Özonur, 2004].

Faz değiştiren malzemeler yapı sektörü, elektrik elektronik ve bilgisayar mühendisliği, gıda ve tarım sektörü, uzay ve ulaşım sektörleri, tıpta ve güneş enerjisi santralleri gibi birçok sektörde kullanılmaktadır [Zalba et.al.,2003].

Faz değiştiren malzemelerin yapıda, HVAC sistemleri, duvar, tavan, döşeme ve camlar gibi farklı kullanım alanları bulmaktadır. Özellikle, beton, harç karışımları, kuru duvar (alçıpan, alçı paneller), kompozit paneller, tavan ve yer karoları, yalıtım malzemeleri, beton tuğla ve camlar gibi yapı elemanları ve malzemelerine entegre edilmektedirler. Yapının enerji performansını arttırmak için hem yeni yapılarda hem de yapılarda iyileştirme projelerinde kullanılmaktadır [Casini, 2016].

Mimarlık pratiğinde faz değiştiren malzemelerin özelliklerinden yararlanılarak pasif güneş enerji sistemlerinde kullanımları araştırılmakta ve uluslararası örneklerde uygulamaları görülebilmektedir. Cephe sistemlerinde kullanılan bu tür malzemelerin güneş ile etkileşime girerek yansıtıcılık, yutuculuk, opaklık gibi özelliklerinin değişmesi sayesinde pasif güneş enerjisi kazanan hibrit sistemlerde kullanılabilirler.

Örneğin Marché International Support Office’de kullanılan faz değiştiren malzemedен yapılmış yarı saydam cephe sayesinde güneşten pasif olarak enerji

kazanılmaktadır. “GlassX” adı ile tasarlanan pencere sisteminde kullanılan faz değıştiren malzeme eriyerek ısıyı depolar ve daha sonra malzeme soğuyarak katılaşırken depoladığı ısıyı yayar. Katı halde iken ışığın %25’ini, sıvı halde %40’ını geçirir (Şekil 3.11) [Web 15, 2022]. Kış aylarında güneşin geliş açısı düştüğünde güneş cepheden kayıpsız olarak yapı içine geçirilirken, yaz aylarında güneş ışınlarının geliş açıları yükseldiğinde faz değıştiren malzeme sayesinde ışınlar geri yansıtılmaktadır. Aynı zamanda faz değıştiren malzemelerde görülen yüksek ısıl kütle sayesinde pasif güneş enerji kazanımı artmakta, gündüz depolanan ısı sıcaklık düştükçe cepheden iç alana akmaktadır [Web 16, 2022].



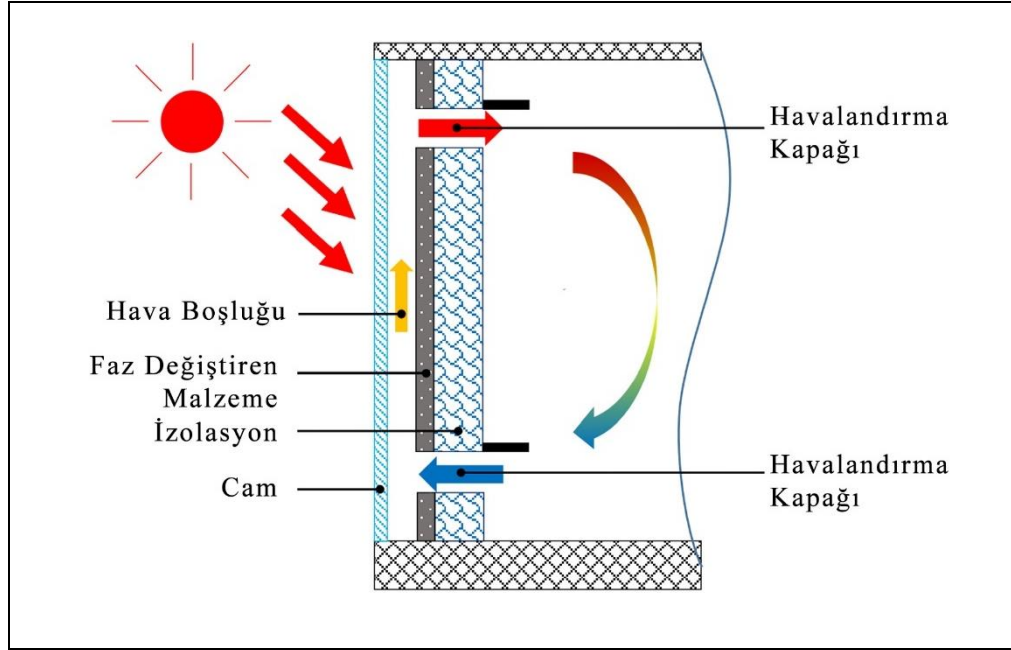
Şekil 3.11: Marché International Support Office, Cephe sistemi.

Fransa’nın Metz kentinde 2010 yılında inşa edilen “SARL Busipolis” yapısı ofis binası olarak tasarlanmıştır ve bünyesinde 500m²’lik faz değıştiren malzeme bulunmaktadır [Kosny, 2015]. Yapının opak duvarlarında, pencerelerde, opak çatıda ve çatı pencerelerinde kullanılan malzemeler ile hem aktif hem de pasif enerji kazancı sağlanmaktadır [Albayrak, 2020].

3.3.1.2. Pasif Güneş Enerjisi Kazanan Hibrit Trombe Duvarları

Faz değıştiren malzemelerin kullanım alanlarından biri de Trombe duvarı sistemidir (Şekil 3.12) [Wang, 2020]. Güneş enerjisini pasif olarak kazanmayı amaçlayan Trombe duvarı sistemlerinde faz değıştiren malzeme kullanımı ile ısıl kütle artırılmaktadır. Bu sayede daha az hacimli bir duvar ile daha yüksek ısı tutma

kapasitesine erişebilen hibrit sistemler geliştirilmektedir. Bourdeau (1980)'de yaptığı çalışmada 15 cm beton duvarın 3,5 cm faz değıştiren malzeme ile benzer performanslara sahip olduklarını belirlemiştir [Bourdeau, 1980]. Tasarlanan Trombe duvarı prototipinde hava akışının artırılması amacıyla fan sistemleri kullanılmaktadır.



Şekil 3.12: Faz değıştiren malzemeli trombe duvarı.

Trombe duvarı tasarımlarından biri Trombe-Michel duvarıdır. Bu duvar sisteminde Trombe duvarından farkı ısı transferini sağlayan hava üfleyicilerin bulunmasıdır. Bu sayede doğal hava sirkülasyonundan daha etkin ve verimli bir akış sağlanarak Trombe duvarının etkinliği artırılmaktadır [Corasaniti et. al., 2017].

3.3.1.3. Hareketli Güneş Kontrol Elemanları

Bina kabuğu, bina performansını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Yüksek performanslı bir kabuk sisteminden, güneş enerjisi kazanımı, hava sızıntısı, nem, ısı iletimi gibi olayları kontrol etmesi beklenir. Bu kontrol mekanizmasında, gün ışığını kontrol etmek için güneş kontrol elemanları kullanılmaktadır. Güneş kontrol elemanları, özellikle bina soğutma sistemleri aktifken, aşırı güneş ışıınımını önlemede etkilidir [Dino,2017]. Aynı çalışma mekanizması ile bina ısıtma sistemleri aktif iken

güneş ışınlarının yapı içine girmelerine olanak vererek güneşten pasif kazanç sağlanmasında etkilidirler.

Mimarlıkta hareketli yapı kabuğu fikri yeni bir olgu değildir. Pencere kanatları ve kapı gibi elemanlar eskiden beri uygulanan ve kabuğu biçimlendiren ilk hareketli öğelerdir [Ramzy, 2011].

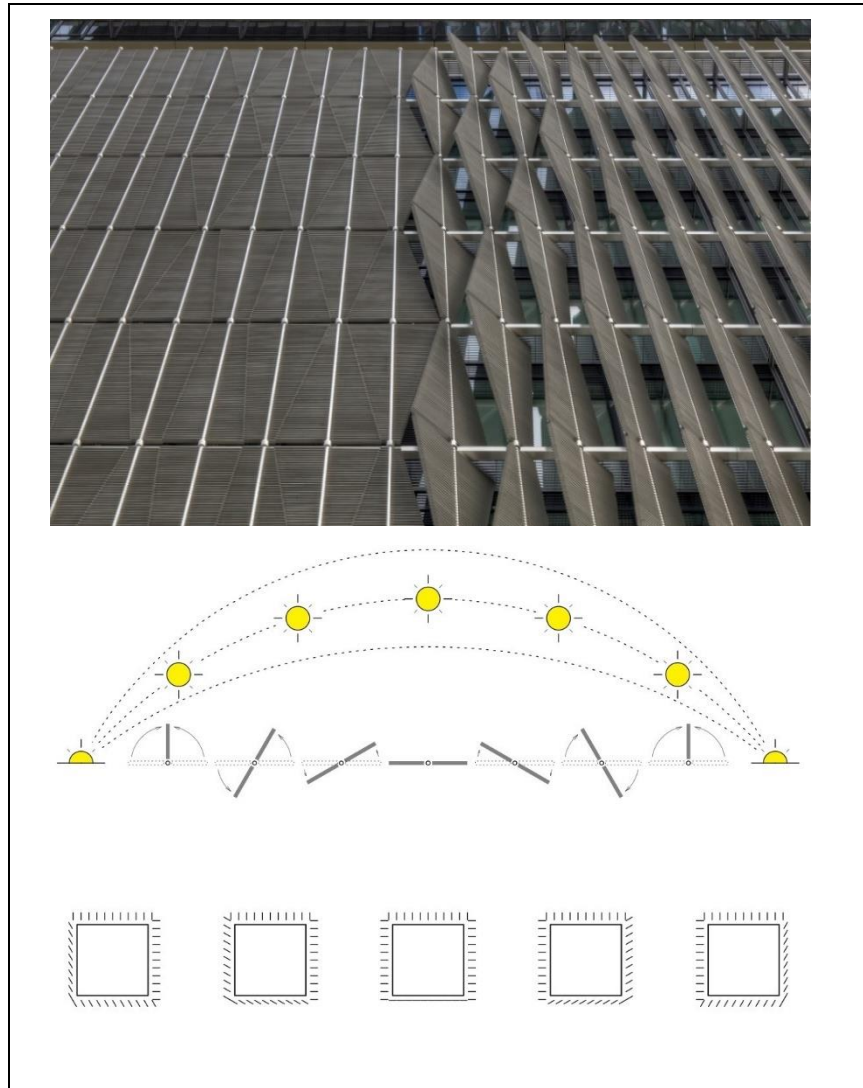
Oakland’da yürütülen bir araştırmada güneş kontrolü açısından statik ve dinamik karakterli iki sistem karşılaştırılmıştır. Buna göre kinetik gölgeleme elemanlarından oluşan yapı kabuğunun diğerine göre kışın ortalama %35, yazın ise %40-75 arasında değişen oranlarda enerji kazancı sağladığı görülmüştür. Los Angeles’ta kuzey cephe dışındaki cephelerde kullanılan kinetik jaluzi sistemler ile Low-E kaplamalı pencere sistemleri simülasyon programları aracılığı ile kıyaslanmış, kinetik sistemin Low-E kaplı pencere sistemine göre yıllık enerji kazanımının %16-26 oranında daha fazla olduğu sonucuna ulaşılmıştır [Lee and Selkowitz, 1988].

Hareketli güneş kontrol elemanlarının bina otomasyon sistemleri ile veya manuel şekilde, mevsimsel ve günlük sıcaklık durumuna bağlı olarak kapalılık-açıklık durumlarındaki değişiklikler ile pasif olarak güneşten enerji kazancı kontrol edilebilmektedir. Doğrudan ve dolaylı güneşten kazanç sistemlerinde yazın aşırı ısınmanın önlenmesi amacı ile kullanımı önerilen güneş kontrol elemanları yapı kabuğuna entegre edilerek ayrı bir sistem şeklinde tasarlanabilmektedir. Bu sayede hem güneşten enerji kazancı sağlanabilmekte hem de soğutma yükü azaltılabilmektedir.

Hareketli güneş kontrol elemanları ofis, okul, laboratuvar, kütüphane gibi saydam cephe kullanımının yoğun olduğu yapı tiplerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Mevsime ve günün saatlerine bağlı olarak güneşin iç mekana ulaşmasının kontrol edilebilmesi iç mekan konforunu artırmaktadır. Henning Larsen’s Üniversite Binası cephesinde kullanılan hareketli güneş kırıcı elemanlar Şekil 3.14’te [Web 17, 2022], ThyssenKrupp Quarter Essen Binası hareketli güneş kontrol elemanları Şekil 3.15’te [Web 25, 2022] gösterilmektedir.



Şekil 3.13: Henning Larsen's Üniversite Binası hareketli güneş kontrol elemanları.



Şekil 3.14: ThyssenKrupp Quarter Essen Binası hareketli güneş kontrol elemanları.

3.3.2. Pasif ve Aktif Güneş Enerjisi Kazanan Hibrit Sistemler

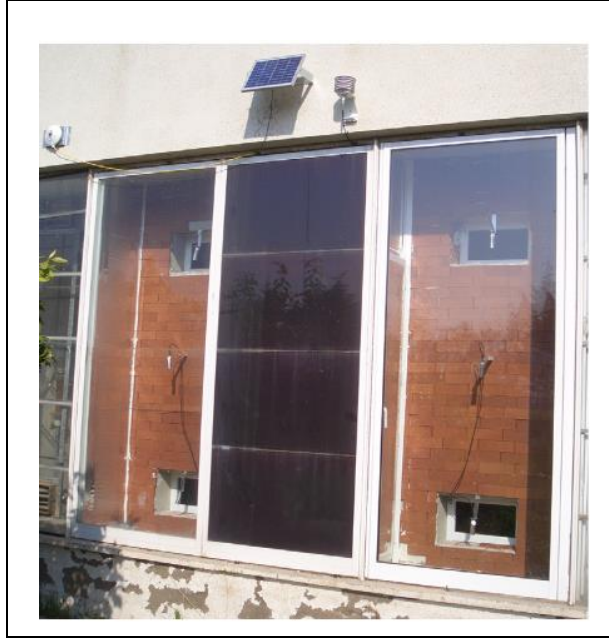
Aktif güneş enerji sistemlerinden olan fotovoltaik sistemlerin, pasif güneş enerjisi elde etmek amacıyla tasarlanan sistemlere entegre edilmesi ile hem pasif hem de aktif güneş enerjisi kazanımını mümkün kılan sistemlerdir. Bu sistemler çalışmaları için enerjiye ihtiyaç duymaktadırlar. Fotovoltaik entegre edilmesi sayesinde elektrik enerjisi kazanırken kontrol elemanları ile de pasif olarak güneş enerjisinin iç mekana girmesine izin vermektedirler.

Bu tür sistemler ile güneşten en yüksek verimlilikte fayda sağlanabilmesini mümkündür. Ancak yapı tasarımı sırasında göz önünde bulundurularak tasarımın bütününe entegre edilmeleri gerekmektedir. Tasarımcıların hem pasif hem de aktif sistemler hakkında yeterli uzmanlığa sahip olmaları gerekmektedir.

3.3.2.1. Pasif ve Aktif Güneş Enerjisi Kazanan Hibrit Trombe Duvarları

Trombe duvarı gelişmelerinden biri olan PV entegre Trombe duvarı üzerinden deneysel birçok deneysel çalışma bulunmaktadır. PV panellerin ısı kütlesi görevini karşılaması ile güneş enerjisinden pasif kazanç sağlanırken PV paneller sayesinde ise elektrik elde edilebilmektedir [Koyunbaba vd., 2013]. Çalışmalar sonucunda trombe duvarının verimliliğinde bir miktar azalma görülmesine rağmen elektrik kazancının sağlanması, hibrit sistemin araştırılmasının önemini ortaya koymaktadır.

Şekil 3.16’da İzmir’de kurulan PV-Trombe duvarı düzeneği verilmektedir. Yapılan çalışma sonucunda, sistem modellenerek ve deney düzeneği kurularak karşılaştırmalı olarak analiz edilmektedir.

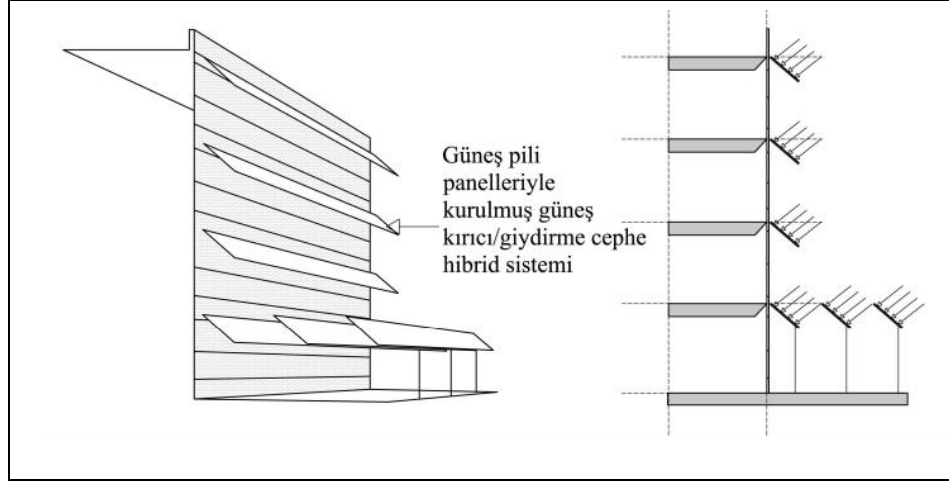


Şekil 3.15: PV-Trombe Duvarı deney düzeneği.

3.3.2.2. Fotovoltaik Entegre Güneş Kontrol Elemanları

Son yıllarda, fotovoltaik sistemlerin verimliliğini artırmaya yönelik çalışmalar ivme kazanmaktadır. Sabit fotovoltaik sistemler, güneş enerjisinden daima maksimum verimde faydalanamamaktadırlar. Bunun sebebi, güneş ışınlarının sabit fotovoltaik sistem üzerine çoğu zaman dik açı ile düşmemesidir. Bu durumda sabit fotovoltaik sistemlerden, hareketli fotovoltaik sistemlere göre daha az verim alınmaktadır. Hareketli fotovoltaik sistemler ise, otomasyon sistemleri sayesinde güneş ile dik açılı olacak şekilde yönlendirilerek maksimum fayda sağlamaktadır [Nexten, 2019].

Güneş kontrol elemanlarına fotovoltaik sistemlerin entegre edilmesi ile hem pasif hem de aktif güneş enerjisi kazanımı mümkün hale gelmektedir (Şekil 3.17) [Sayın, 2006]. Yaz aylarında gölgeleme elemanlarının açık tutulması ile PV panellerden elektrik kazancı artmaktadır. Kış aylarında ise güneş ısısının iç mekanda istenmesi nedeniyle daha kapalı konuma alınarak güneşten pasif kazanç artırılmaktadır. Bu tür dinamik sistemler sayesinde ısıtma ve soğutma yükleri azalmakta, yapı kullanıcılarının konfor koşulları pozitif yönde artmaktadır. Elektrik üretme amaçlı özellikle düşey kabağa entegre edilen dönme ve katlanma hareketi ile güneşi izleyen fotovoltaik panellerin güneş kontrolünü de sağlayarak hem pasif hem aktif güneş enerjisi kazancı sağlayan hibrit bir sisteme dönüştüğü görülmektedir.



Şekil 3.16: Fotovoltaik panelli yatay güneş kırıcı ve gyidirme cepheli hibrit sistem.

Cepheyi dairesel biçimde saran fotovoltaik paneller “Gemini House” un çevresinde güneşin konumuna göre dönerek, enerji üretmektedir. Toplamda 150 m² fotovoltaik panellerden oluşan düşey kabuk, aynı zamanda iç mekânda daha iyi bir günışığı performansı ve gölgeleme sağlamaktadır. Roland Mösl tarafından tasarlanan Gemini House, konutun hem yaşamak hem de enerji elde etmek amacıyla tasarlanması konseptini yansıtmaktadır ve 2001 yılında inşa edilen ev Avusturya’nın ilk artı enerji evidir (Şekil 3.17) [Tzekova et. al, 2013].



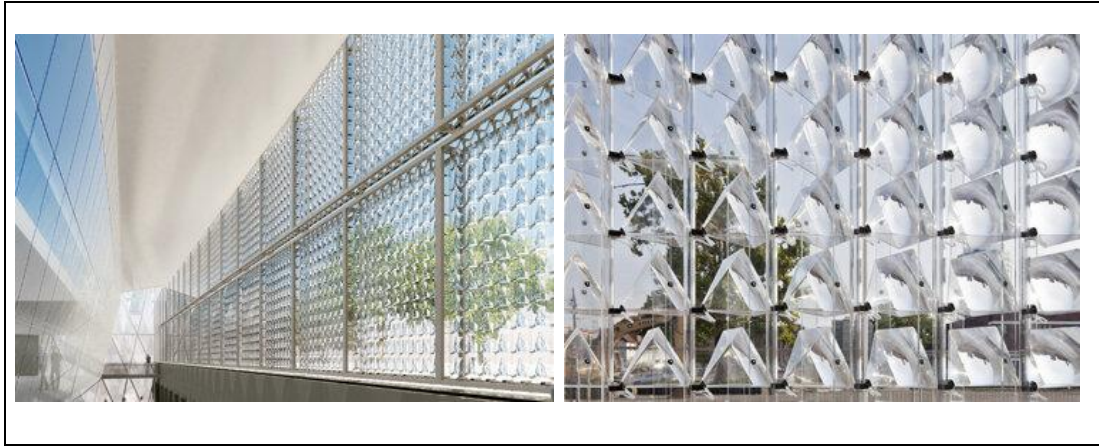
Şekil 3.17: Gemini House fotovoltaik güneş kontrol elemanları.

3.3.2.3. Fotovoltaik Entegre Saydam Cepheler

Fotovoltaik sistemlerin gelişmesi ile birlikte tasarlanan cephe sistemleridir. Genellikle opak olan fotovoltaik panellerin aksine yapı kabuğunda kullanılmak üzere

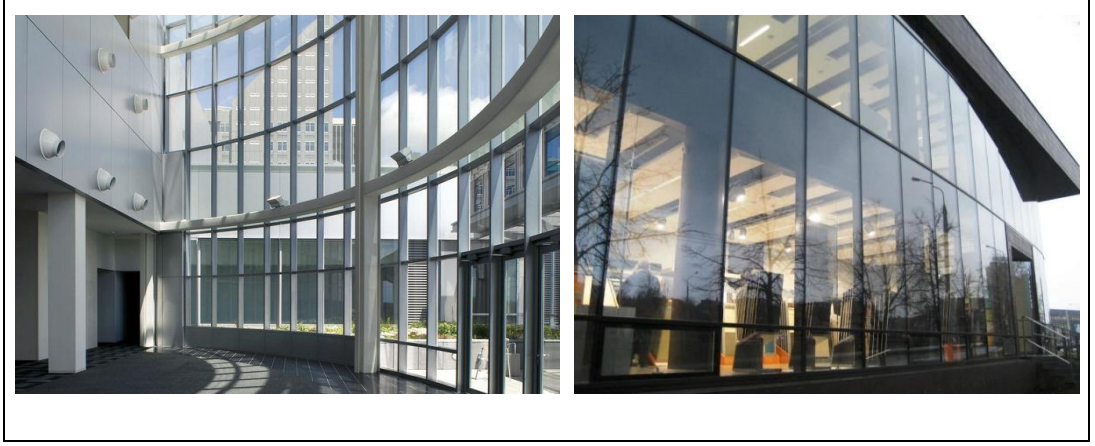
saydam fotovoltaiikler tasarlanmaktadır. Bu sayede güneş ışınlarının yapı cephesinden içeri girebilmesi mümkün hale gelmekte, güneş ışığından hem pasif hem de aktif olarak yararlanılabilmektedir.

Architecture Science and Ecology Center’da kullanılan konsantre cam güneş reseptörleri ışığı büyüterek reseptör merkezinde bulunan fotovoltaiik hücre üzerine yoğunlaştırmaktadır (Şekil 3.18) [Web 18, 2022]. Güneş yoğunlaştırıcılar bağlı oldukları pivot sayesinde hareket edebilmekte ve güneşi izlemektedir. Bu dinamik sistem ile güneş ışınlarının %85’ini toplayabilme potansiyeline sahiptir. Bu cephe sistemi sayesinde hem pasif güneş enerjisi hem de aktif güneş enerjisi kazanılabilmektedir.



Şekil 3. 18: Architecture Science and Ecology Center, PV entegre cephe sistemi.

Saydam BIPV modüller sayesinde yapı kabuğunun saydam elemanlarından da elektrik kazancı mümkün hale gelmektedir. Bu modüllerin istenilen fiziksel ve termofiziksel özelliklerde üretilibilmeleri mümkündür. Solar PV cam, cam panel üzerine yerleştirilen amorf silikon güneş pillerinden oluşmaktadır ve mekanik özellikler açısından cam malzemeye benzer.



Şekil 3.19: Şeffaf fotovoltaiik kaplı hibrit cepheler.

Solar PV cam tasarlanırken, hücreler birbirlerine yakın konumlandırıldıklarında yarı şeffaftırlar. Aralarındaki mesafe arttırıldığında daha şeffaf hale gelmektedirler. Bu sayede iç mekanda gölgelendirme düzeyi istenilen şekilde düzenlenebilmektedir (Şekil 3.19) [Web 26, 2022].

4. PASİF VE AKTİF GÜNEŞ ENERJİSİ KAZANÇ SİSTEMLERİNİN BİR KONUT YAPISININ ENERJİ TÜKETİMLERİNE ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1. Çalışmanın Yöntemi

Tez çalışmasında yönetmeliklere ve belediye imar kurallarına uygun olarak 2010 yılında inşa edilmiş olan referans bir konut yapısı ele alınarak enerji modellemesi yapılmıştır. Analiz çalışması ile güneşin yapının enerji tüketimi üzerindeki etkisi irdelenmektedir. Aktif, pasif ve hibrit güneş enerji sistemleri ile elde edilebilecek potansiyel enerjinin sayısal olarak belirlenebilmesi hedeflenmektedir.

Tez kapsamında BIM programlarından biri olan Autodesk Revit'te yapının 2D çizimleri ve 3D modeli yapılmıştır. Revit programında mimari plan, kesit, görünüş ve üç boyutlu çizimi yapılan binanın enerji verileri Insight isimli “Building Performance Analysis Software” uygulaması ile elde edilmiştir. Bu veriler ışığında “Autodesk Green Building Studio” ile tasarım alternatifleri oluşturularak belirlenen parametrelerin yapıdaki enerji tüketimine etkileri araştırılmıştır.

Referans bina; programda mimari olarak projelendirilirken kat planları, yapı formu, kat yüksekliği, çatı tipi, temel tipi sabit parametreler olarak belirlenmiştir. Sabit parametrelerin dışında bina yöneliş durumu, saydamlık oranları ve pencere tipleri binanın ısıtma enerjisi performansını etkileyecek şekilde değiştirilerek referans bina ile karşılaştırılmıştır. Bina cephesine ilişkin söz konusu parametrelerde yapılan değişiklikler ile pasif güneş enerjisi kazanç sistemlerinin kullanımları sayesinde elde edilebilecek enerji kazancı ortaya konulmaktadır. Yanı sıra referans binada uygulanacak aktif güneş enerjisinden kazanç sistemleri ile elde edilecek elektrik kazancı da belirlenmektedir.

4.1.1. Analiz Programı Tanıtımı

BIM (Building Information Modeling) yani Yapı Bilgi Modellemesi; en temel tanımı ile birbirinden farklı mimari projelerin tasarımında, inşasında ve sürdürülmesinde görev üstlenenlerin ortak olarak yararlanabileceği 3 boyutlu bir bilgi

paylaşım sürecidir [Web 21, 2022]. BIM, mimar ve mühendislerin bir mimari projeyi ilgili tüm bilgileri tek bir noktadan yönetebilmek için dijital tasarım simülasyonları oluşturabilmelerine olanak tanımaktadır.

CAD (Computer Aided Design) yazılımları 2 veya 3 boyutlu tasarım yapabilmekte iken BIM programları tasarıma 4. ve 5. boyutlar olarak zaman ve maliyet bilgilerini de eklemektedirler. Bu sayede kullanıcıların projenin tüm aşamalarını en güncel halleriyle takip etmelerine olanak sağlanmaktadır.

BIM bir mimari yazılım veya program değil, bir bilgi yönetim sistemidir. Bu sistemin aktif kullanılması sayesinde zaman ve maliyet verimliliği sağlanmaktadır. Metrajların hızla çıkarılarak malzeme lojistiğinde fayda sağlamanın yanında malzemelerin mekanik, fiziksel, termal özelliklerinin bilgilerini de barındırmaları sayesinde gerçeğe en yakın simülasyonları gerçekleştirebilmektedir.

1970’li yıllarda ortaya çıkan BIM, bilişim alanındaki gelişmeler sayesinde son on yılda hızla önem kazanmıştır. Dijital tabanlı iş akışı sayesinde üzerinde çalışılan projenin geçmiş bağlantılarına ulaşılabilen, bu sayede projenin geçmiş ile ilişkisinin kaybolması engellenmektedir. Yapılan düzeltme ve eklemelerin tüm basamaklara ve proje tiplerine eş zamanlı olarak yansması sayesinde tüm kullanıcılar en güncel proje üzerinde çalışabilmektedir.

Tez çalışmasında kullanılan BIM araçları, sürdürülebilirlik ve enerji etkin yapı tasarımında da oldukça önemli rol oynamaktadır. Simülasyonlarda; malzeme bilgileri ile coğrafi ve iklimsel verilerin işlenebilmesi sayesinde sayısal olarak ısıtma ve soğutma yükleri hesaplanabilmekte ve enerji, güneş ve gölge, aydınlatma gibi birçok analiz yapılabilmektedir. Böylece, yapı tasarım aşamasında yapılan analizler doğrultusunda gerçekleştirilen düzenlemeler ile enerji etkin ve yüksek performanslı yapılar ve yapı kabuğu çözümleri üretilebilmektedir.

Çalışmada BIM yazılımlarından yaygın olarak kullanılan Autodesk Revit programı kullanılmıştır. Revit programının sahip olduğu “Insight” eklentisi ile yapı tasarım aşamasından itibaren enerji analizleri yapılabilmekte ve her adımın enerji performansına etkisi incelenebilmektedir. Autodesk Green Building Studio; enerji verimliliğinin optimizasyonu ve tasarım sürecinin başından yaşam döngüsünün tamamlanmasına kadar olan süreçte binanın performansına ait simülasyonlar yapmayı mümkün kılan bulut tabanlı bir web hizmetidir ve Revit programı ile paralel olarak kullanılmaktadır. Mimari proje ve 3 boyutlu model Revit’te projelendirildikten sonra

eklemler ile birlikte enerji analizleri yapılmış, tasarım alternatifleri üzerinden veriler incelenmiştir.

Autodesk Green Building Studio’da elde edilen sonuçların doğruluğu ASHRAE standartlarınca onaylanmıştır. “ASHRAE 140-2011: Bina Enerji Analizi Bilgisayar Programlarının Değerlendirilmesi için Standart Test Yöntemi (ANSI Onaylı)” ile test edilen GBS programından elde edilen verilerin standartlara uygun olduğu belirlenmiştir [Web 27, 2022].

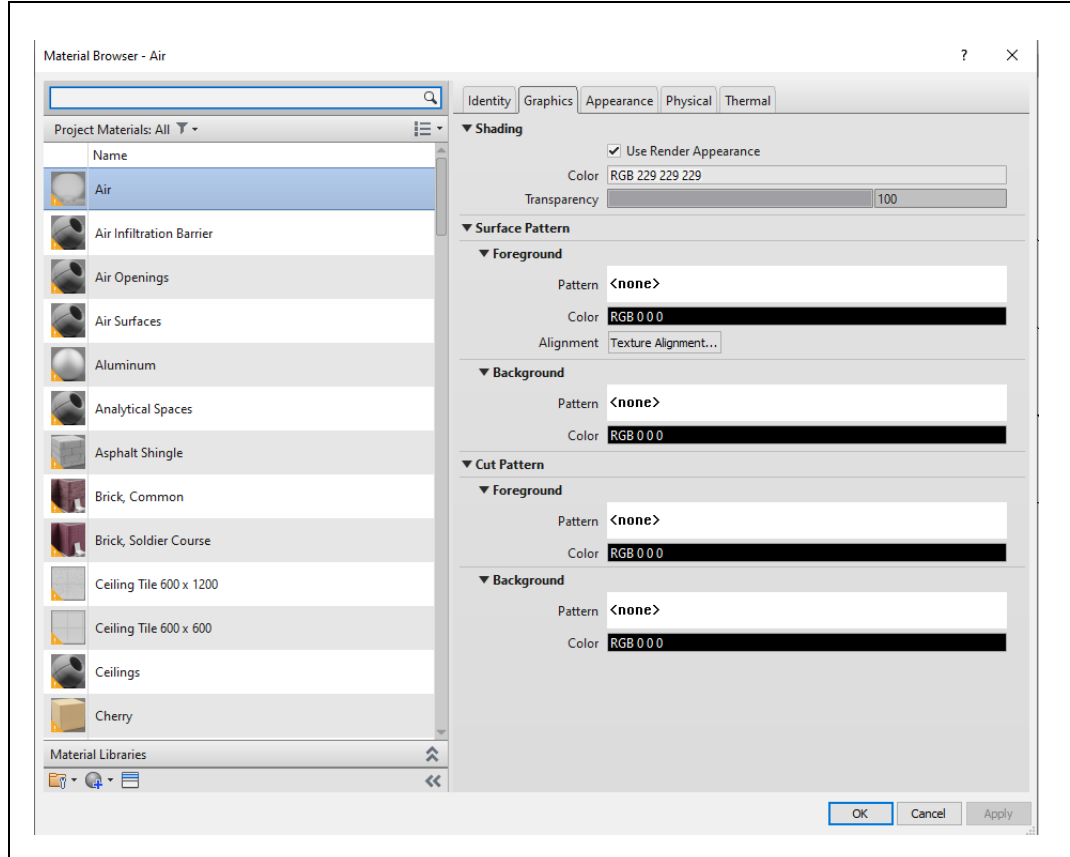
Yapıda kullanılacak malzemelere ait veriler Revit programına işlenmektedir. Başlangıçta malzemenin kimliğinin oluşturulması için genel bir tanım bilgisi istenmektedir. Üretici bilgisi, marka ve model bilgisi, malzemeye dair daha fazla veriye ulaşılabilecek internet adresi ve malzemenin maliyeti bu grupta işlenmektedir. Sonrasında malzemenin görünüşü ve dokusu, fiziksel özellikleri, mekanik özellikleri ve termal özellikleri malzemenin cinsine bağlı olarak çıkan ilgili bölümlere işlenmektedir. Bu özellikler işlenirken yeni oluşturulan malzemenin, Revit kütüphanesinde bulunan malzeme gruplarından doğru gruba ait olarak seçilmesi önemlidir. Malzemenin cinsine göre işlenebilen veriler farklılık göstermektedir. Örneğin beton malzeme grubu seçildiğinde dayanım verisi işlenebilirken yalıtım grubuna ait bir malzemenin ısı geçirgenlik katsayısı işlenebilmektedir.

Revit kütüphanesinde yapı inşasında kullanılmakta olan yapı elemanları ve malzemelerinin bilgileri bulunmaktadır. Bu kütüphane içerisinde kullanılması uygun bulunan malzemeler doğrudan projelere aktarılabilmektedir. Malzemelerin ve yapı elemanlarının detaylı termal ve fiziksel özellikleri Autodesk Revit platformunda “Malzemelerin Termal Özellikleri, Şematik Tipler” başlığı altında detaylı olarak verilmektedir [Web 27,2022]. Burada kullanılan malzemelere ait değerler ASHRAE standartları tarafından belirlenmiştir [Web 28, 2022].

Ülkelere ve markalara göre değişiklik gösteren malzeme özelliklerinin ayrı bir malzeme oluşturarak işlenmesi gerekmektedir. Bu özelliklerin gerçek değerlerinin tanımlanması sayesinde proje üzerinde yapılacak enerji analizleri, ısıtma ve soğutma yükleri, yapısal yükler gibi detaylı bilgiler standartlara uygun biçimde elde edilebilmektedir.

Pasif olarak sağlanan enerji verimliliğinin yanı sıra aktif sistemler de Revit programında incelenebilmektedir. Farklı verimlilik oranlarına sahip PV paneller kullanılarak çatıdan ya da yapı cephesinden elde edilebilecek güneş enerji potansiyelleri program sayesinde hesaplanabilmektedir. Bu sayede PV paneller

maksimum verim sağlayan açıda ve mekanda tasarımı bir bütün şeklinde yerleştirilebilmektedirler. Çalışmada analiz edilmesi amaçlanan verilere detaylı ve sistematik bir biçimde ulaşılabilmesini sağladığından dolayı tez çalışmasında Revit programının kullanımı tercih edilmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1: Autodesk Revit Malzeme Editörü.

4.1.2. Bina Seçim Kriterleri

Çalışma kapsamında referans bir bina seçimi yapılmadan önce benzer çalışmalar incelenmiştir. İncelemeler doğrultusunda referans binanın seçileceği iklim, yapı tipi, yapı boyutu gibi kararlar alınmıştır.

4.1.2.1. Yapı Tipi Seçimi

Bina kelimesi; 1985 tarihli İmar Kanunu'nda “kendi başına kullanılabilen, üstü örtülü ve insanların içine girebilecekleri ve insanların oturma, çalışma, eğlenme, ibadet

etmelerine veya dinlenmelerine yarayan, hayvanların ve eşyaların korunmasına yarayan yapılardır” şeklinde tanımlanmıştır. Konut kavramı; “tüketicinin nihai olarak kendisi, eş ve çocukları ile birlikte oturduğu mekân” olarak açıklanmıştır.

TÜİK; 1929’dan 2021 yılına kadar yapılan sayımlara göre toplam bina sayısını 11 milyon 598 bin 446 olarak açıklamıştır. Toplam binaların %85’inin ise konut olarak kullanılmaktadır [TÜİK, 2021]. Türkiye’nin 2018 yılı toplam 233,6 milyar kWh nihai elektrik tüketiminin %23,45’ine karşılık gelen 54,7 milyar kWh konutlarda tüketilmektedir [Kabakçı, 2018].

Konut sayısının, toplam bina sayısında önemli bir paya sahip olması, konutlarda enerji verimliliğinin önemini artırmaktadır. Covid-19 pandemisi ile birlikte dünya genelinde elektrik tüketimi %20 oranında azalmıştır. Meskenlerdeki elektrik tüketiminin artışına rağmen ticari ve endüstriyel tüketimdeki azalma ağır basmıştır [Web 21, 2022].

Türkiye’de durum değerlendirildiğinde dünyadaki elektrik tüketimi ile benzer sonuçlar görülmektedir. Elektrik piyasası resmi istatistiklerine göre; 2020 yılında, geçmiş yıllarda olduğu gibi Ocak ve Şubat aylarında elektrik tüketiminde artış görülmektedir. Ancak mart ayında ülkede ilk vakaların görülmesi ile birlikte başlayan karantina sürecinin etkisi olarak elektrik talebi artışı durmuştur. 2020 yılı mart ayında toplam elektrik tüketimi %-0.56’lık düşüşe uğramıştır. Önceki yıla göre karşılaştırıldığında elektrik tüketimi nisan ayında %15.5, mayıs ayında %16.4 düşüş yaşamıştır [EPDK, 2022].

TEDAŞ’ın elektrik tüketici davranışlarının analizini içeren verilerine göre, evsel elektrik tüketimi mart ayında 0,79 artmıştır. Nisan ayında ise mart ayına oranla %25 artış görülmüştür. İş yerlerindeki elektrik tüketimi ise %50 azalmıştır [TEDAŞ, 2022].

Türkiye’de, TS 825 - Binalarda Isı Yalıtım Yönetmeliği’nce belirlenmiş dört iklim bölgesi bulunmaktadır [Resmi Gazete, 2008]. Bu bölgelerde bulunan binaların farklı birincil enerji ihtiyaçlarına göre farklı yalıtım projelerinin hazırlanması için TS 825’te bir hesap metodu belirlenmiştir. Bölgelere göre en uygun duvar ve yalıtım kalınlıklarının kullanılması önerilmektedir. Belediyeler yapıların imar kurallarına uygun şekilde yapılmalarını denetlemekle görevlendirilmişlerdir.

Alınan önlemlere rağmen konutlarda tüketilen enerji miktarı günümüzde de oldukça yüksektir. Elektriğin yanı sıra konutların ısınması için doğalgaz ve kömür gibi fosil yakıt kaynaklarına da ihtiyaç duyulmaktadır. Konutlarda bu tür tüketimlerin azaltılması ve enerji verimliliğinin artırılması hem devletin kalkınması hem de

sürdürülebilirlik için oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Dolayısıyla söz konusu tez çalışmasında konutlarda güneşten enerji elde etme yöntemleri üzerine incelemeler yapılmaktadır.

4.1.2.2. İklim Bölgesi Seçimi

İnsanların yerleşim tercihlerine ve yapılaşma biçimlerine iklimin önemli bir etkisi vardır. İklim şartlarındaki değişiklikler ve zorluklar insanları göçlere zorlamıştır. Bölgenin kuraklaşması, kış aylarının aşırı soğuk geçmesi gibi yaşamlarını zorlaştıran durumlarda topluluklar bu tür bölgeleri terk ederek görece daha ılıman iklimlere göç etmişlerdir.

Mevcut olan dış ortam hava koşulları (güneş ışıınımı, dış hava sıcaklığı, dış hava nemliliği ve rüzgar) yardımıyla ya da bu hava şartlarına karşın gerekli konfor koşullarını sağlayabilmek için bina ve yerleşme ölçeğinde çeşitli tasarım ilkeleri ve stratejileri geliştirilmiştir. Bu stratejilerin geliştirebilmesi için, öncelikle dış iklim verilerin ait verilerin elde edilmesi ve kullanılabilir bir şekle getirilmesi gerekir [Berköz, 1995]

Güneş ışıınımları, yeryüzünde herhangi bir noktayı etkileyen tüm güneş ışıınlarının toplamını temsil eder. Yeryüzüne gelen güneş ışıınımının niceliğinde; dünyanın yörüngesel hareketi, atmosfer tabakasının kalınlığı ve niteliği etkilidir. Güneş ışıınımlarının nitelik ve nicelikleri iklimi oluşturan önemli faktörlerden biridir.

Avrupa’da iklimle dengeli tasarlanmış bir yapının ısıtılması için tüketilen enerjinin, bölgenin iklim özellikleri dikkate alınmadan tasarlanan yapılarla karşılaştırması yapıldığında, enerji tüketiminin 10 kat daha az olduğu öne sürülmektedir (Spagnolo and Dear, 2003). Bu bağlamda, iklimsel konfor koşullarının sağlandığı tasarım parametrelerinin benimsenerek, yapının konumu, yönlendirilişi, biçimi, kabuğu ve yakın çevre yapılaşma koşullarıyla uygun seçeneklerin belirlenmesi gerekmektedir.

Kuzey yarımkürede güneşlenme süresinin en uzun olduğu yön güneydir. İklim tipi fark etmeksizin kuzey yarımkürede bulunan tüm yapılar güneşten maksimum verim alabilmek için güneye yönelmelidir. Güneşten en yüksek faydayı sağlayabilmek amacıyla yapılan çalışmalarda iklim bölgelerine göre yapıların güneye yönelme açıları belirlenmiştir. 1930’ların başında tasarlanan Heliodon cihazı

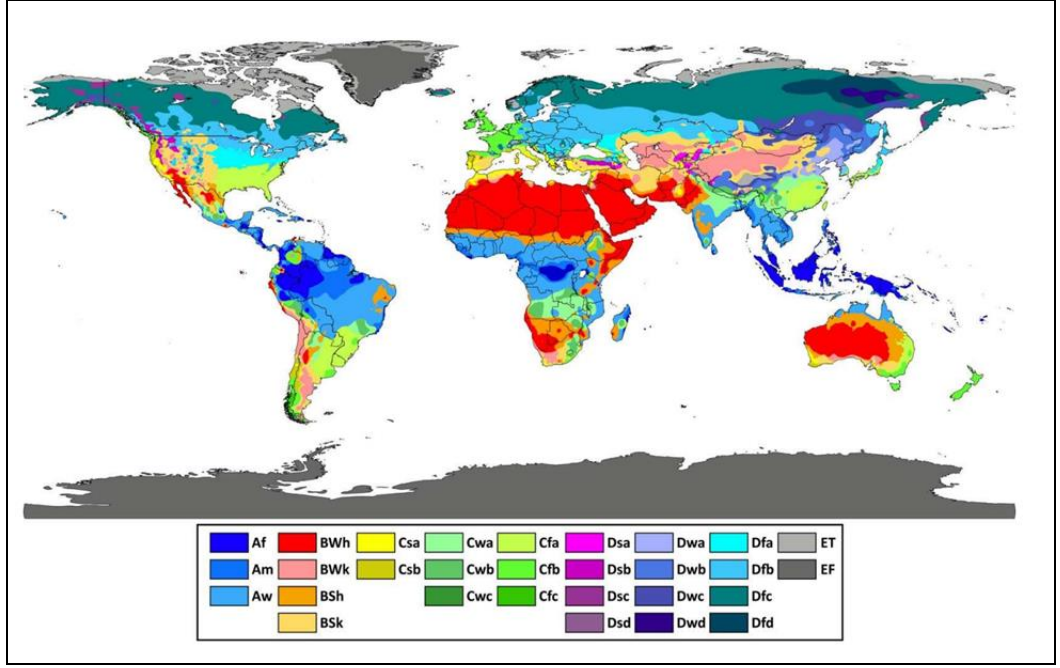
sayesinde yapıların güneşten gelen ışınları alma açıları fiziksel modellere dönüştürülebilmektedir [Web 23, 2022]. Günümüzde geliştirilen bilgisayar programları ise yapının inşa edileceği spesifik alanın güneş ışınlarını alma açısı ve miktarı belirlenebilmektedir. Bu sayede yapının tasarım aşamasında araziye yerleşim yönüne en doğru şekilde karar verilmesine yardımcı olmaktadır.

Yerleşmenin bulunduğu yöreye ait hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgar ve yağış durumu ile güneş ışınımına ilişkin veriler meteoroloji istasyonlarından elde edilir. Bu verilerin en az 10 yıllık süreç içinde elde edilmiş olmaları gerekir [Kun, 2005].

Çalışmada kullanılmakta olan Revit programına yapının koordinatları işlenmektedir. Bu sayede en yakında bulunan meteoroloji merkezinden alınan veriler ile yapının iklime bağlı analizleri yapılabilmekte, istenilen gün ve saatteki güneş ve gölgelenme potansiyeli incelenebilmektedir.

Kocaeli ili; TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardınca belirlenmiş olan dört iklim bölgesinden 2. Bölge’de yer almaktadır [Resmi Gazete, 2008]. Türkiye iklimini değerlendirme için çalışmalar yapan Lütfi Zeren, Türkiye’yi 5 ana iklimsel karakterde değerlendirmiştir. Bu iklim bölgeleri; Soğuk iklim bölgesi, sıcak-nemli iklim bölgesi, sıcak-kuru iklim bölgesi, ılıman- kuru iklim bölgesi ve ılımlı-nemli iklim bölgesidir [Akgöz, 2004]. Tez çalışması kapsamında seçilen Kocaeli ili ılımlı-nemli iklim bölgesinde bulunmaktadır.

Tez çalışması kapsamında Kocaeli ili, iklimlerin detaylı olarak incelenmesini ve gruplandırılmasını sağlayan ve uluslararası alanda yaygın şekilde kullanılan Köppen İklim Sınıflandırması’na göre incelenmektedir. Bu sınıflandırmaya göre iklimler beş ana gruba ayrılmaktadır. Her grup ve alt gruplar bir harfle temsil edilmektedir [Peel, et al., 2007]. Şekil 4.2’de Köppen iklim sınıflandırılmasına dair verilen dünya haritasında iklim tipleri görülmektedir [Web 19, 2021].



Şekil 4.2: Köppen iklim sınıflandırması haritası.

Kocaeli ili ‘Cfa’ iklim sınıfında bulunmaktadır [Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2016]. ‘C’ harfi ılıman iklimi, ‘f’ harfi yağışsız mevsim olmamasını, ‘a’ harfi ise sıcak yaz aylarını temsil etmektedir. Cfa iklimi ‘Subtropikal İklim’ olarak da bilinmektedir. Bu iklim tipinde mevsimler arası yağış miktarları farkı yüksek değildir. Yazlar ılıman ve nemli geçmekte, kurak aylar yaşanmamaktadır [Peel et al., 2007].

Bu çalışmada terminoloji olarak olarak “ılımlı-nemli iklim” ifadesi kullanılacaktır. Ancak değerlendirmeler ulusal ısı yalıtım standardımız olan TS 825 göre yapılacağı için bu standartta yer alan iklim sınıflandırmasında da söz edilerek 2.bölge ifadesi de kullanılmaktadır.

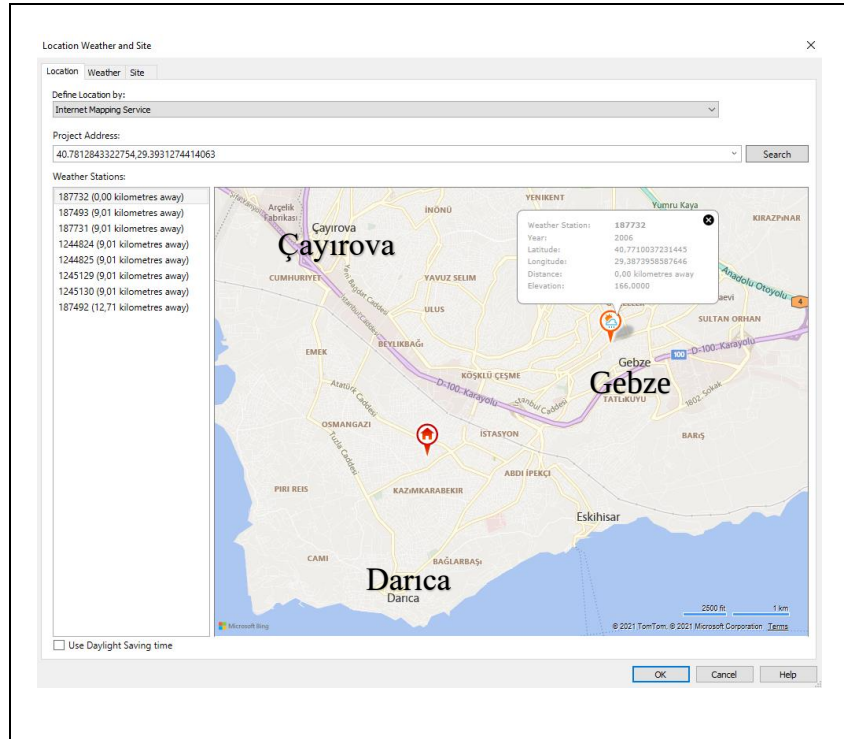
KOCAELİ	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1929 - 2020)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	6.1	6.6	8.5	12.9	17.6	21.7	23.8	23.9	20.5	16.2	12.1	8.3	14.8
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	9.6	10.6	13.3	18.5	23.3	27.5	29.5	29.7	26.1	21.0	16.4	11.8	19.8
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	3.1	3.4	4.8	8.5	12.8	16.6	18.9	19.2	16.0	12.5	8.7	5.4	10.8
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.5	3.0	4.0	5.8	7.3	8.9	9.5	9.1	7.1	4.8	3.6	2.6	5.7
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	18.6	16.5	15.6	13.1	11.6	9.2	6.6	6.1	8.3	12.8	13.9	17.8	150.1
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	92.1	75.4	70.7	51.2	48.4	55.5	45.1	43.5	59.5	85.7	78.2	109.9	815.2

Şekil 4.3: Kocaeli ili iklim verileri.

Kocaeli, Marmara Bölgesi'nin Çatalca-Kocaeli Bölümü'nde, 29°22'-30°21' doğu boylamı, 40°31' - 41°13' kuzey enlemi arasında yer alır. İklimi Körfez ve Karadeniz kıyısında daha ılımlı, iç kesimlerde daha serttir. İl merkezinde yazlar sıcak ve az yağışlı, kışlar yağışlı, zaman zaman karlı ve soğuk geçer (Şekil 4.3). Rüzgârlar kışın kuzey ve kuzeydoğudan, yazları ise kuzeydoğudan eser [T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021].

Çalışmada Kocaeli ili, Darıca ilçesinde bulunan bir konut yapısı referans bina olarak seçilmiştir. Ilıman iklimlerde ısıtma ve soğutma dönemi süreleri birbirine yakındır, yazları aşırı sıcaklar ve kuraklık görülmemektedir. Yaz aylarında doğal havalandırması olan yapılarda ek soğutma sistemleri kullanımı zorunlu değildir. Rüzgarın yapı içine alınması ile pasif soğutma sağlanabilmektedir. Aşırı soğuk iklim olmaması sayesinde pasif güneş enerjisi kazancı ile ısıtma enerjisi tüketiminde önemli düşüşler sağlanabileceği öngörülmektedir. Bu nedenle ılımlı-nemli iklim bölgesinde yer alan Kocaeli ili çalışma için uygun bir iklime sahiptir.

Revit programı içinde bulunan “Location” sekmesi ile dünya üzerinde istenilen bölgenin meteoroloji verilerine ulaşmak mümkündür. Tez çalışması kapsamında referans binanın seçildiği Kocaeli ili, Darıca ilçesi Şekil 4.4'te görüldüğü üzere programda seçilerek iklim verileri en güncel şekilde kullanılmıştır.



Şekil 4.4: Referans yapının yeri ve iklim verilerinin alındığı meteoroloji istasyonu.

4.2. Referans Bina Verileri

4.2.1. Referans Bina Mimari Proje

Tablo 4.1’de çalışmada incelenecek olan konut yapısına ait veriler verilmektedir. Kocaeli ili, Darıca ilçesinde, TS 825 standardı 2008 revizyonuna uygun olarak inşa edilmiştir.

Yapının güney cephesinden giriş sağlanmaktadır. Yapının kuzey, güney ve doğu cephelerinde olmak üzere üç adet balkonu bulunmaktadır. Yapının kuzey cephesi saydamlık oranı %16, güneyde %14, doğuda %14 ve batıda %20 olarak inşa edilmiştir.

Tablo 4.1: Referans bina verileri.

İl	Kocaeli
İlçe	Darıca
Mahalle	Nenehatun
Belediye	Darıca
Yapı Kullanım Amacı	Mesken
Yapı Yüksekliği	8.90 m
Yapım Yılı	2010



Şekil 4.5: Yapı vaziyet planı.

Yapıya ait vaziyet planı Şekil 4.5'te verilmektedir. Tez kapsamında incelenen referans konut yapısına ait mimari proje detayları Ek A'da verilmektedir.

Enerji analizi yapılırken, yapılarda kullanılan tüm malzemelerin gerçekte sahip oldukları fiziksel ve termal özelliklerin doğru şekilde Revit programına işlenmesi gerekmektedir. Malzeme özellikleri İZODER' in hesap programında belirtildiği değerlerde kullanılmışlardır. İZODER programı; Türkiye'nin son 20 yıllık meteorolojik verilerini esas almaktadır. Bu program kullanılarak, TS 825 "Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları" standardı, 2008 revizyonunda tanımlanan özgül ısı kaybı ve yoğunlaşma miktarına yönelik hesaplamalar yapılabilmekte ve hesaplanan değerlerle standartta tanımlanan sınır değerler karşılaştırılarak, tasarlanan binanın enerji verimliliği değerlendirilmektedir.

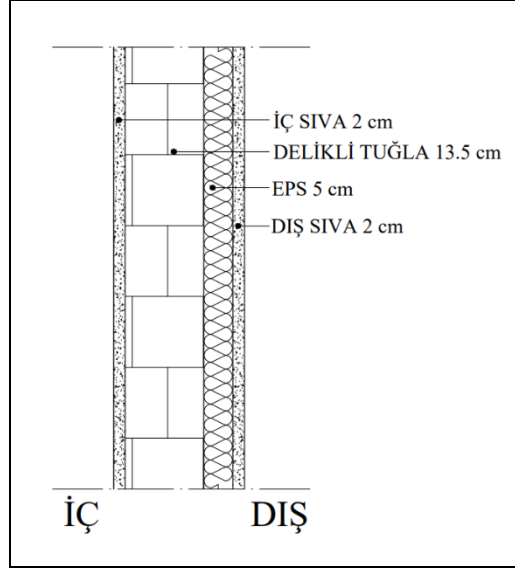
2000 yılında yürürlüğe giren Binalarda Isı Yalıtım Genel Teknik Şartnamesi' ne göre tüm illerde yapılması tavsiye edilen ısı yalıtım malzemeleri kalınlıkları belirlenmiştir. Bunun belirlenmesinde etkili olan en önemli faktör yapıların yer aldıkları iklim bölgesidir. Referans bina, 2. bölgede bulunmaktadır ve duvar gövdesi delikli tuğladan oluşmaktadır. TS 825 standardı, 2008 revizyonunda önerilen duvar elemanı ısıl geçirgenliği miktarının sağlanması amacıyla, 2. Bölgede 40-60 mm kalınlığında EPS ısı yalıtımı kullanılması tavsiye edilmektedir.

Pencerelerde TS 825 standardı, 2008 revizyonunda önerildiği üzere çift camlı pencere üniteleri kullanılmaktadır. PVC doğrama profile yerleştirilen üniteler; 4 mm renksiz cam + 12 mm ara hava boşluğu + 4 mm renksiz cam şeklindedir. Pencerenin ısı iletkenlik değeri standartlara uygun olarak 1.8 W(mK)'dir.

Tablo 4.2'de referans yapıda kullanılan başlıca malzemelerin termal ve fiziksel özellikleri verilmektedir.

Tablo 4.2: Referans binaya ait malzemelerin termal ve fiziksel özellikleri.

MALZEME	KALINLIK (cm)	YOĞUNLUK (kg/m ³)	ISIL İLETKENLİK u) (W(mK))
EPS	5	16.00	0.04
DELİKLİ TUĞLA	13.5	1.20	0.5
KİREÇ ESASLI SIVA	2	2.00	1.6
2 KATMANLI 16 MM.LİK, HAVA BOŞLUKLU PVC PENCERE	1.6	-	1.8

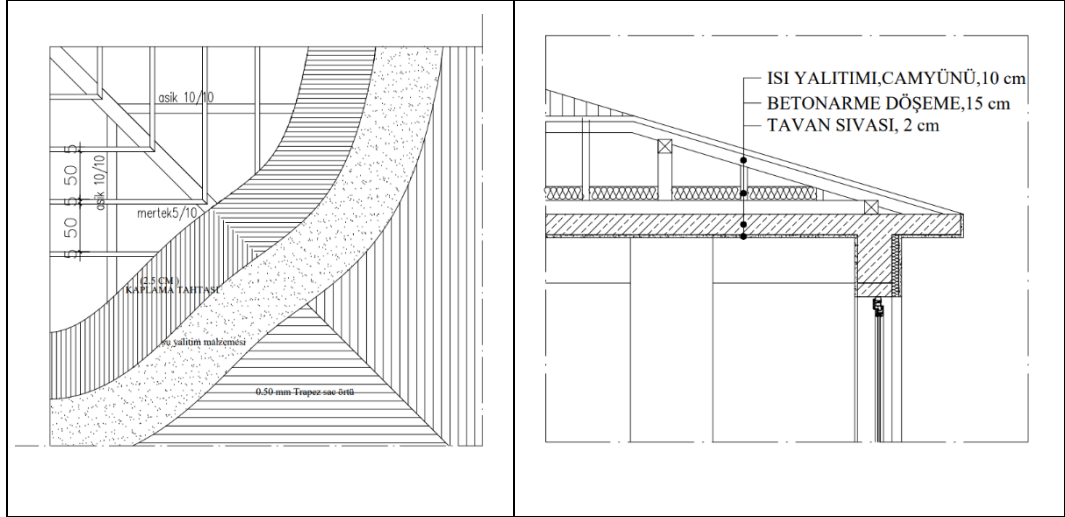


Şekil 4.6: Referans bina dış duvar detayı.

Family:	Basic Wall				
Type:	20lik dış duvar 2				
Total thickness:	22.50				Sample Height: 280.00
Resistance (R):	0.3263 (m ² ·K)/W				
Thermal Mass:	16.36 kJ/K				
Layers					
			EXTERIOR SIDE		
	Function	Material	Thickness	Wraps	Structural Material
1	Finish 1 [4]	Sıva	2.00	☒	☐
2	Thermal/Air Layer [3]	EIFS, Exterior Insulation	5.00	☒	☐
4	Structure [1]	Brick, Common	13.50	☐	☒
6	Finish 2 [5]	Sıva	2.00	☒	☐
Dış Duvar:					
Toplam Kalınlık:	22.50 cm				
Direnç (R):	0.363 (m ² K)/W				
Termal Kütle:	16.36 kJ/K				
Katmanlar:					
		Dış Cephe			
	İşlev	Malzeme	Kalınlık(cm)		
1	Dış Bitiş	Sıva	2.00		
2	Isı Yalıtım Katmanı	EPS	5.00		
3	Strüktür	Delikli Tuğla	13.5		
4	İç Bitiş	Sıva	2.00		
		İç Cephe			

Şekil 4.7: Revit programına tanımlanan dış duvar katmanlarının özellikleri.

Şekil 4.6’da simülasyon programına tanımlanan dış duvar detayı verilmektedir. Şekil 4.7’de ise bu detayın Revit programında tanımlanmış hali ve katmanların termofiziksel özellikleri gösterilmektedir. 22.5 cm lik dış duvarın termal kütlesi; 16.36 kJ/K olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.8’de referans binaya oturma çatı detayları verilmektedir.



Şekil 4.8: Referans bina oturtma ahşap çatı nokta detayları.

4.2.2. Enerji Simülasyonu Programı Ayarları

Enerji analizlerinin doğru şekilde yapılabilmesi için bütün yapı elemanları sahip oldukları fiziksel ve ısısal özellikleri ile birlikte programa tanımlanmış, enerji ayarlamaları yapı türüne uygun biçimde yapılmıştır. Enerji ayarlarının belirlenmesi sırasında Şekil 4.9’da gösterildiği gibi yapı türüne ait programda tanımlanan ASHRAE standartlarına uygun olarak belirlenmiş varsayılan ayarlar kullanılmaktadır.

Multi-family	
Parameter	Value
Occupancy Schedule	Residential
People/100 sq. M.	2.7
People Sensible Heat Gain (W/person)	73.3
People Latent Heat Gain (W/person)	58.6
Lighting Load Density (W/sq. M.)	6.5
Equipment Load Density (W/sq. M.)	5.4
Infiltration Flow (ACH)	0.4
Outside Air (ventilation air) Flow Per Person (liters per second)	NULL
Outside Air (ventilation air) Flow Per Area (cubic meters per hour per square meter)	1.3
Unoccupied Cooling Set Point (C)	29.4

Aile Konutu:

Parmetreler	Değer
Kullanım Planlaması	Konut
Kişi/100 sq.m	2.7
İnsanlardan hissedilen ısı kazancı (W/insan)	73.3
İnsanlardan gizli ısı kazancı (W/insan)	58.6
Aydınlatma yükü yoğunluğu (W/sqM)	6.5
Ekipman yükü yoğunluğu (W/sqM)	5.4
Sızma akışı (ACH)	0.4
Kişi başına dış hava akışı (kişi başı litre)	tanımsız
Alan başına dış hava akışı	1.3
Boşta soğutma set noktası	29.4

Şekil 4.9: Konut yapı tipine ait varsayılan ayarlar.

Tez çalışmasında Revit programı ile modellenen referans yapı, Insight eklentisi ile analiz edilmiş, Green Building Studio ile tasarım alternatifleri oluşturulmuştur [Autodesk,2022]. Analizler doğrultusunda güneş enerjisinden kazanç sistemlerinin bir konut yapısı üzerindeki enerji etkinliğinin değerlendirilmesi hedeflenmektedir. Bu hedef doğrultusunda tasarım alternatifleri sonucu elde edilen üç parametre üzerinden incelemeler yapılmıştır. Bu parametreler söz konusu referans konut yapısındaki yıllık elektrik enerjisi ihtiyacı, yıllık yakıt ihtiyacı ve enerji kullanım yoğunluğudur.

Yıllık elektrik ihtiyacı; projede bir yılda kilovat saat (kWh) cinsinden ihtiyaç duyulan elektrik enerjisidir. Bu tüketime ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma, elektrikli aletler gibi tüm elektrik tüketen ekipman giderleri dahildir. Türkiye’de yoğunluklu olarak ısıtma enerjisi fosil yakıtlar ile karşılanmaktadır. Çalışmada yakıt ihtiyacı; ısıtma giderlerindeki değişiklikleri yansıtmaktadır. Yakıt ihtiyacının yanı sıra elektrik ihtiyacının da analizlerde incelenmesinin nedeni; güneş enerjisinden kazanç

sistemlerinin hem ısıtma enerjisine olan etkisini hem de genel enerji ihtiyacına olan etkisinin anlaşılabilmesidir. Bazı durumlarda enerji verimliliği sağlanması amacı ile kullanılan güneş enerjisinden kazanç sistemleri, ısıtma enerjisini düşürür iken soğutma enerjisine olan etkisi ile elektrik enerjisi kullanımını artırmaktadır. Bu nedenle enerji verimliliği sağlanması amacı ile kullanılan güneş enerjisinden kazanç sistemlerinin değerlendirilmesinde elektrik ihtiyacı parametresinin de incelenmesi gerekmektedir.

Yıllık yakıt ihtiyacı; projede yıllık ihtiyaç duyulan yakıt miktarının megajoule (MJ) veya kalori (Therm) cinsinden ifadesidir. 1 kwh 0.0341295634 kaloridir. Türkiye için 2019 yılında kişi başı yıllık yakıt ihtiyacı 17,595 kWh olarak hesaplanmıştır [Web 20, 2021]. Yakıt olarak kullanılan kömür, doğalgaz gibi kaynakların yakılması sonucu elde edilen kalori miktarları belirlenerek ortak bir terminoloji üzerinden incelemeler yapılmaktadır.

Enerji kullanım yoğunluğu; birim hacim başına belirli bir sistemde saklanan enerji miktarıdır. Enerji yoğunluğu en düşük olan ülkeler enerji verimliliği konusunda en başarılı ülkeler olarak kabul edilmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) verilerine göre, gelişmiş ülkelerde enerji yoğunluğu 0,09-0,19 arasında iken, ülkemizde 0,38'dir [Web 22, 2022].

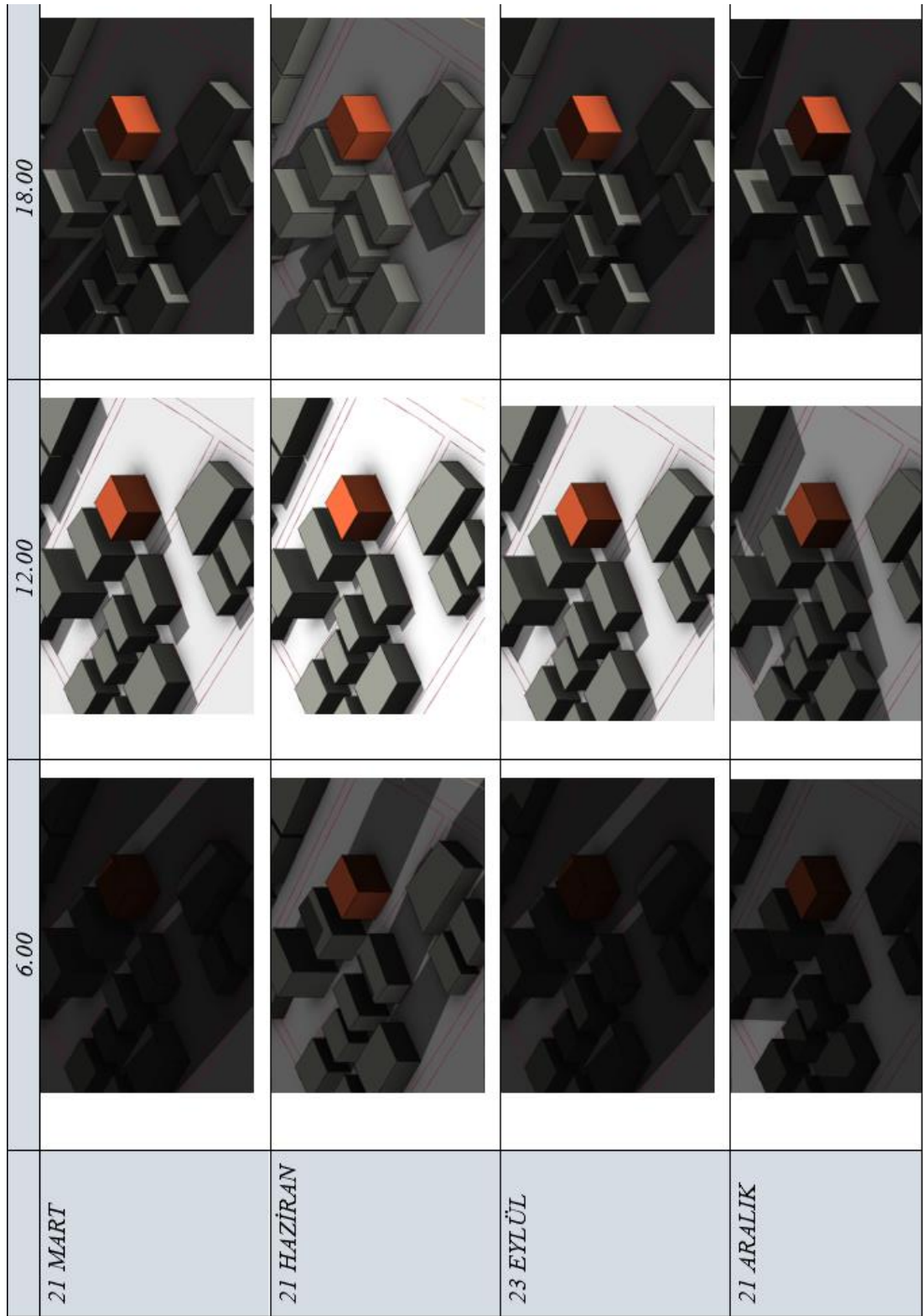
Tez çalışması kapsamında enerji yoğunluğu, referans konut yapısında m² başına düşen enerji tüketim miktarı olarak ifade edilmektedir. Birimi; MJ/m²/yıl' dır. Enerji kullanım yoğunluğu azaldıkça yapıdaki verimlilik artmaktadır.

4.3. Enerji Analizleri

Bu bölümde referans bina üzerinde Revit programı ile yapılan analizler ve sonuçları verilmektedir.

4.3.1. Güneş – Gölge Analizi

Gece ve gündüz sürelerinin eşit olduğu 21 Haziran, 21 Aralık gündönümleri ile, sonbahar ve ilkbahar ekinokslarının yaşandığı 21 Mart, 23 Eylül tarihlerinde yaşanan güneş – gölge durumlarının analiz çalışması Şekil 4.10'da verilmektedir.



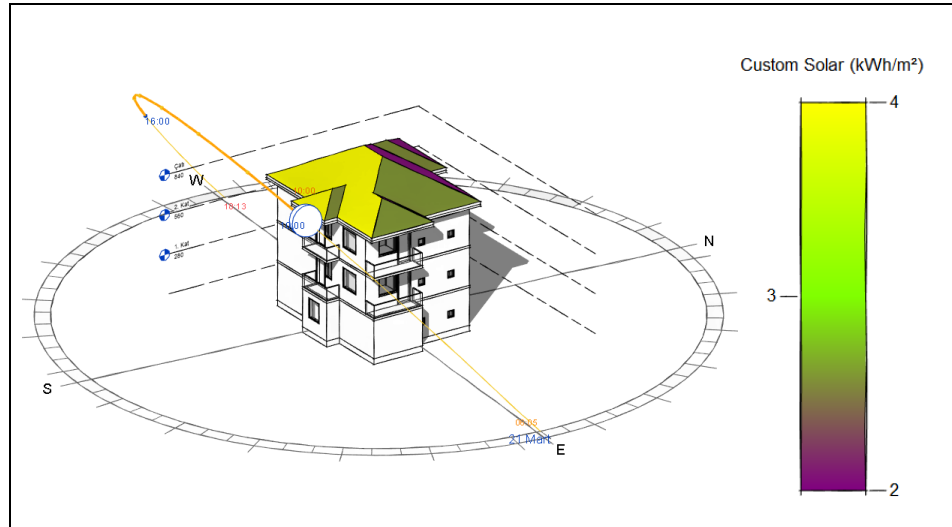
Şekil 4.10: Güneş – gölge analizi.

Çevre binaların referans binaya olan gölge etkileri Şekil 4.10’da görülmektedir. Konut bölgesinde bulunan referans bina, çevresindeki yapılarla benzer yüksekliklere sahiptir. Batı yönünde bulunan boş arazi sayesinde yapı günün büyük bir kısmında

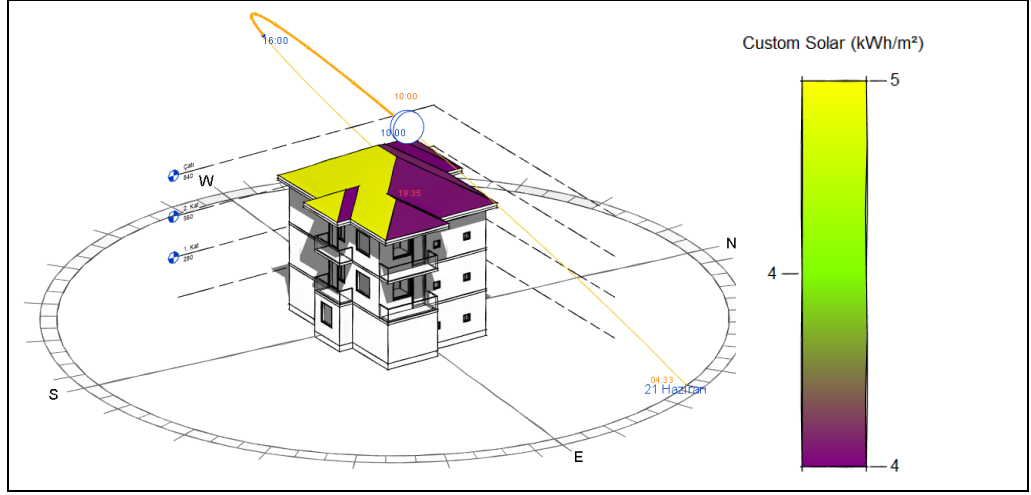
gölge etkisine maruz kalmamaktadır. Bu sayede referans bina güneşten yüksek oranda faydalanabilmektedir.

4.3.2. Güneş Işınım Analizi

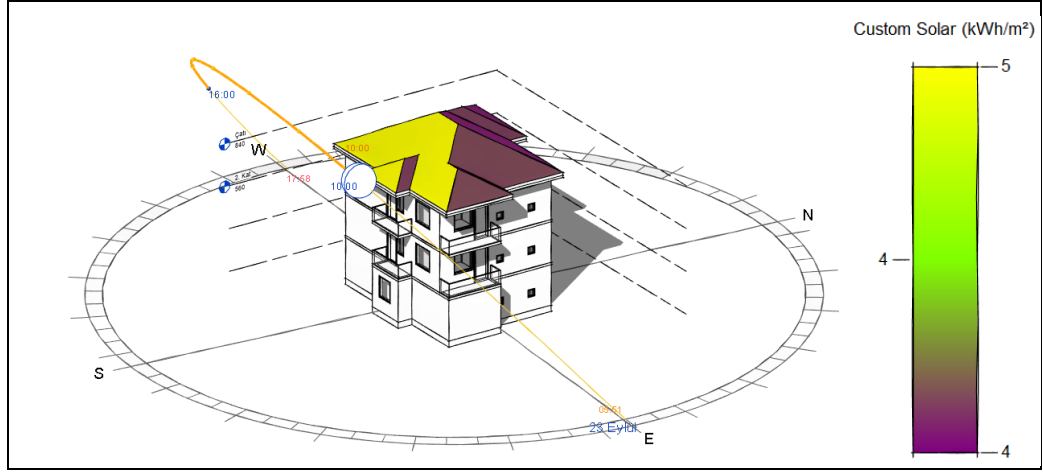
21 Mart, 21 Haziran, 23 Eylül, 21 Aralık tarihlerinde, 10.00 ile 16.00 saatleri arasında yapının çatı bölümüne gelen 6 saatlik toplam güneş ışıınım miktarları analiz edilmektedir. Bu analiz ile güneş-gölge analizinde bulunan veriler sayısal olarak belirlenmektedir. Analiz sonucunda toplamda 132 m²'lik çatı yüzeyine düşen güneş ışıınım miktarları belirlenmektedir. Güneş-gölge analizi sonucunda elde edilen görsel veriler ışıınım analizi yapılarak sayısal veriler ile ortaya konulmaktadır. Şekil 4.11'de 21 Mart, Şekil 4.12'de 21 Haziran tarihlerine ait güneş ışıınım analizleri verilmektedir. Şekil 4.13'de 23 Eylül Mart, Şekil 4.14'te 21 Aralık tarihlerine ait güneş ışıınım analizleri verilmektedir.



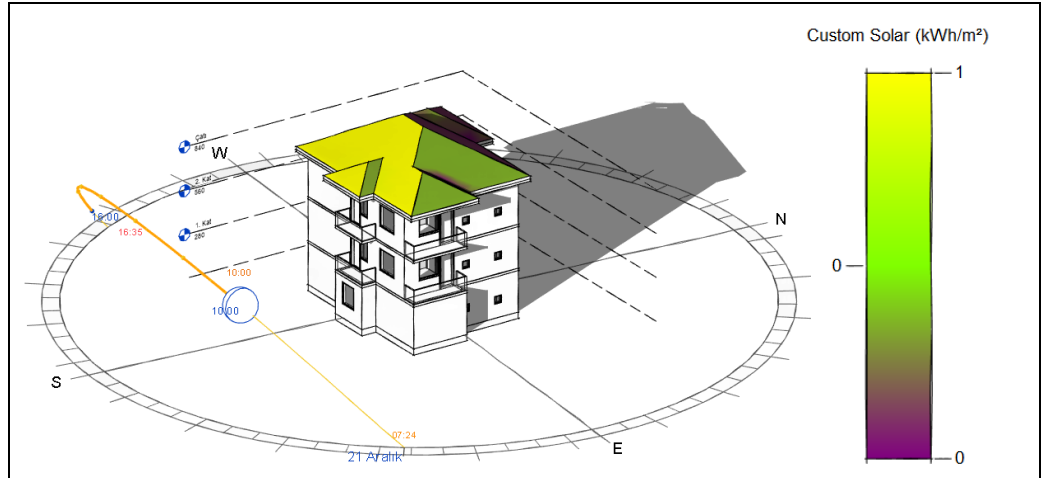
Şekil 4.11: 21 Mart tarihinde referans binaya ait güneş ışıınım analizi.



Şekil 4.12: 21 Haziran tarihinde referans binaya ait güneş ışıınım analizi.



Şekil 4.13: 23 Eylül tarihinde referans binaya ait güneş ışıınım analizi.



Şekil 4.14: 21 Aralık tarihinde referans binaya ait güneş ışıınım analizi.

Tablo 4.3: Güneş ışınlam analizleri sayısal değerleri.

<i>Tarih</i>	<i>Çatı Alanı m² Başına Düşen Güneş Işınımı Miktarı (kWh/m²)</i>	<i>Toplam Güneş Işınım Miktarı (kWh)</i>
<i>21 Mart</i>	3,00	397
<i>21 Haziran</i>	4,15	550
<i>23 Eylül</i>	1,13	150
<i>21 Aralık</i>	0,32	42

Tablo 4.3'te analizi yapılan tarihlerdeki 6'şar saatlik toplam güneş ışınlam miktarları verilmektedir. Analiz verilerine göre; 21 Mart tarihinde çatı alanında m² başına düşen güneş ışınlamı miktarı 3,00 kWh/m² iken toplam çatı yüzeyine düşen ışınlam miktarı 397 kWh olarak hesaplanmıştır. 21 Haziran tarihinde m² başına 4,15 kWh/m² ve toplam 550 kWh, 23 Eylül tarihinde m² başına 1,13 kWh/m² ve toplam 150 kWh, 21 Aralık tarihinde m² başına 0,32 kWh/m² ve toplam 42 kWh olarak hesaplanmıştır.

Işınım miktarlarının sayısal olarak ortaya konması sayesinde yapıda tasarlanması düşünülen pasif ve aktif sistemlerin yönü, boyutu, verimlilik oranı gibi kararların daha gerçekçi olarak verilmesi sağlanmaktadır. Bu sistemlerin en verimli olarak nerelerde kullanılacakları öngörülerek daha sonra yapılacak olan analizlere yol göstermektedir.

4.3.3. Yönlenme Analizi

Yönlenme; yapı ile güneş arasındaki açının ifadesidir. Kuzey yarım kürede bulunan yapıların güneşten maksimum yarar sağlayabilmeleri için güney yönünde yönlendirilmesi gerekmektedir. Yönlenme analizi ile yapı ile güneş arasındaki farklı açıların enerji ihtiyacına olan etkisi analiz edilmektedir.

Mimari projenin plan tasarımı aşamasında yönlenme faktörü oldukça etkilidir. Enerji verimliliğinin yanı sıra manzara da mekanların yerleşiminde dikkat edilmesi gereken bir etmendir. Mevcut yapı yerleşiminde iki yatak odası ve mutfak güney yönüne yönlendirilmiştir. Salonun cepheleri ise kuzey ve batı yönünde bulunmaktadır. Yapıya giriş sahanı, merdiven ve ıslak hacimler kuzey yönünde yönlendirilmiştir.

Tablo 4.4: Yönlenmenin enerji üzerindeki etkisi.

<i>Yapı Yönlenmesi</i>	<i>Yıllık Elektrik İhtiyacı (kWh)</i>	<i>Yıllık Yakıt İhtiyacı (Kalori)</i>	<i>Enerji Kullanım Yoğunluğu (MJ/m²/yıl)</i>
+0° (Mevcut Konum)	32.823	2.106	1487
+45°	33.321	2.143	1516
+90°	33.004	2.138	1516
+135°	32.989	2.147	1516
+180°	32.083	2.090	1472
+225°	32.526	2.109	1487
+270°	32.361	2.089	1475
+315°	33.071	2.121	1501

Referans yapı mevcut konumu güney yönünde ve 0°'dir. Bu yönde iken yıllık elektrik ihtiyacı 32.823 kWh, yıllık yakıt ihtiyacı ise 2.106 kalori, enerji kullanım yoğunluğu ise 1487 MJ/m²/yıl'dır. Analiz sonucu elde edilen veriler Tablo 4.4'te verilmektedir.

En düşük enerji kullanım yoğunluğu 180 ° iken ikinci en verimli seçenek 270°'dir. 225°'lik yönlenme mevcut konum ile aynı enerji kullanım yoğunluğuna sahiptir. Yönlenme değişikliklerine bağlı enerji kullanım yoğunluğu miktarlarındaki değişim oranının düşük miktarda olduğu bulunmuştur. Bu sebeple plan yerleşiminin mevcut konumda iken manzara açısından olumlu bulunmasından dolayı, yapının yönlenmesinde değişiklik yapılmaması önerilmektedir.

Referans yapının yönlenmesinde değişiklik yapılmadan, 2 katmanlı 16 mm lik, hava boşluklu cam kullanıldığında elde edilen veriler, 3 katmanlı hava boşluklu Low-e ısı kontrol camları kullanılarak elde edilen veriler ile karşılaştırılmaktadır. Ilıman iklimlerde Low-e katmanının ikinci cam yüzeyde kullanılması önerilmektedir. Low-e kaplamalı camlar, ısı ve ışık yayan kızılötesi enerjiyi yansıtıp ısıyı olduğu cephede tutarken ışığın geçişine izin vermektedirler. Bu sayede enerji verimliliği sağlarlar. Bu verimlilik pencere elemanının güneş enerjisinden pasif kazanç miktarı üzerindeki etkisini ortaya koymaktadır. Tablo 4.5'te iki farklı pencere türü kullanıldığında ihtiyaç duyulan enerji miktarları verilmektedir.

Tablo 4.5: Pencere elemanı farklılığının enerji üzerindeki etkisi.

<i>Malzeme</i>	<i>Yıllık Elektrik İhtiyacı (kWh)</i>	<i>Yıllık Yakıt İhtiyacı (Kalori)</i>	<i>Enerji Kullanım Yoğunluğu (MJ/m²/yıl)</i>
<i>2 Katmanlı Pencere</i>	32.823	2.106	1.487
<i>3 Katmanlı Low-e Pencere</i>	30.230	1.943	1.374

Pencere elemanı değiştirilerek analiz yapıldığında yıllık elektrik ve yakıt ihtiyaçlarında azalma görülmektedir. 32.823 kWh olan elektrik ihtiyacı 30.230'a, 2.106 kalori olan yakıt ihtiyacı ise 1.943' e düşmektedir. Enerji kullanım yoğunluğu ise 1.487 MJ/m²/yıl'dan 1.374 MJ/m²/yıl'a düşmektedir. Bu değişim; saydam malzemenin termofiziksel özelliklerine, cam katman sayısına, hava boşluğu sayısına ve miktarına, hava tabakası kalınlığına, film kaplama tabakası bulunma durumu gibi pasif tasarım özelliklerinin değiştirilmesiyle sistemin verimliliğinin ne şekilde değiştiğini görülmektedir.

4.4.4. Cephe Saydamlık Oranı Analizi

Referans bina üzerinde cephelerdeki cam oranı ile duvar oranı incelenmektedir. Saydamlık oranı; saydam yüzeylerin alanının toplam duvar yüzeyi alanına bölünmesi ile hesaplanmaktadır. Mevcut yapıda bulunan saydamlık oranları Tablo 4.6'da verilmektedir.

Tablo 4.6: Referans yapıya ait saydamlık oranları.

	<i>Kuzey</i>	<i>Güney</i>	<i>Doğu</i>	<i>Batı</i>
<i>Saydamlık Oranı</i>	%16	%14	%14	%20

Referans bina Tablo 4.6’da verilen saydamlık oranları ile 16 mm lik çift camlı hava boşluklu pencereler kullanıldığında yıllık elektrik ihtiyacı 32.823 kWh, yıllık yakıt ihtiyacı 2.106 kalori, enerji kullanım yoğunluğu ise 1.487 MJ/m²/yıl’dır.

Referans bina üzerinde simülasyon programı aracılığı ile yapı cephelerinde farklı saydamlık oranları denenmiştir. Bir cephe yönü üzerinde farklı saydamlık oranları alternatifleri denenir iken diğer yönlerin saydamlık oranları referans binada olduğu şekilde sabit tutulmaktadır. Bu denemeler için %15, %30, %65 ve %80 saydamlık oranları karşılaştırılmaktadır. Yapılan analiz çalışmasında ihtiyaç duyulan elektrik enerjisi Tablo 4.7’de, yakıt ihtiyacı Tablo 4.8’de, enerji kullanım yoğunluğu Tablo 4.9’da verilmektedir.

Tablo 4.7: Saydamlık oranının yıllık elektrik ihtiyacına olan etkisi (kWh).

<i>Yönler</i>	<i>%15</i>	<i>%30</i>	<i>%65</i>	<i>%80</i>
<i>Kuzey</i>	32.767	33.054	34.547	35.232
<i>Güney</i>	31.686	33.630	40.405	43.532
<i>Doğu</i>	32.037	32.938	36.727	38.615
<i>Batı</i>	31.823	34.047	40.874	43.829

Tablo 4.8: Saydamlık oranının yıllık yakıt ihtiyacına olan etkisi (Kalori).

<i>Yönler</i>	<i>%15</i>	<i>%30</i>	<i>%65</i>	<i>%80</i>
<i>Kuzey</i>	2.066	2.069	2.133	2.164
<i>Güney</i>	2.018	2.027	2.217	2.321
<i>Doğu</i>	2.020	2.032	2.183	2.263
<i>Batı</i>	2.059	2.106	2.339	2.448

Tablo 4.9: Saydamlık oranının enerji kullanım yoğunluğuna etkisi (MJ/m²/yıl).

<i>Yönler</i>	<i>%15</i>	<i>%30</i>	<i>%65</i>	<i>%80</i>
<i>Kuzey</i>	1.471	1.477	1.530	1.556
<i>Güney</i>	1.432	1.467	1.662	1.759
<i>Doğu</i>	1.438	1.458	1.588	1.655
<i>Batı</i>	1.454	1.510	1.726	1.822

Yapılan analizler sonucuna göre, yapının saydamlık oranının %80 olması enerji ihtiyacını yükseltmektedir. %15 saydamlık oranı tüm cephelerde en verimli sonucu vermektedir.

Pencere oranı doğu, batı ve güney yönlerdeki cephelerde arttığında yakıt ihtiyacındaki artış, elektrik ihtiyacındaki artışa kıyasla oldukça azdır. Bunun sebebi elektrik ihtiyacının hesabında ısıtma için kullanılan elektrik çok az artar iken soğutma ihtiyacı için kullanılan elektriğin fazla artmasıdır. Bu sebeple doğu, batı ve güney yönlerinde daha fazla pasif güneş enerjisi elde edilmek istendiğinde tasarıma gölgelendirme elemanlarının da dahil edilmesi gerekmektedir. Bu sayede daha yüksek saydamlık oranlarına sahip olan enerji verimli yapıların tasarlanması mümkündür.

Elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında tüm yönler için en az enerji ihtiyacına sahip olan %15 saydamlık oranı tüm cephelere uygulanarak bir tasarım alternatifi üretilmiştir. Bu alternatifte, çift cam kullanımı ile low-e cam kullanımı arasında oluşacak enerji ihtiyacındaki değişim Tablo 4.10'da verilmektedir. Bu analiz optimum saydamlık oranına sahip yapıdaki pencere tipinin pasif güneş enerjisi kazancına olan etkisini ortaya koymaktadır.

Tablo 4.10: Referans yapı saydamlık oranlarına bağlı verileri.

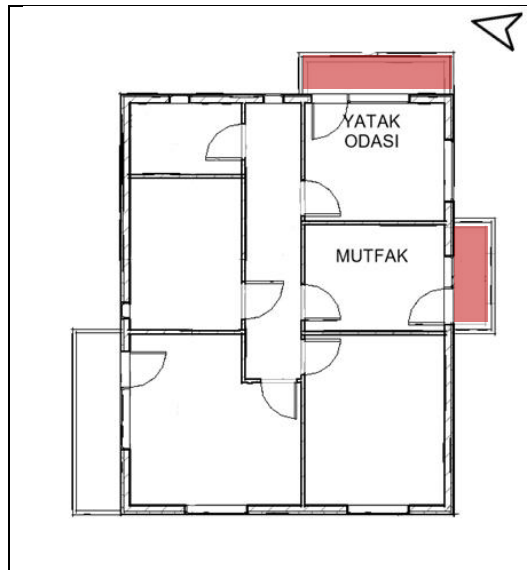
<i>Tasarım Alternatifleri</i>	<i>Elektrik İhtiyacı (kWh)</i>	<i>Yakıt İhtiyacı (Kalori)</i>	<i>Enerji Kullanım Yoğunluğu (MJ/m²/yıl)</i>
<i>Referans Bina</i>	32.823	2.106	1.487
<i>%15 Saydamlık Oranına Sahip Alternatif</i>	29.987	1.846	1.326
<i>%15 Saydamlık Oranına Sahip 3 Katmanlı Low-e Pencere Alternatif</i>	28.412	1.755	1.259

Referans bina, tüm cepheler %15 saydamlık oranına sahip olacak şekilde tasarlandığında enerji kullanımında düşüş görülmektedir. Yine %15 saydamlık oranına sahip alternatifte low-e cam kullanıldığında da enerji ihtiyacında düşüş görülmektedir. Bu sebeple en verimli tasarımın “%15 Saydamlık Oranına Sahip 3 Katmanlı Low-e Pencere Alternatif” olduğu belirlenmiştir.

4.4.5. Sera Etkisi Analizi

Sera etkisi, güneşin kısa dalga kızıl ötesi ışınlımlarına karşı tamamen geçirgen davranış gösteren camların, iç ortamda yüzeyler tarafından emildikten sonra, ortama uzun dalga olarak yayılan ışınlımlara karşı geçirimsiz davranış göstermesidir. Bu durum camlardan içeri giren ışınlımları içeride kilitleyerek sürekli bir ısıtma sağlamaktadır [Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2021].

Günümüzde konutlarda yapılan balkonların çeşitli nedenlerle cam ile kapatılarak kullanıldığı görülmektedir. Cam kaplanarak kapatılan balkonlar güneş serası görevi görerek pasif olarak güneşten enerji elde edilmesini sağlamaktadır. Şekil 4.15’te gösterildiği gibi referans binanın güneyinde bulunan mutfak bölümünün ve doğu yönünde bulunan yatak odasının balkonlarının cam ile kapanması sonucu elde edilecek enerji değerlerinin analizi yapılmaktadır. Analiz sonuçları Tablo 4.11’de verilmektedir.



Şekil 4.15:Referans bina plan şemasında cam kaplanacak balkonların yerleri.

Tablo 4.11: Referans yapı sera etkisi analizi verileri.

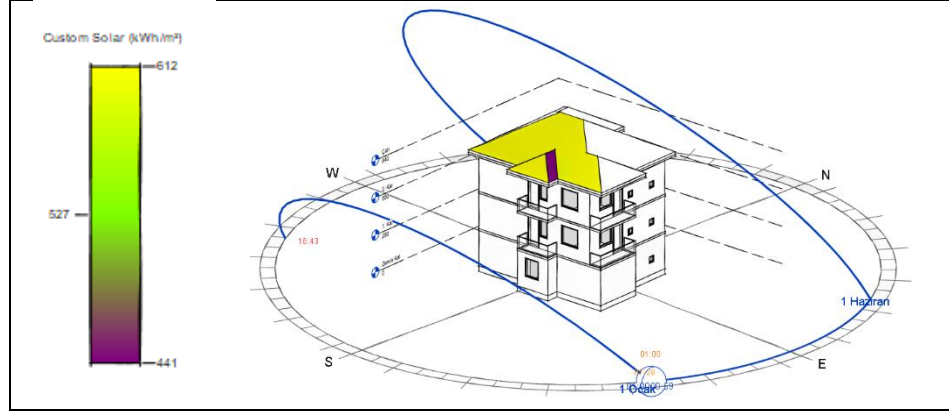
<i>Tasarım Alternatifleri</i>	<i>Yıllık Elektrik İhtiyacı (kWh)</i>	<i>Yıllık Yakıt İhtiyacı (Kalori)</i>	<i>Enerji Kullanım Yoğunluğu (MJ/m²/yıl)</i>
<i>Referans Bina</i>	32.823	2.106	1.487
<i>Cam Balkonlu Alternatif</i>	29.864	1.812	1.391
<i>3 Katmanlı Low-e Camlı ve 3 Katmanlı Low-e Cam Balkonlu Alternatif</i>	28.149	1.707	1.306

Yapılan analiz sonucunda balkon olarak tasarlanan bölümlerin cam ile kaplanması sayesinde güneş enerjisinden ısı kazanımının mümkün olduğu görülmektedir. Yıllık elektrik ihtiyacı referans binada 32.823 kWh, cam balkonlu alternatifte 29.864 kWh iken 3 katmanlı low-e camlı ve 3 katmanlı low-e cam balkonlu alternatifte 28.149 kWh olarak bulunmuştur. Yıllık yakıt ihtiyacı referans binada 2.106 kalori, cam balkonlu alternatifte 1.812 kalori iken 3 katmanlı low-e camlı ve 3 katmanlı low-e cam balkonlu alternatifte 1.707 kaloridir. Enerji kullanım yoğunluğu ise referans binada 1.487 MJ/m²/yıl, cam balkonlu alternatifte 1.391 MJ/m²/yıl, 3 katmanlı low-e camlı ve 3 katmanlı low-e cam balkonlu alternatifte 1.306 MJ/m²/yıl olarak bulunmuştur.

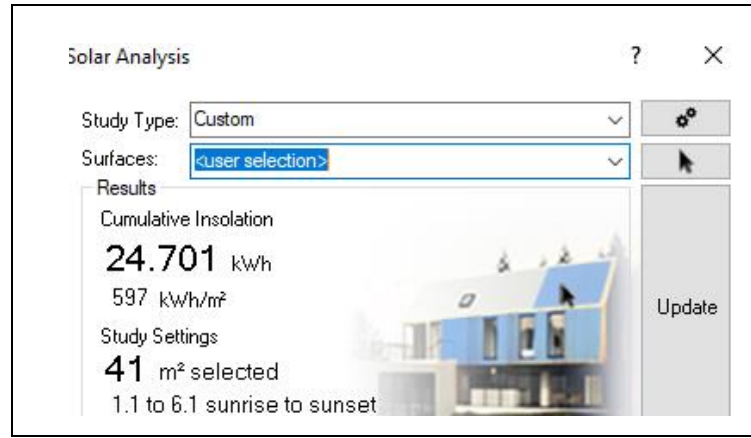
Cam malzemenin yutuculuk özelliği arttıkça kazanılan ısı enerjisinin miktarı da artmaktadır. Balkonların hangi yönlerde oldukları bu noktada büyük önem taşımaktadır. Güney yönündeki balkon kaplanması ile enerji elde etmek mümkün iken kuzey yönünde bulunan balkondan bu enerjinin elde edilemeyeceği öngörülmektedir.

4.4.6. PV Panel Potansiyeli Analizi

Güneş enerjisinden aktif yararlanma yollarından fotovoltaiik paneller yardımı ile elektrik üretimi en çok kullanılan sistemlerden biridir. Referans binadan elde edilebilecek elektrik enerjisinin analizi; %16 verimliliğe sahip yüksek verimli panellerin çatının güney yönündeki yüzeylerine yerleştirilmesinin simülasyonu ile yapılmıştır. Simülasyonun görsel verileri Şekil 4.16'da, sayısal verileri Şekil 4.17'de verilmektedir.



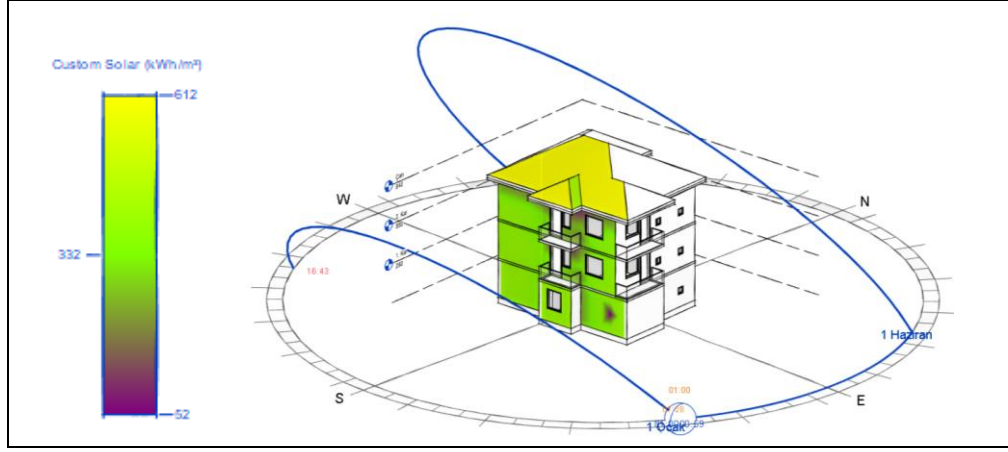
Şekil 4.16: Güney yönde yerleştirilen PV panellerin potansiyel enerji analizi.



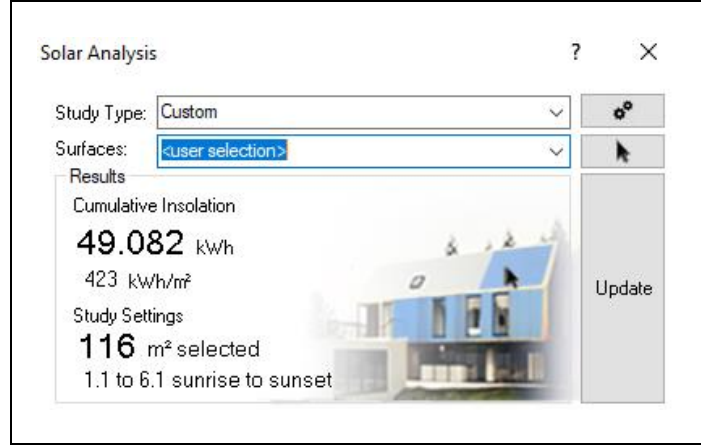
Şekil 4.17: Güney yönde yerleştirilen PV panellerin potansiyel enerji miktarı.

Yapılan simülasyonlar sonucu referans binanın güney yönündeki çatı alanı 41 m² olarak hesaplanmaktadır. Bu alanda m² başına yıllık 597 kWh/m² enerji düşerken, toplamda 24,701 kWh’ lik elektrik enerjisi elde edilebildiği tespit edilmiştir. Bu enerji miktarı referans binanın ihtiyaç duyduğu 32,823 kWh’ lık elektrik enerjisinin %75.2’sini karşılayabilecek potansiyele sahiptir.

Referans bina çevresinin sıkışık ve yoğun yapılaşma olmaması sayesinde bina üzerine düşen gölge miktarının az olduğu güneş – gölge analizinde görülmektedir. Bu analiz doğrultusunda yapının güney cephesinde bulunan 75 m²’lik opak duvar yüzeyine yerleştirilen BIPV sistemleri sayesinde enerji elde edilebileceği öngörülmüştür. Öngörü doğrultusunda Revit programında analizi yapılan PV ve BIPV sisteminin birlikte kullanılması sonucu elde edilen görsel veriler Şekil 4.18’de, sayısal veriler Şekil 4.19’da verilmektedir.



Şekil 4.18: Güney yöndeki PV ve BIPV panellerin potansiyel enerji analizi.



Şekil 4.19: Güney yöndeki PV ve BIPV panellerin potansiyel enerji miktarı..

Yapılan simülasyonlar sonucu referans binanın güney yönündeki yüzey ve çatı alanı toplamı 116 m² olarak hesaplanmaktadır. Bu alanda m² başına yıllık 423 kWh/m² enerji düşerken, toplamda 49,083 kWh' lik elektrik enerjisi elde edilebildiği tespit edilmiştir. Bu enerji miktarı referans binanın ihtiyaç duyduğu 32,823 kWh' lik elektrik enerjisinden fazlasını karşılayabilecek potansiyele sahiptir.

4.4. Değerlendirme

Simülasyon programları mimari proje tasarımı aşamalarında önemli bir yere sahiptir. Bu tür programların modelleme ile sınırlı kalmayarak enerji, maliyet, akustik gibi alanlarda kaydettiği ilerlemeler sayesinde yapıların inşa aşamaları ve kullanım

süreleri boyunca enerji, işgücü, maliyet gibi parametrelerde en yüksek verimliliği elde edebilmek mümkün hale gelmektedir.

Tez çalışması kapsamında referans yapının güneş enerjisinden elde edebileceği potansiyel kazanç incelenmiş, yapılan analizler ile maksimum güneş enerjisi kazancının elde edilebilmesi için gerekli verilere ulaşılması amacı ile analizler yapılmıştır.

Değerlendirme süreci referans binanın tasarım alternatifleri ile referans bina karşılaştırılmalarına dayanmaktadır. Bu sayede yapıdaki güneş enerjisi kazancını etkileyen tasarım alternatiflerinin her bir seçeneğinin referans yapıya olan etkisi ortaya konmaktadır. Bu etkilerden referans yapıdakinden daha olumlu verimlilik oranlarına sahip olan seçenekler Tablo 4.12’de verilmektedir.

Tablo 4.12: Tasarım alternatifleri sayısal veriler.

<i>Tasarım Alternatifleri</i>	<i>Yıllık Elektrik İhtiyacı (kWh)</i>	<i>Yıllık Yakıt İhtiyacı (Kalori)</i>	<i>Enerji Kullanım Yoğunluğu (MJ/m²/yıl)</i>
<i>Referans Bina</i>	32.823	2.106	1.487
<i>+180° Yönlendirilmiş Alternatif</i>	32.083	2.090	1.476
<i>Referans Bina Low-e Pencereli Alternatif</i>	30.230	1.943	1.374
<i>%15 Saydımlık Oranına Sahip Alternatif</i>	29.987	1.846	1.326
<i>%15 Saydımlık Oranına Sahip Üç Katmanlı Low-e Pencereli Alternatif</i>	28.412	1.755	1.259
<i>Cam Balkonlu Alternatif</i>	29.864	1.812	1.391
<i>Üç Katmanlı Low-e Cam Balkonlu Alternatif</i>	28.149	1.707	1.306

Güneş-gölge analizi ile elde edilen veriler ve bulgular şu şekildedir:

- Analiz çalışmasında yapının yıl içinde maruz kaldığı güneş ışınlamı Tablo 4.3’te görülmektedir. Bu analiz neticesinde en uzun gölge boyunun 21 Aralık tarihinde ortaya çıktığı görülmektedir. Saat 12.00 da yapılan analizler ile 21 Aralık tarihi de dahil olmak üzere çevre yapıların gölgelerinin referans binaya düşmediği anlaşılmaktadır.

- Saat 18.00 da yapılan analizde çevre yapıların gölgelerinin referans binaya düşmediği görülmektedir.
- Gölgelemlerin hareket doğrultusu incelendiğinde, çevre yapılar ile arasında yeterli bir mesafeye sahip olması ve yükseklik farklarının az olması sayesinde referans yapıya gün boyu gelen güneş ışınlarının ulaşabildiği dolayısıyla gün ışığını engelleyen bir çevre faktörüne sahip olmadığı analiz edilmiştir.
- Yapının gün boyu gölgede kalmaması sayesinde referans yapının pasif ve aktif güneş enerji sistemlerinden yararlanabilme potansiyelinin yüksek olduğu öngörülmektedir.

Gün ışığı analizi sonucu elde edilen görsel veriler gün ışığı potansiyelinin sayısal veriler ile de desteklenebilmesi amacıyla güneş ışınım analizi yapılmıştır.

- Şekil 4.19'da 21 Mart, Şekil 4.20'de 21 Haziran, Şekil 4.20'de 23 Eylül Mart ve Şekil 4.22'de 21 Aralık tarihlerine ait güneş ışınım analizleri verilmektedir.
- Yapılan analiz çalışması sonucunda; 21 Haziran tarihinde 10.00 ile 16.00 saatleri arasında yapıya ulaşan güneş ışığı miktarının toplamda 550 kWh olduğu belirlenmiştir. Belirlenen ışınım miktarının, çatıya yerleştirilmiş paneller aracılığı ile elektrik enerjisine dönüştürülerek kullanılmasının mümkün olduğu görülmektedir.
- Haziran ayından sonra en yüksek güneşlenme potansiyeline sahip olan 21 Mart tarihinde 6 saatlik güneş ışınımı toplamı 397 kWh' dir. Daha sonra sırasıyla 23 Eylül tarihinde 150 kWh, 21 Aralık tarihinde ise 42 kWh olarak tespit edilmiştir.
- Güneşlenme miktarlarının belirlenmesi ile aktif güneş enerjisi potansiyelinin referans yapı için gerekli olan enerjinin bir kısmını karşılayabileceği tespit edilmiştir. Bu amaçla PV ve BIPV potansiyellerinin belirlenebilmesi amacıyla aktif sistemlerin kullanıldığı tasarım alternatiflerinin analizi yapılmıştır.

Referans yapının güneşe dönüş açısının analizi için yönlenme analizi yapılmıştır. Yapının 45° lik açılarla döndürülmesi ile enerji ihtiyacında olan değişimler incelenmiştir. Tablo 4.13'te referans binanın her 45°'lik dönüş sonucu elde edilen tasarım alternatiflerinin ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisi, yakıt enerjisi ve enerji kullanım yoğunluğu değişimi verilmektedir.

Tablo 4.13: Yapı yönlenmesinin enerji üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi

<i>Yapı Yönlenmesi</i>	<i>Yıllık Elektrik İhtiyacı Değişimi (kWh)</i>	<i>Yıllık Yakıt İhtiyacı Değişimi (Kalori)</i>	<i>Yıllık Enerji Kullanım Yoğunluğu Değişimi (MJ/m²/yıl)</i>
+45°	+498	+37	+29
+90°	+181	+32	+29
+135°	+166	+41	+29
+180°	-740	-16	-15
+225°	-297	+3	0
+270°	-462	-17	-12
+315°	+248	+15	+14

- Analiz çalışması sonucunda yapının 180° ve 270° döndürüldüğündeki yönlenme durumu elektrik enerjisi, yakıt ihtiyacı ve enerji kullanım yoğunluğu bakımından daha verimli bulunmuştur. Ancak yapı yönlenmesinde enerji faktörü ile birlikte düşünülmesi gereken önemli bir husus yapının mekan organizasyonudur. Referans yapıdaki mekan organizasyonunda yaşam alanları güney yönüne, sirkülasyon ve servis alanları kuzey yönüne dönecek şekilde tasarlanmıştır. Bu nedenle yapının mevcut yönlenmesi, 180° ve 270° döndürüldüğünde elde edilecek yönlenmeden daha olumlu bulunmuştur.
- Değerlendirme sonucunda yapının en olumsuz dönüş açısı elektrik harcamaları bakımından 45° iken, yakıt harcamaları bakımından 135° olduğu tespit edilmiştir. Elektrik ve yakıt ihtiyaçlarındaki değişimin farklı olmasının en önemli sebebinin, yapının her cephedeki saydamlık oranının farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu analiz çalışması ile saydam cephelerden elde edilen pasif güneş enerjisi kazancının etkisi görülmektedir.
- Referans binada kullanılan 2 katmanlı cam ile yapılan yönlenme analizi, 3 katmanlı low-e cam kullanılması durumunda elde edilecek enerji verilerinin incelenebilmesi için tekrarlanmıştır. Bu sayede en verimli şekilde yönlenmiş bir yapının, saydam elemanlarının özelliklerinin enerji harcamaları üzerindeki etkisi incelenmiştir. İnceleme sonucunda yapıda yalnızca U değeri daha düşük olan low-e cam kullanılmasına ilişkin değişiklik yapıldığı durumda, enerji ve yakıt giderlerinde yaşanan düşüş Tablo 4.14'te verilmektedir. Bu tasarım alternatifinde elektrik

ihtiyacında %7,8, yakıt ihtiyacında %7,7, enerji kullanım yoğunluğunda %7,5 azalma sağlanmıştır.

Tablo 4.14: Low-e cam kullanılan tasarım alternatifi.

<i>Malzeme</i>	<i>Yıllık Elektrik İhtiyacı Değişimi</i>		<i>Yıllık Yakıt İhtiyacı Değişimi</i>		<i>Yıllık Enerji Kullanım Yoğunluğu Değişimi</i>	
	<i>kWh</i>	<i>%</i>	<i>Kalori</i>	<i>%</i>	<i>(MJ/m2/yıl)</i>	<i>%</i>
<i>Mevcut Konumda 3 Katmanlı Low-e Pencere Kullanılan Alternatif</i>	-2.593	- % 7,8	-163	- % 7,7	-113	- %7,5

Yapılarda cephede bulunan saydam yüzeylerin güneş enerjisi kazanımına olan etkisinin incelenmesi için saydamlık analizi yapılmıştır. Yapının iç mekan organizasyonuna bağlı olarak tasarlanan pencere boşluklarının %14 ile %20 arasında olduğu ve bu oranlara sahip iken bir yılda harcadığı yakıt ve elektrik enerjisi miktarları ortaya konmuştur. Saydamlık oranları %15, %30, %65 ve %80 olmak üzere her cephe için elektrik ve yakıt giderleri ile enerji kullanım yoğunlukları belirlenmiştir.

- Yapılan analizler sonucunda batı cephesinde %20 olan saydamlık oranının %15'e düşürülmesi ile verimlilik artışı sağlanabileceği ortaya konmuştur.
- Kuzey, güney ve doğu cephelerinin saydamlık oranlarının referans konut yapısı için optimum değer olan %15'e oldukça yakın oldukları tespit edilmiştir.
- Güney cephesinde %15 ile %30 saydamlık oranları arasındaki yakıt harcamalarının birbirlerine çok yakın olduğu belirlenmiştir. Ancak güney cephede %30 saydamlık oranında soğutma yüklerinde oluşacak artıştan kaynaklı olarak elektrik ihtiyacında artış gözlemlenmiştir.

Tablo 4.15: Saydamlık oranlarının enerji ihtiyaçlarına olan etkisi.

<i>Tasarım Alternatifleri</i>	<i>Yıllık Elektrik İhtiyacı Değişimi</i>		<i>Yıllık Yakıt İhtiyacı Değişimi</i>		<i>Yıllık Enerji Kullanım Yoğunluğu Değişimi</i>	
	<i>kWh</i>	<i>%</i>	<i>Kalori</i>	<i>%</i>	<i>(MJ/m2/yıl)</i>	<i>%</i>
<i>%15 Saydamlık Oranına Sahip Alternatif</i>	-2.836	-% 8,6	-260	-% 12,3	-161	-%10,8
<i>%15 Saydamlık Oranına Sahip Üç Katmanlı Low-e Pencereli Alternatif</i>	-4.411	- % 13,4	-350	-% 16,6	-228	-%15,3

- Ilıman bir iklimlerde bulunan Kocaeli şehrinde yapılan bu çalışmada, soğutma yüklerinin doğal havalandırma ile karşılanabilme olasılığı bulunmaktadır. Bu tür bir pasif iklimlendirme yapıldığı takdirde, %15 ile %30 saydamlık oranlarına sahip yapılardaki yakıt giderleri farklarının ihmal edilebilecek kadar düşük olduğundan cephelerdeki saydamlık oranının maksimum %30 a kadar olacak şekilde artırılabilmesi mümkün görülmektedir. Saydamlık artırılırken gölgeleme elemanlarının kullanımı önerilmektedir. Hibrit sistemler sayesinde saydamlık artırılırken hem enerji verimliliğini sağlamak hem de güneşten elektrik enerjisi kazanmak mümkündür.
- Tüm cephelerde en verimli alternatif olan %15 saydamlık oranı uygulandığında oluşan enerji ihtiyacının referans binanın enerji ihtiyacına göre değerlendirilmesi Tablo 4.15'te verilmektedir. Cephelerdeki saydamlık oranlarının enerji verimliliği bakımından analiz edilmesi ve bu analiz doğrultusunda tasarlanması ile % 8,6 elektrik, % 12,3 yakıt tasarrufu yapılabilmesi mümkün hale gelmektedir. Enerji kullanım yoğunluğu bakımından ise %10,8 verimlilik elde edilebilmektedir.
- %15 saydamlık oranına sahip yapı seçeneğinde çift camlı pencereler yerine 3 katmanlı low-e camlı pencereler kullanılması alternatifinin ihtiyaç duyduğu enerji ihtiyacı belirlenmiştir. Verilerin analizi sonucunda %15 saydamlık oranına sahip üç katmanlı low-e camlı alternatifin referans bina ile karşılaştırılması sonucu elektrikte % 13,4, yakıtta % 16,6 daha az enerji gerektirdiği tespit edilmiştir. Enerji kullanım yoğunluğu bakımından ise %15,3 verimlilik elde edilebilmektedir.
- Saydamlık oranı bakımından enerji verimliliği en olumlu alternatifin “%15 Saydamlık Oranına Sahip Üç Katmanlı Low-e Camlı Alternatif” olduğuna karar verilmiştir.

Referans yapıda bulunan yarı açık mekanları oluşturan balkonların cam ile kaplanması sonucu elde edilebilecek enerji verimliliğinin değerlendirilebilmesi amacıyla, güney ve doğu yönlerinde bulunan iki balkon simülasyon programında cam ile kaplanarak enerji verileri incelenmiştir.

Tablo 4.16: Sera etkisinin enerji ihtiyaçlarına olan etkisi.

<i>Tasarım Alternatifleri</i>	<i>Yıllık Elektrik İhtiyacı Değişimi</i>		<i>Yıllık Yakıt İhtiyacı Değişimi</i>		<i>Enerji Kullanım Yoğunluğu Değişimi</i>	
	<i>kWh</i>	<i>%</i>	<i>Kalori</i>	<i>%</i>	<i>MJ/m²/yıl</i>	<i>%</i>
<i>Cam Balkonlu Alternatif</i>	-2959	-%9,0	-294	-%13,9	-96	-%6,4
<i>3 Katmanlı Low-e Camlı ve 3 Katmanlı Low-e Cam Balkonlu Alternatif</i>	-4.674	-%14,2	-399	-%18,9	-181	-%12,1

- Yapılan analiz sonucu elde edilen verimlilik değerleri Tablo 4.16’da verilmektedir. Analiz sonucuna göre balkonların cam ile kaplanması sonucu elektrikten %9,0, yakıttan %13,9 tasarruf edilebilmektedir. Bu alternatifte kullanılan enerji yoğunluğu ise %6,4 oranında azalmaktadır.
- Cam balkonlu tasarım alternatifin yanında yapıdaki tüm opak malzemelerin 3 katmanlı low-e cam ile kaplanması sonucunda elektrik enerjisinden %14,2, yakıttan %18,9 oranında verimlilik sağlanabileceği tespit edilmiştir. enerji kullanım yoğunluğunda ise %12,1 azalma görülmektedir.
- Saydamlık arttıkça yakıt giderlerinde görülen azalışa rağmen soğutma giderlerinde artışa sebep olmaktadır. Elektrik ve yakıtın bir arada bulunduğu enerji kullanım yoğunluğu analizi ile toplamda elde edilen enerji verimliliği bulunabilmektedir. Bu sebeple nihai enerji verimliliğini belirlemek için kullanılan enerji kullanım yoğunluğu ölçütü dikkate alınmalıdır. Bu parametreye göre en yüksek verimliliğe sahip seçeneğin %12,1 enerji verimliliğine sahip olan “3 Katmanlı Low-e Camlı ve 3 Katmanlı Low-e Cam Balkonlu Alternatif” olduğuna karar verilmiştir.

Yapının pasif güneş enerjisi potansiyelleri belirlendikten sonra sahip olduğu aktif güneş enerjisi potansiyelini bulmak amacı ile PV panellerin yapıda kullanımı

sonucunda elde edilebilecek elektrik enerjisi miktarı simülasyon programı aracılığı ile belirlenmiştir.

- Güneş-gölge analizinde elde edilen verilere göre yapının aktif güneş enerji potansiyelinin yüksek olduğu öngörülmektedir.
- PV panel kurulumunun maliyet optimizasyonu ve verimlilik açısından çatının en fazla güneş ışığı aldığı güney yönünde konumlandırılması uygun görülmüştür. Aynı zamanda çatının eğiminin PV panellerin yapının bulunduğu enlem bölgesinde sahip olması gereken ideal açıya uygun olması nedeniyle fotovoltaiik kullanımı çatı eğimine uygun olarak entegre sistem şeklinde yani BIPV olarak konumlandırılmıştır. Bu sayede yapı hem aktif hem pasif enerji kazancı sağlayabilir hale getirilmiştir.
- Tablo 4.17’de BIPV ile kazanılan güneş enerjisinin 1 yıldaki toplam miktarı ve m² başına düşen enerji miktarları verilmektedir.
- Çatının güney cephesine yerleştirilen yüksek verimliliğe sahip paneller ile, referans yapının bir yılda ihtiyaç duyduğu enerjinin %75’inin karşılanabileceği tespit edilmiştir.
- Güneş-gölge analizi sonucunda anlaşılan yapının güney cephesine düşen gölge miktarının ihmal edilebilir seviyede olması sayesinde, çatıda kullanılacak BIPV lere ek olarak cephede de kullanılması ile elde edilebilecek enerji miktarı simülasyon aracılığı ile tespit edilmiştir. Güney yönlü cephelere ve çatıya yerleştirilen %16 verimliliğe sahip BIPV paneller ile yapının bir yılda harcadığı elektrik enerjisinden daha fazlasını kazanabileceği sonucuna varılmıştır.

Tablo 4.17: BIPV ile kazanılan güneş enerjisi miktarları.

<i>Tasarım Alternatifleri</i>	<i>Yıllık Kazanılan Enerji Miktarı</i>	
	<i>kWh/m²</i>	<i>Toplam</i>
<i>Çatının Güney Yönünde BIPV Kullanımı (41m²)</i>	597	24.701
<i>Çatının ve Cephenin Güney Yönünde BIPV Kullanımı (116m²)</i>	423	49.082

Değerlendirme bölümünde enerji simülasyonları gerçekleştirilen ve referans bina ile enerji ihtiyaçları bakımından karşılaştırmaları yapılan tasarım alternatifleri

Tablo 4.18’de verilmektedir. Verimlilik oranları; alternatiflerin enerji ihtiyaçları ile referans binanın enerji ihtiyaçlarının farklarından elde edilmiştir.

Tablo 4.18: Tasarım alternatifleri enerji verimlilik oranları.

<i>Tasarım Alternatifleri</i>	<i>Yıllık Elektrik İhtiyacı</i>	<i>Yıllık Yakıt İhtiyacı</i>	<i>Enerji Kullanım Yoğunluğu</i>
<i>Referans Bina</i>	32.823 kWh	2.106 K	1.487 MJ/m ² /yıl
<i>+180° Yönlendirilmiş Alternatif</i>	- % 2,2	- % 0,7	- % 0,7
<i>Cam Balkonlu Alternatif</i>	-% 9,0	-% 13,9	-% 6,4
<i>Referans Bina Low-e Pencere</i> <i>li Alternatif</i>	- % 7.8	- % 7,7	- % 7,5
<i>%15 Saydamlık Oranına Sahip Alternatif</i>	-% 8,6	-% 12,3	-% 10,8
<i>Üç Katmanlı Low-e Cam Balkonlu Alternatif</i>	-% 14,2	-% 18,9	-% 12,1
<i>%15 Saydamlık Oranına Sahip Üç Katmanlı Low-e Pencere</i> <i>li Alternatif</i>	- % 13,4	-% 16,6	-% 15,3

Tablo 4.18 enerji kullanım yoğunluğu bakımından en düşük verimlilik sonucunu veren tasarım alternatifinden en yüksek verimlilik sonucunu veren tasarım alternatifine olacak şekilde verilmektedir.

Değerlendirme sonucunda elektrik ve yakıt verimliliklerinin paralel değişmemesinin sebebinin; elektrik enerjisi analizine soğutma yüklerinin de dahil olmasından kaynaklandığı ortaya konmaktadır. Bu nedenle güneş enerji sistemlerinden kazanç sağlanması için tasarlanan sistemlerde soğutma yükünde azalma sağlayabilmek amacıyla doğal havalandırma sistemlerinin de tasarıma dahil edilmeleri gerektiği çıkarımı yapılmaktadır.

Tasarım alternatiflerinde kullanılan malzemelerin termofiziksel özelliklerinin güneş enerjisi kazancına olan etkisi; çift camlı alternatifler ile üç katmanlı low-e cam kullanılan alternatiflerin karşılaştırılmaları ile ortaya konmaktadır.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Sürdürülebilir mimarlık, geleneksel ve yerel mimarlık bilgisinden beslenerek ve de teknolojik gelişmelerden yararlanarak geçmişi, bugünü ve geleceği birbirine bağlar. Mimarlık pratiğinde sürdürülebilirlikten söz edilmesi için geçmişten gelen geleneksel ve yerel mimarının incelenmesi, günümüzdeki toplumsal ve sosyolojik faktörlerin mimari üzerindeki etkisinin bilinmesi ve günümüzdeki teknolojik gelişmelerin sürdürülebilir yapı tasarımındaki kullanım alternatiflerinin ve potansiyelinin araştırılması ve geliştirilmesi gerekmektedir.

Tez çalışmasında güneş enerjisinden yararlanma yöntemleri irdelenmektedir. Güneş enerjisinden kazanç sistemlerinin gruplandırılması ve adlandırılmasına ilişkin yapılan literatür araştırması sonucunda, günümüzde kullanılan gelişmiş güneş enerjisi kazanç sistemlerinin sınıflandırmaya dahil edilmediği görülmektedir. Bu sebeple yapılan araştırmalar sonunda güneş enerji sistemlerinden pasif ve aktif yararlanma sistemleri mevcut çalışmalara eklenerek yeni bir sınıflandırma önerisi geliştirilmiştir. Aktif ve pasif sistemlerin tanımlarına dahil olmayan ancak güneşten kazanç sağlayan ve günümüzdeki teknolojik gelişmeler ile hızla sayısı artan söz konusu sistemler de hibrit sistemler adı altında üçüncü bir grup olarak tez çalışmasında yer almaktadır.

Mimarlık alanında ve yapılarda enerji tüketimine ilişkin hesaplarda yaygın olarak kullanılan Revit programı ile yapılan analizler sonucu mevcut bir konut yapısındaki enerji tüketimleri ve söz konusu yapı için güneşten pasif ve aktif yöntemlerle elde edilen enerji kazanımı incelenmiştir. Dolayısıyla, referans konut yapısında aktif ve pasif kazanç yöntemlerinin kullanımının yıllık toplam enerji tüketimlerine olan etkisi ortaya konulmuştur.

Yapılan analiz çalışması sonucunda pasif güneş enerjisinden kazanç sistemlerinin kullanılması ile referans konut yapısının enerji harcamalarında düşüşler görülmüştür. Yakıt harcamalarından %16'ya kadar verimlilik elde edilebileceği ortaya konmuştur. Enerji kullanım yoğunluğu bakımından %15 verimlilik sağlanabilen tasarım alternatifleri mevcuttur. Aktif kazanç sistemleri ile ise yapının ihtiyaç duyduğu enerjinin güneşten sağlanmasının mümkün olduğu ortaya konmuştur. Pasif, aktif ve hibrit güneş enerji sistemlerinin kullanımı ile referans yapının enerji etkinliğinin artırılması mümkündür.

Tez çalışmasında referans bir konut yapısı incelenerek analiz edilmiştir. Bu analizler sonucundaki değerlendirmeler aşağıdaki gibidir:

- ❖ Yapı tasarımı aşamasında güneşin geliş açısı dikkate alınarak gerçekleştirilen yerleşim kararları binalarda enerji kazancı sağlanmaktadır.
- ❖ Yapının çevresinde bulunan ve güneşin yapıya ulaşmasını engelleyen unsurlar dikkate alınmalıdır. Yapı üzerine düşen gölge miktarı güneş enerjisinden elde edilebilecek kazanç miktarını doğrudan etkilemektedir.
- ❖ Yapı kabuğu tasarımı (malzeme, sistem, bileşen vs. yönünden) enerji verimliliği üzerinde büyük rol oynamaktadır.
- ❖ Yapı kabuğunun sahip olduğu saydımlık oranları hem iç mekan organizasyonuna hem de cephenin yönüne bağlı olarak incelenmelidir. Tasarım aşamasında enerji verimliliği dikkate alınarak saydımlık oranları belirlenmeli, bu oranlar göz önünde bulundurularak cephe tasarımı yapılmalıdır.
- ❖ Ülkemizdeki konut yapılarında genellikle cephelerin birbirlerinin benzer şekilde tasarlandığı gözlemlenmektedir. Bu tasarım anlayışının yapının bulunduğu iklime uygun olarak enerji etkin ve iklimle dengeli tasarım ilkelerine göre yeniden ele alınması ve dönüştürülmesi gerekmektedir.
- ❖ Tasarım aşamasında yapıya ulaşan güneş ışınlarının miktarının tespitinin yapılması, yapıda kullanılacak pasif, aktif ve hibrit güneş enerjisinden kazanç sistemlerinin konumlarını ve çeşitlerini doğrudan etkilemektedir. Işınım miktarlarının öngörülebilmesi ile sistemlerden en yüksek verimlilikle yararlanmak mümkündür.
- ❖ Ilıman iklimlerde güney yönde artırılan saydımlık oranının artırılması sonucunda ısıtma yüklerinde azalma görülürken soğutma yüklerinde artış gözlemlenmektedir. Bu nedenle güneş enerji sistemlerinin tasarımında yapı bütünsel olarak iklime göre ele alınmalıdır. Dolayısıyla ısıtma, soğutma ve aydınlatma yüklerinin optimizasyonu söz konusu olmaktadır. Saydımlık oranı, cam/saydam malzemenin termofiziksel özellikleri, mekan organizasyonu gibi parametreler güneş enerji sistemlerinden elde edilebilecek kazancı doğrudan etkilemektedir.
- ❖ Yapı kabuğunda kullanılan pencerelerin ısı geçirgenlik katsayıları, katman sayıları gibi termofiziksel özelliklerini değiştiren faktörlerin güneş enerjisi kazancı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.

- ❖ Günümüzde kullanıcı gereksinimleri sonucunda konutlarda yarı açık mekanlar olarak tasarlanan balkonların sıklıkla cam paneller ile kapatıldıkları görülmektedir. Balkonlar cam ile kapatıldıklarında sera görevi görmekte ve iç mekanda sera etkisi oluşmaktadır.
- ❖ Güneş enerjisinden aktif yararlanma yöntemlerinden en çok kullanılan teknolojilerden biri olan fotovoltaiik panellerin, konutlarda kullanıldığı örneklere rastlanılmakla birlikte genelde bu panellerin yapıların çatılarına ayrı bir sistem olarak eklendiği uygulamalar olduğu görülmektedir. Yurtdışında yaygın şekilde kullanılmaya başlanan entegre fotovoltaiik (BIPV) sistemlerin ülkemizde de kullanımına rastlanılmaktadır. Verimlilik ve tasarım bütünlüğü açısından daha uygun bulunan söz konusu BIPV sistemlerin analiz edildiği mevcut konut yapısının güneş-gölge analizinden elde edilen sonuçlar neticesinde güney cephesinde gölge oluşumunun yoğun olmadığı görülmektedir. Bu nedenle güney cephesinde kullanılacak bina entegre fotovoltaiik sistemler ile yapının enerji ihtiyacından fazlasının karşılanabileceği belirlenmiştir.
- ❖ Yapı tasarımı sırasında PV sistemlerin kullanımının göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Çatı eğimi optimum PV eğimine uygun şekilde belirlenebilir. Yapının güney yönüne dönük olan çatı yüzeyi artırılarak da daha fazla PV alanı tasarlanabilir. Bu sayede aktif sistemler daha verimli ve estetik biçimde tasarlanabilir.
- ❖ Pasif güneş enerjisi kazancı ile yapılardaki enerji kullanım yoğunluğu azaltılabilmektedir. Bu şekilde ihtiyaç duyulan enerjinin azaltıldığı yapılarda aktif sistemlerin de tasarlanması ile yapının enerji etkinliğinin artırılması mümkündür. Hibrit sistemlerin kullanımı ile yapılardaki verimlilik oranları sadece aktif veya sadece pasif sistemlerin kullanımına kıyasla daha fazla olmaktadır.

Ülkemizde kullanılan enerjinin çoğunluğu yenilenemez enerji kaynaklarından elde edilmektedir. Bu enerjinin de bir kısmı dış ülkelerden ithal edilmektedir. Dış bağımlılığın azaltılması ve enerji ihtiyacımızın karşılanabilmesi için ülkemizde yüksek potansiyelli şekilde bulunan sonsuz enerji kaynağı olan güneşten enerji kazancı sağlanması büyük önem taşımaktadır. Dolayısıyla bu yönde yapılan çalışmaların artırılması ve uygulamalarda daha yaygın olarak kullanılması gerekmektedir. Yapılardan güneş enerjisinden kazanç sistemlerinin daha yaygın olarak kullanılması amacıyla mimarlar, mühendisler, belediye ve bakanlık çalışanları gibi yapı tasarımı ve uygulaması aşamalarında rol oynayan kurum ve bireylerin bilgilendirilmesi gerekmektedir. Sistemlerin kullanımının artırılması amacıyla devlet politikalarında değişiklikler yapılması gerekmektedir.

Güneş enerjisinden kazanç sistemlerinin, yapı stokunun büyük bir bölümünü kaplayan konutlarda kullanılması ile toplamda ihtiyaç duyulan enerjinin azaltılması ve bu enerjinin yenilenebilir bir kaynak olan güneşten sağlanabilmesi mümkündür. Yeni tasarlanacak konut yapılarının güneş enerji sistemleri göz önünde bulundurularak tasarlanması önerilmektedir.

Ülkelerin vatandaşları için sağladığı vergi azaltma, geri ödeme, kolaylığı, kredi yardımı gibi teşvikler ile güneş enerji sistemlerinin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Ülkemizde de bu yönde teşviklerin artırılması gerekmektedir. Teşviklerin yanı sıra belediye ve bakanlıkların yaptırımları ile sistemlerin kullanımının belirli şartlar doğrultusunda zorunlu kılınması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Addington and Schodek, (2005), “Smart Materials and New Technologies”. Elsevier, Amsterdam.

Akgöz, (2004), “Enerji etkin bina tasarım parametreleri için uygun değerlerin belirlenmesi: İstanbul örneği”, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Akmalı Özçiftçi S., (2010), “Ekolojik binalarda enerjinin etkin kullanılmasının irdelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Albayrak N., (2020), “Güneş Etkileşimli Akıllı Malzemelerin Yapı Kabuğunda Kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.

Alparslan B., Gültekin A.B. ve Dikmen Ç.B., (2009), “Ekolojik yapı tasarım ölçütlerinin Türkiye’deki güneş evleri kapsamında incelenmesi”. 5. Uluslararası Teknolojiler Sempozyumu IATS 2009, 2161-2167.

Altın M., (2005), “Research on the architectural use of photovoltaic (pv) components in Turkey from the viewpoint of building shape”. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Atagündüz G., (1989), “Güneş Enerjisi Temelleri ve Uygulamaları”, İzmir: Ege Üniversitesi Basımevi.

Aykal F. D., Gümüş B. and Akça Y.B.Ö., (2009), “Sürdürülebilirlik Kapsamında Yenilenebilir ve Etkin Enerji Kullanımının Yapılarda Uygulanması”, V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu YEKSEM, 9, 19-22.

Ball J., Reicher D., Sun X. and Pollock C., (2017), “The New Solar System: China’s Evolving Solar Industry And Its Implications for Competitive Solar Power in the United States and the World” Stanford Univ., CA (United States).

Barber S., (2012), “History of passive solar energy”. East Carolina University, 1-11.

Bekar D., (2007), “Ekolojik Mimarlıkta Aktif Enerji Sistemlerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Berköz E., (1973), “Güneş Radyasyonu Etkisinin Optimizasyonu Açısından Binaların Yönlendiriliş Durumlarının Belirlenmesi”, İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul.

Bilgiç S., (2003), “Passive Solar Desing Strategies For Buildings: A Case Study On İmprovement Of An Existing Residential Building's Thermal Performance By Passive Solar Design Tools”, Master's thesis, İzmir Institute of Technology, İzmir.

Black and Veatch, (2005), “Economic benefits of Concentrating Solar Power in California, Draft Final Report”, December.

Bonnette A. L. ve Bruell C. J., (2014), “Memorabilia”. Cornell University Press .
Bourdeau, L. E. (1980). “Study of two passive solar systems containing phase change materials for thermal storage”. In Presented at the 5th Natl. Passive Solar Conf (pp. 19-26).

BP Statistical Review of World Energy and Ember, (2020).

Bulut H. and Durmaz A. F., (2006), “Bir Havalı Güneş Kollektörünün Tasarımı, İmalatı ve Deneyisel Analizi”. UGHEK’2006: 1. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, 21-23.

Casini M., (2016), “Smart Buildings: Advanced Materials and Nanotechnology to Improve Energy-Efficiency and Environmental Performance”, Cambridge, Elsevier.

Cebeci S., (2017), “Türkiye’de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretim Potansiyelinin Değerlendirilmesi” Uzmanlık Tezi, İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, Kalkınma Bakanlığı, Yayın, (2977).

Corasaniti S., Manni L., Russo F. and Gori F., (2017), “Numerical simulation of modified Trombe-Michel Walls with exergy and energy analysis”. International Communications in Heat and Mass Transfer, 88, 269-276.

Çıtıröğlu A., (2000), “Güneş Enerjisinden Yararlanarak Elektrik Üretimi” Mühendis ve Makina, 41(485), 32-37.

Danacı H. and Gültekin R. E., (2009), “Yapılaşmada Güneş Enerjisi Kullanımı Ve Estetik Çözüm Örnekleri”. V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu.

Day C. and Roaf S., (2007), “Ecohouse: a Design Guide”, London.

Dedeoğlu N., (2002), “Ekolojik Mimarlık Kapsamında Konut Tasarımlarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Değirmencioğlu C. and İlken Z., (2003), “Havalı Güneş Kollektörleri Üzerine Bir Literatür Araştırması ve Temel İlkeler”. Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi, 27.

Demircan R. K. and Gültekin A. B., (2017), “Binalarda Pasif ve Aktif Güneş Sistemlerinin İncelenmesi”, TÜBAV Bilim Dergisi, 10(1), 36-51.

Denzer A., Arch M. ve Novikova-Kinney P., (2010), “Arthur T. Brown: Pioneer Of Passive Solar Architecture”, In The Solar 2010 Conference Proceedings.

Dikmen Ç.B., (2011), “Enerji etkin yapı tasarım ölçütlerinin örneklenmesi”. Politeknik Dergisi, 14(2), 121-134

Dino İ.G., (2017), “Binalarda Güneş Kontrol Yöntemlerinin Optimizasyon Temelli Performans Değerlendirilmesi”. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 5(3), 71-87.

Djongyang N., Kapseu C. and Tchinda R., (2012), “A review of Solar Technologies for Buildings: Special Issue Research Paper”. African Journal of Science, Technology, Innovation and Development, 4(4), 11-35.

Dumlupınar E., (2008), “Enerjisinden Edilgen Yararlanmanın Sürdürülebilir Mimarideki Yeri”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), (2022), “Elektrik Piyasası Resmi İstatistikleri”, <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-167/resmi-istatistikleri>.

Fugate J. R., (2018), “A Passive Solar Retrofit in a Gloomy Climate”, Rochester Institute of Technology.

Göksal T., (2003), “Mimaride Sürdürülebilirlik-Teknoloji İlişkisi: Güneş Pili Uygulamaları”, Arredamento Mimarlık, sayı 154, 76-80, İstanbul.

Gratia E. and De Herde, (2002), “Design of Low Energy Office Buildings, in: Energy and Buildings” 35 (pp. 477, 478). Elsevier Science B. V.

Gupta C. L., (1993), “Solar Passive Buildings for Developing Countries, Sadhana”, 18(1), 77-104.

Hachem-Vermette C., (2020), “Solar Buildings and Neighborhoods: Design Considerations for High Energy Performance”. Springer Nature.

Haglund B. and Rathmann K., (1995), “Thermal Mass in Passive Solar and Energy Conserving Buildings”. Vital Signs Curriculum Material Project, USA.

İraz R., Altınışik İ. and Peker H. S., (2010). “Güneş Enerjisi Yatırımlarına Yönelik Teşvikler ve Türkiye’deki Durum” Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi, 13(1-2), 69-78.

Kabakçı O. K., (2018), “Binalarda Enerji Verimliliği”, Teknik Rapor, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Çevre Dairesi Başkanlığı.

Kapstein E. B., (1980), “A Golden Thread: 2500 Years of Solar Architecture and Technology”, US Department of Energy: Energy Efficient & Renewable Energy, 2007.

Koçu N. and Dereli M., (2004), “Yapılarda Güneş Enerjisinin Önemi ve Kullanımı”. II. Ulusal Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi, 26-28.

Kośny J., (2015), “PCM-enhanced building components: an application of phase change materials in building envelopes and internal structures”. Springer.

Koyunbaba B. K., Yilmaz Z. ve Ulgen K., (2013), “An approach for energy modeling of a building integrated photovoltaic (BIPV) Trombe wall system”. *Energy and Buildings*, 67, 680-688.

Köksal T., (2018), “Enerji Etkinliği Açısından Bir İlköğretim Binasının Aktif ve Pasif Sistem Olarak Performansının Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.

Köse M., (2013), “Trombe Duvarın Ekonomik Analizi” Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi, FBE, Makine Mühendisliği ABD., 71 s., Erzurum.

Kun F., (2005), “Turizm Amaçlı Yapıların İklimle Dengeli Tasarım Kapsamında Soğutma Yüğü Açısından Değerlendirilmesi (Kuşadası Örneği)”, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Lechner N., (2014), “Heating, Cooling, Lighting: Sustainable Design Methods For Architects”. John Wiley and Sons.

Lee ES, Selkowitz SE., (1988), “Integrated envelope and lighting systems for commercial buildings: A retrospective”. Paper presented at the ACEEE 1998 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings.

Looman R., (2017), “Climate-Responsive Design: A Framework For An Energy Concept Design-Decision Support Tool For Architects Using Principles Of Climate-Responsive Design”. *A+ BE| Architecture and the Built Environment*, (1), 1-282.

Marché International Support Office (2009)., “Zero-Energy Architecture in Switzerland”, *Detail Green*, 1/2009 p 32-37.

Medici Piero (2018), “The Trombe Wall During the 1970s: Technological Device or Architectural Space? Critical Inquiry on the Trombe Wall in Europe and the Role of Architectural Magazines” den esinlenerek düzenlenmiştir; AA, VV, Casabella. *Rivista di Urbanistica, Architettura e Disegno Industriale*. Pp. 22-33, Gruppo Editoriale Electa, (1977).

Mertens K., (2013), “Photovoltaics: fundamentals, technology and practice”. Germany: John Wiley and Sons.

Nexten, (2019), “GES Santrallerinde Güneş Takip Sistemi (Solar Tracker) Uygulamaları”, <https://nexten.com.tr/tr/ges-santrallerinde-gunes-takip-sistemi-solar-tracker-uygulamaları/>

Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, (2016), “Köppen İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye İklimi”

Oval P.K., (2009), “Türkiye İklim Bölgeleri Bağlamında Ekolojik Tasarım Ölçütleri Sistematiğinin Oluşturulması “Kayaköy Yerleşmesinde Örneklenmesi”, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Trakya Üniversitesi, Edirne.

Özdemir B.B., (2005), “Sürdürülebilir Çevre İçin Binaların Enerji Etkin Pasif Sistemler Olarak Tasarlanması”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojileri Programı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Özonur Y., (2004), “Düşük Sıcaklıkta Termal Enerji Depolamasına Uygun Faz Değiştiren Maddelerin Mikrokapsüllenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.

Paul J. K., (1979), “Passive Solar Energy Design And Materials”. (41 ed.). Park Ridge, NJ: Noyes Data Corporation.

Peel M. C., Finlayson B. L. and McMahon T. A., (2007), “Updated World Map Of The Köppen-Geiger Climate Classification”. Hydrology and Earth System Sciences, 11(5), 1633–1644, <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>.

Photovoltaics in the Built Environment, (2000), “A Design Guide for Architects and Engineers”, U.S. Department of Energy, Washington, s. 65, 69, 72, 77, 124, 148.

Probst M. M. and Roecke C., (2012). , “Criteria for architectural integration of active solar systems IEA Task 41”, Subtask A. Energy Procedia, 30, 1195-1204.

Ramzy N., Fayed H., (2011), “Kinetic Systems in Architecture: New Approach for environmental control systems and context-sensitive buildings”, Sustainable Cities and Society 1170-177.

Research and Design, (1978) “Solar Architecture Designing Sensible Solutions to the Energy Crisis” Vol.1, No. 1, The AIA Research Corporation.

Resmi Gazete, (2008), “Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği Kanunu”, 9 Ekim 2008 tarih ve 27019 sayılı Resmi Gazete.

Sa’atlı B.A., (2014), “Innovative solar panels with 60% efficiency. Energy and Environmental Engineering”, 2(4), 98-102.

Sakınç ve Sözen (2008), “Güneş enerjili etken sistemlerin yapılarda tasarım ölçütü olarak değerlendirilmesine yönelik bir yaklaşım”. Gazi üniversitesi mühendislik mimarlık fakültesi dergisi, 23(1).

Sayın S., (2006), “Yenilenebilir Enerjinin Ülkemiz Yapı Sektöründe Kullanımının Önemi Ve Yapılarda Güneş Enerjisinden Yararlanma Olanakları”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya.

Shwany P., (2018), “A Proposal For Improving The Use Of Passive Solar Techniques In Residential Buildings: Erbil City” Master Thesis, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Architecture Program, Bahçeşehir University, İstanbul.

Solar Design Associates and the Renewable Energy Laboratory, (1997).

Sözen A. and Arcaklioğlu E. (2005), “Solar Potential in Turkey” Applied Energy, 80(1), 35-45.

Spagnolo, (2003), “A Field Study of Thermal Comfort in Outdoor and Semi Outdoor Enviroments in Subtropical Sydney Australia”, Building and Environment Cilt 38 (5), Australia, 2003, s. 721-738.

Şimşek S., (2019), “An Evaluation of Three Solar Architecture Housing Projects Using The Analytic Hierarchy Process (AHP)”. Eurasian Journal of Civil Engineering and Architecture, 3(1), 56-69.

T. C. Dış İşleri Bakanlığı, (2022), Yenilenebilir Enerji Kaynakları.

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, (2021), Resmi İstatistikler, İllere Ait Mevsim Normalleri.

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, (2021), Kocaeli İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, “Demografik Yapı”

Thomas R., (2006), “Environmental Design: an Introduction for Architects and Engineers”, 3rd edition (pp.35, 41, 42, 47, 49). Taylor & Francis, London, New York.

Torcellini P., Pless S., (2004), “Trombe Walls in Low-Energy Buildings: Practical Experiences”. To be presented at the World Renewable Energy Congress VIII and Expo Denver, Colorado, www.nrel.gov, National Renewable Energy Laboratory web site.

Tunçalp K., Sucu M. ve Oğuz Y. (2002), “Değişik İklim Şartlarında Bina İçerisinde Pasif Isıtma ve Soğutma Sistemlerinin Kullanılabilirliği”, Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü Göztepe-İstanbul. Türkiye. pg, 2(3), 4.

TÜİK, (2021), “İnşaat ve Konut İstatistikleri”, Türkiye İstatistik Kurumu.

Türk Dil Kurumu, (2021), <https://sozluk.gov.tr/> .

Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş (2021), Bilgi Merkezi, Genel Aydınlatma Tüketimleri, https://www.tedas.gov.tr/#!tedas_tarifeler_1.

Tzekova, Pressnail, Touchie, Richman, DiPlacido, Rumeo (2013), “Improving The Energy Performance Of An Historic Single-Family Home: The Gemini House”.

Vitruvius, “Mimarlık Üzerine On Kitap”, Trc. Suna Güven, Şevki Vanlı Mimarlık Vakfı Yayınları, (2005).

Michael ve Wachberger M., (1988), “Güneş ile inşa etmek : pasif güneş enerjisi kullanımı”, çev. Gerçek,L., Akın,S., Maya, Ankara.

Wachberger M., Wachberger H., (1988), “Güneş ve Konut”, Çev. Cemil Gerçek, Yaprak Kitabevi, Ankara.

Wang D., Hu L., D H., Liu Y., Huang J., Xu Y. and Liu J., (2020) Classification, experimental assessment, modeling methods and evaluation metrics of Trombe walls. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 124, 109772.

Wang Q., Qiu H.N., (2009), “Situation And Outlook Of Solar Energy Utilization In Tibet, China” Renewable and Sustainable Energy Reviews 13(8), 2181–2186.

Watte Y., Cosmatu T., Tenpierik M., Turrin M. and Heinzelmann F.,(2017), “Renewed Trombe wall passively reduces energy consumption. In Proceedings of the 33rd International Conference on Passive and Low Energy Architecture”, Edinburgh, UK (pp. 2-5).

Weckend S, Wade A, Heath G., (2016), “End-of-Life Management Solar Photovoltaic Panels”. IRENA and IEA-PVPS.

Web 1, (2021). <https://www.iea.org/> (Erişim Tarihi: 20.05.2021).

Web 2, (2021). <https://www.ashrae.org/> (Erişim Tarihi: 25.05.2021).

Web 3, (2021). <https://ensolar.energy/a-history-overview-of-solar-panels/> (Erişim Tarihi: 25.05.2021).

Web 4, (2021). <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-energy-technologies-office> (Erişim Tarihi: 25.05.2021).

Web 5, (2021). <https://www.iea.org/reports/covid-19-impact-on-electricity> (Erişim Tarihi: 20.05.2021).

Web 6, (2021).https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2021_Full_Report.pdf (Erişim Tarihi: 25.05.2021).

Web 7, (2021). <https://globalsolaratlas.info/download> (Erişim Tarihi: 12.07.2021).

Web 8, (2021). <https://www.energy.gov/downloads/solar-america-initiative> (Erişim Tarihi: 20.07.2021).

Web 9, (2022). <https://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa> (Erişim Tarihi: 20.01.2022).

Web 10, (2022). <https://www.mfa.gov.tr/sub.tr.mfa?6f41190c-6742-405a-9e5a-784385301607> (Erişim Tarihi: 20.01.2022).

Web 11, (2021). <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/> (Erişim Tarihi: 20.07.2021).

Web 12, (2022). <https://ytong.com.tr/blog-detay.asp?blogID=10> (Erişim Tarihi: 02.01.2022).

Web 13, (2022). horitahomes.com (Erişim Tarihi: 02.01.2022).

Web 14, (2022). <https://www.tesla.com/solarroof> (Erişim Tarihi: 02.01.2022).

Web 15, (2022). <https://www.glassx.ch/en/products/glassx-crystal/> (Erişim Tarihi: 05.01.2022).

Web 16, (2022). <https://www.detail-online.com/article/marche-international-support-office-zero-energy-architecture-in-switzerland-13794/> (Erişim Tarihi: 05.01.2022).

Web 17, (2022). <https://www.archdaily.com/590576/sdu-campus-kolding-henning-larsen-architects> (Erişim Tarihi: 05.01.2022).

Web 18, (2022). <https://www.case.rpi.edu/research/icsolar> (Erişim Tarihi: 05.01.2022).

Web 19, (2021). <https://www.britannica.com/science/mid-latitude-steppe-and-desert-climate#/media/1/1555783/206711> (Erişim Tarihi: 30.10.2021).

Web 20, (2021). <https://ourworldindata.org/fossil-fuels> (Erişim Tarihi: 1.11.2021).

Web 21, (2022). <https://bimsoft.com.tr/bim-nedir/> (Erişim Tarihi: 01.01.2022).

Web 22, (2022). <https://www.iea.org/reports/sustainable-recovery> (Erişim Tarihi: 01.01.2022).

Web 23, (2022). <http://www.heliadons.org/> (Erişim Tarihi: 05.01.2022).

Web 24, (2022). <https://www.temizuretimmerkezi.org/index.php?kategori=kaynak-verimliliği> (Erişim Tarihi: 15.01.2022).

Web 25, (2022). <https://www.archdaily.com/326747/q1-thyssenkrupp-quarter-essen-jswd-architekten-chaix-morel-et-associés> (Erişim Tarihi: 07.01.2022).

Web 26, (2022). <https://inventoenerji.com/amorfo-silikon-fotovoltaik-cam/> (Erişim Tarihi: 07.01.2022).

Web 27, (2022). https://download.autodesk.com/us/revit_mep_2016/constructions-revised.pdf (Erişim Tarihi: 07.01.2022).

Web 28, (2022). <https://help.autodesk.com/view/RVT/2020/ENU/?guid=GUID-552B1825-1323-4FBB-AE1C-BF447634E15E> (Erişim Tarihi: 07.01.2022).

Yajnik U.A., (2017), The conception of photons. Journal of Science Education, 1-29.

Yalçınkaya S., (2019), “Güneş Enerjisinin Binalarda Aktif ve Pasif Olarak bir Arada Kullanılmasının İrdelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Yanardağ H. M., (2015), “Farklı Bina Formlarında Güneş Pili Uygulamalarının Enerji ve Maliyet Etkinliği Açısından Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Yasan A. S., (2011), “Bina Tasarım Parametrelerinin Enerji Harcamalarına Etkilerinin Belirlenmesine Yönelik Bir Çalışma”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Yılmaz, (2015), “Bilgisayar Analiz Yöntemleriyle Ekolojik Tasarım İlkeleri Bağlamında Side Tarihi Konutlarının İncelenmesi”, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Yüre T., (2007), “Güneş Enerjisinden Edilgen Sistem Yararlanmada Güneş Odası Ekleme Yönteminin İç Ortam Sıcaklığına Etkisinin İncelenmesi-İstanbul Örneği”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Yürekli, (1983), “Örneklerle Mimari Tasarımda Enerji”, İ.T.Ü Mimarlık Fakültesi Baskı Atölyesi.

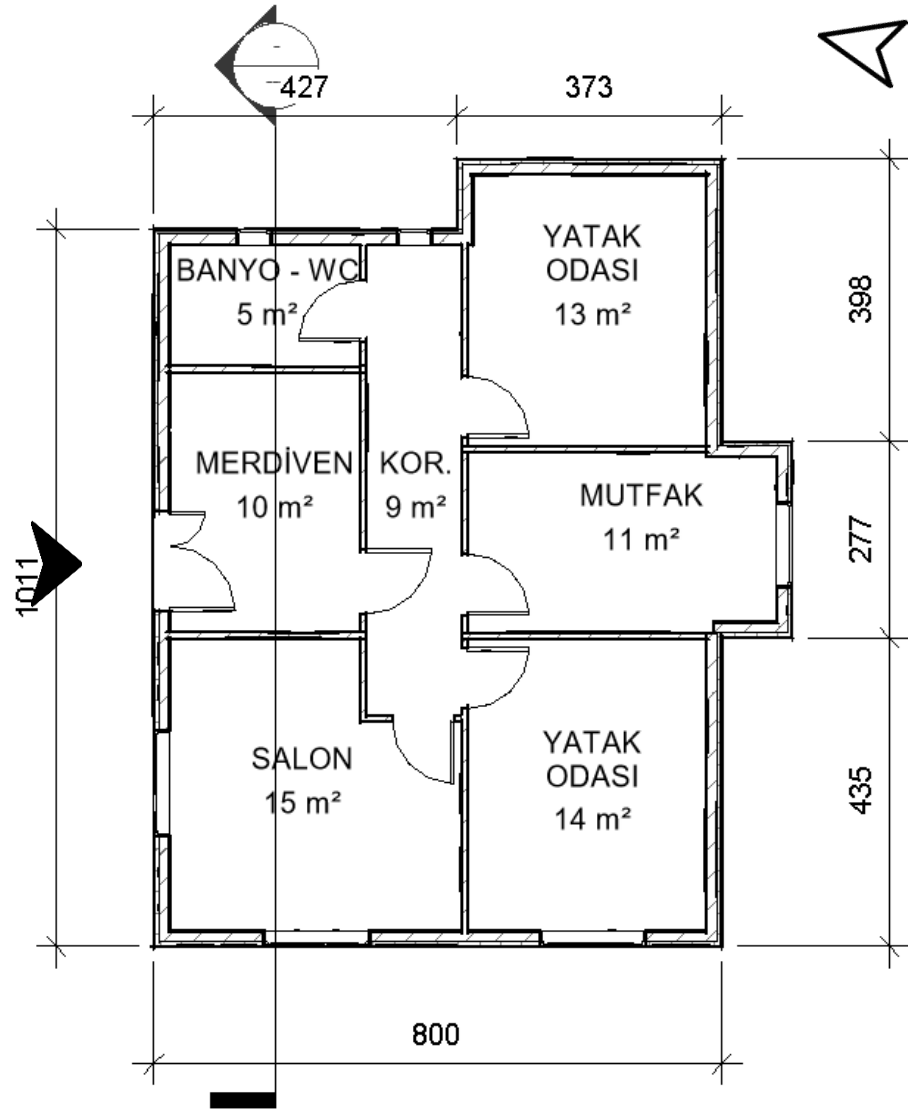
Zalba B., Marín J. M., Cabeza L. F. ve Mehling H., (2003), “Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications”, Applied Thermal Engineering, 23, 251-283.

ÖZGEÇMİŞ

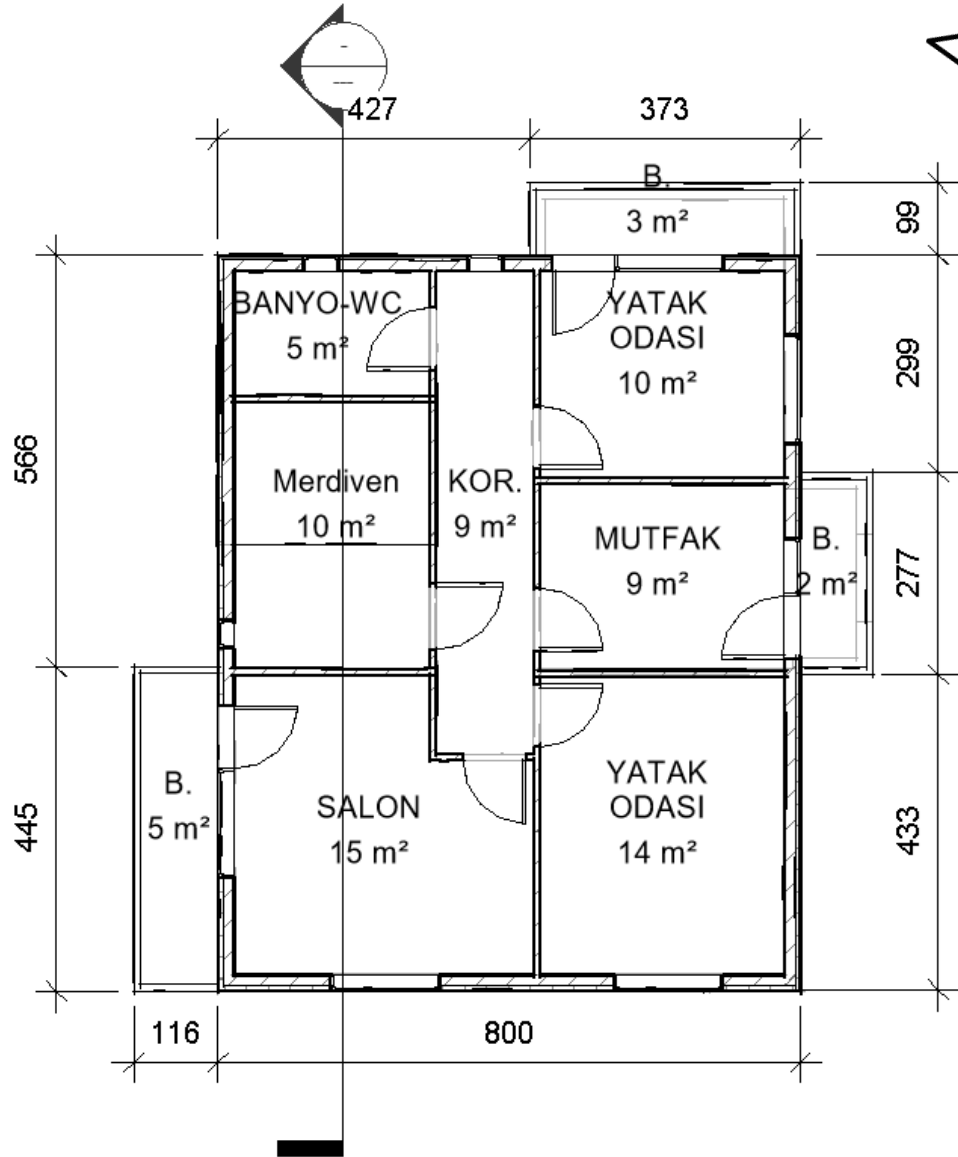
Zeynep Aybüke T RYAK , 2012 yılında lisans eğitime başladığı Karadeniz Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'nden 2018 yılında onur  ğrencisi derecesi ile mezun oldu. 2019 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalında yüksek lisans eğitime başladı.

EKLER

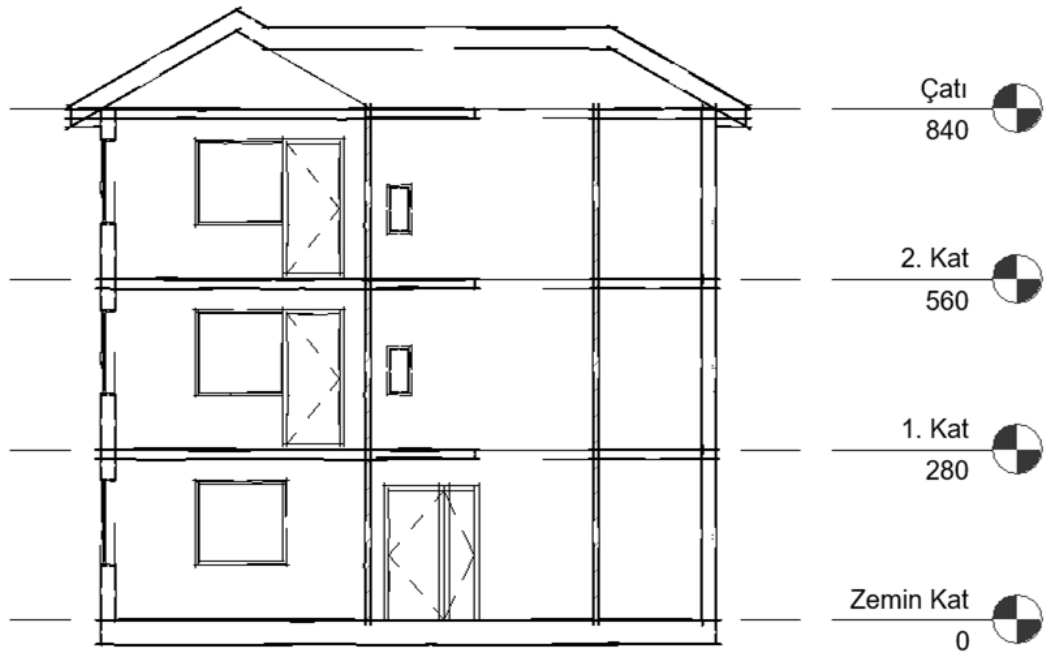
Ek A: Referans Konut Mimari Projesi



Şekil A.1: Zemin kat planı.



Şekil A.2: 1.ve 2. kat planı.



Şekil A.3: Yapı kesiti.



Şekil A.4: Kuzey cephe görünüşü.



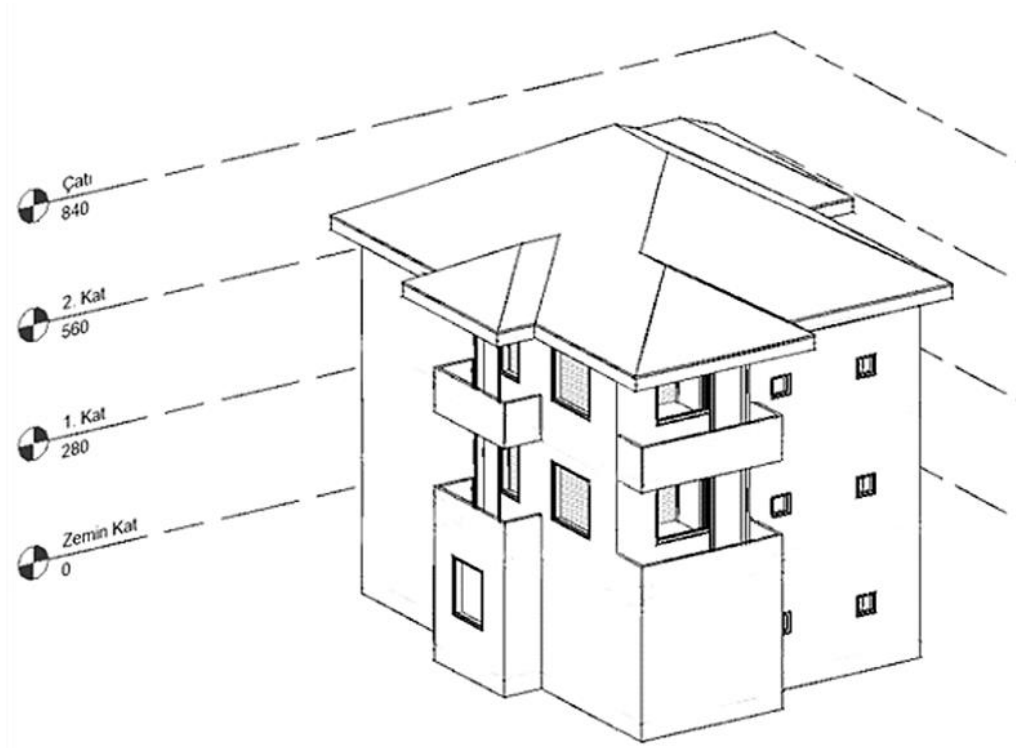
Şekil A.5: Doğu cephe görünüşü.



Şekil A.6: Batı cephe görünüşü.



Şekil A.7: Güney cephe görünüşü.



Şekil A.8: Kuzey- Doğu yönde 3 boyutlu perspektif görünümü.

Ek B: Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Yayınlar

Özer Yüksel E., Tiryaki Z. A., (2021), “Investigation Of Active And Passive Solar Energy Systems In Housing Buildings In The Context Of Sustainable Architecture”, IArcSAS 1st International Architectural Sciences and Applications Symposium, p. 671-686, Isparta, Türkiye, October.