

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ HİBRİT KOJENERASYON
SİSTEMİNİN DENEYSEL VE TEORİK OLARAK İNCELENMESİ**

İbrahim Cemaleddin KULOĞLU

Doktora Tezi

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

MART 2025

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

**GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ HİBRİT KOJENERASYON
SİSTEMİNİN DENEYSEL VE TEORİK OLARAK İNCELENMESİ**

Tez Yazarı

İbrahim Cemaleddin KULOĞLU

Danışman

Prof. Dr. Hikmet ESEN

ŞUBAT 2025

ELAZIĞ

T.C.
FIRATÜNİVERSİTESİ
FENBİLİMLERİENSTİTÜSÜ

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Başlığı:	Güneş Enerjisi Destekli Hibrit Kojenerasyon Sisteminin Deneysel Ve Teorik Olarak İncelenmesi
Yazarı:	İbrahim Cemaleddin KULOĞLU
İlk Teslim Tarihi:	13.01.2025
Savunma Tarihi:	14.02.2025

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık Yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Danışman:	Prof. Dr. Hikmet ESEN Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi	<i>İmza</i> Onayladım
Başkan:	Doç. Dr. Filiz ÖZGEN Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi	Onayladım
Üye:	Doç. Dr. Abdullah KAPICIOĞLU Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi	Onayladım
Üye:	Doç. Dr. Fehmi ASLAN Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Yeşilyurt MYO	Onayladım
Üye:	Dr. Öğr. Üyesi Aydın DİKİCİ Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi	Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza

Prof. Dr. Burhan ERGEN
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “Güneş Enerjisi Destekli Hibrit Kojenerasyon Sisteminin Deneysel Ve Teorik Olarak İncelenmesi” Başlıklı Doktora Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

14.02.2025

İbrahim Cemaleddin KULOĞLU



ÖNSÖZ

Bu çalışmanın fikir, kurulum, hesaplama ve değerlendirme süresi boyunca bilgi beceri ve engin tecrübelerinden faydalandığım danışman hocam Prof.Dr.Hikmet ESEN'e sonsuz teşekkür ederim. Çalışma süresi boyunca desteğini esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Cihangir KALE'ye, projenin kurulumunda ve malzeme seçiminde bilgi ve tecrübeleriyle bana destek olan Doğu İklimlendirme Şirketi kurucusu Mehmet SERTKAYA'ya ve projenin kurulumunun gerçekleştirildiği bahçe ve evin sahipleri olan YAŞAR ailesine en kalbi duygularıyla teşekkür ederim. Çocukluğumdan günümüze ve özellikle de en sıkıntılı anlarımda hertürlü desteklerini esirgemeyen çok kıymetli anneme, babama ve aileme teşekkür ederim. Varlığı ile bana yaşam enerjisi veren biricik kızım Meryem Asel'e sevgilerimle...

İbrahim Cemaleddin KULOĞLU

ELAZIĞ, 2025



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLOLAR LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
EKLER LİSTESİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Küresel ve Yerel Enerji Yönelimleri, Hibrit Sistemler.....	2
1.2. Küresel Isınma.....	7
1.3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	9
1.3.1. Güneş Enerjisi	10
1.3.2. Türkiye'nin Işınım Enerjisi Potansiyeli.....	12
2. GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ.....	16
2.1. Güneş Kollektörlerinin Çeşitleri.....	16
2.1.1. Düzlemsel Levha Kollektörler	17
2.1.2. Vakumlu Tüp Kollektörler	20
2.1.2.1. Termosifon Özellikli Vakumlu Tüp Kollektörler	23
2.1.2.2. U Borulu Vakumlu Tüp Kollektör	23
2.1.2.3. Isı Borulu Tüp Kollektörler	24
3. FOTOVOLTAİK PANELLER	26
3.1. Fotovoltaik Hücrelerin Tarihsel Gelişimi	27
3.2. Fotovoltaik Panel Çeşitleri	31
3.2.1. Monokristal Fotovoltaik Hücre	31
3.2.2. Polikristal Fotovoltaik Hücre	31
4. MATERYAL VE METOT	33
4.1. Materyal.....	34
4.2. Metot	40
4.2.1. Proje Kapsamında Sistemde Kullanılacak Ekipmanların Boyutlandırılması	40
4.2.2. Kollektör Yüzey Alanı ve Toplam Radyasyon Miktarının Hesabı.....	44
4.2.3. İş Akışkanı Dolaşım Pompasının Güç Gereksinim Hesabı	47
4.2.4. Fotovoltaik Güneş Paneli Sisteminin Hesabı	48
4.2.5. Jeneratörün özellikleri	55
4.2.6. Isıl enerji kolektörünün özellikleri	56
4.3. Hesaplama Yöntemleri	61
4.3.1. Fotovoltaik Panelin Enerji Analizi	62
4.3.2. Fotovoltaik Panelin Ekserji Analizi.....	63
4.3.3. Solar Güneş Kollektörünün Enerji Hesaplanması	65
4.3.4. Güneş Kollektörünün Ekserji Analizi	65
4.3.5. Sistemin Karbondioksit Salınımının Hesaplanması	66

5. BULGULAR VE TARTIŞMA	68
6. SONUÇLAR.....	85
7. ÖNERİLER	87
KAYNAKLAR.....	88
EKLER	95
ÖZGEÇMİŞ	



ÖZET

Güneş Enerjisi Destekli Hibrit Kojenerasyon Sisteminin Deneysel Ve Teorik Olarak İncelenmesi

İbrahim Cemaleddin KULOĞLU

Doktora Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Şubat 2025, Sayfa: xiii +94

Enerjinin ülkelerin ilerlemesinde en önemli etkenlerden biri olduğu bilinmektedir. Devletlerin bağımsızlıklarını belirleyen girdiler sıralamasında ilk sırada yerini alabilmektedir. Geleneksel enerji amaçlı kullanılan fosil tabanlı enerji kaynaklarının dünya genelinde rezervlerinin azalması, sürekli artan girdi maliyetleri nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarına ve sistemlerine yönelişler gün geçtikçe artmaktadır. Ayrıca fosil tabanlı kaynakların küresel ısınmaya neden olup iklim değişikliği başta olmak üzere insanlar ve diğer canlılar üzerindeki negatif etki sebebiyle yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili çalışmalar ve stratejiler gün geçtikçe artmaktadır.

Teknolojinin çok hızlı ilerlemesi yaşam şartları üzerindeki olumlu etkisi nedeniyle nüfus artışı, şehirleşmeyi ve çok yüksek oranda enerji kullanımını beraberinde getirmiştir. Dünya genelinde konutların ısıtma ve soğutulmasında kullanılan enerji tüketimi ciddi boyutlara ulaşmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının her an aynı potansiyelde bulunamaması depolama veya hibrit bir sistem dâhilinde enerji güvenirliliği açısından yenilenebilir ve fosil tabanlı sistemlerle birlikte kullanılması sonucunu doğurmaktadır. Böylelikle depolama maliyetlerinin düşmesine ve sistemde birden çok yenilenebilir enerji kaynağının kullanımına olanak verir.

Bu çalışmada, Elazığ ilinin Harput Mahallesinin kırsal yerleşkesinde enerji hatlarına uzak bir yaşam alanının hibrit ısıtma sistemi ile yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisini kullanarak ısı konfor şartlarında tutulması amaçlanmaktadır. Ayrıca sistem bileşenlerinden olan fotovoltaik panel, vakumlu güneş kollektörünün enerji ve ekserji analizleri de hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler:Hibrit sistem, Güneş enerjisi, Vakumlu, PV panel, Enerji, Ekserji

ABSTRACT

Experimental And Theoretical Investigation Of Solar Energy Assisted Hybrid Cogeneration System

İbrahim Cemaleddin KULOĞLU

Ph.D. Thesis

FIRAT UNIVERSITY
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Energy Sysytems Engineering

February 2025, Pages: xiii + 94

It is known that energy is one of the most important factors in the progress of countries. It can take its place in the first place among the inputs that determine the independence of states. The tendency towards renewable energy sources and systems is increasing day by day due to the decrease in the reserves of fossil-based energy sources used for traditional energy purposes worldwide and the ever-increasing input costs. In addition, studies and strategies related to renewable energy sources are increasing day by day due to the negative impact of fossil-based resources on humans and other living things, especially climate change, causing global warming.

The rapid advancement of technology has brought along population growth, urbanization and very high energy use due to its positive impact on living conditions. The energy consumption used in heating and cooling of dwellings worldwide has reached serious dimensions. The fact that renewable energy sources cannot be found at the same potential at any time leads to the use of renewable and fossil-based systems together in terms of energy reliability within a storage or hybrid system. Thus, it allows the reduction of storage costs and the use of multiple renewable energy sources in the system.

In this study, it is aimed to keep a living area far from power lines in the rural settlement of Harput neighborhood of Elazığ province in thermal comfort conditions by using solar energy, one of the renewable energy sources, with a hybrid heating system. In addition, energy and exergy analyses of the photovoltaic panel, vacuum solar collector, which are system components, are also calculated.

Keywords:Hybrid systems, Solar energy, Vacuum, PV panel, Energy, Exergy

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Birleşmiş Milletlerin 2020 ile 2100 yılları arasındaki nüfus değişim tahmini	3
Şekil 1.2. Birleştirilmiş ısı ve güç sistemlerinin çalışma teknolojilerine göre sınıflandırılması	6
Şekil 1.3. Güneşin kuzey ve güney yarım kürede yıl boyunca hareketi neticesinde konumu	11
Şekil 1.4. Güneş enerjisinin farklı formlara dönüşü	12
Şekil 1.5. Avrupa kıtasının Türkiye ile birlikte güneş radyasyon elde etme potansiyeli	12
Şekil 1.6. Türkiye'nin Güneş Enerji Potansiyeli Atlası (GEPA)	13
Şekil 1.7. Türkiye'nin aylık ışıınım şiddetinin değişimi	14
Şekil 1.8. Elazığ ili güneş enerjisi potansiyeli	14
Şekil 1.9. Elazığ merkez ilçesinin ışıınım şiddeti değişimi ve aylık güneşlenme süreleri [49]	15
Şekil 2.1. Güneş kolektörlerinin sınıflandırılması	16
Şekil 2.2. Sabit konumlandırılmış güneş kolektörünün yön durumları ve açıları	17
Şekil 2.3. Düzlemsel kolektörün şematik görünümü	18
Şekil 2.4. Yıl boyunca günlük eğim açısının değişimi	19
Şekil 2.5. Vakumlu güneş kolektörü ve vakumlu kolektör kesit görünümü	21
Şekil 2.6. Güneşten dünyaya gelen direkt, diffüz ve yansıyan ışıınım	21
Şekil 2.7. vakumlu güneş kolektörün günün farklı zamanlarında aldığı ışıınımı	22
Şekil 2.8. Termosifon etkili vakumlu tüpün çalışma prensibinin şematik görünümü	23
Şekil 2.9. U borulu Vakumlu Tüp kolektörün şematik görünümü	24
Şekil 2.10. Isı borulu vakumlu güneş kolektörünün şematik görünümü	25
Şekil 3.1. Standart yapıya sahip fotovoltaik panelin kesit görünümü	26
Şekil 3.2. Fotovoltaik hücrenin ışıınım altında üretimi ve hücre kesit görünümü	28
Şekil 3.3. Standart yapıya sahip monokristal ve polikristal fotovoltaik hücre görünümleri	28
Şekil 3.4. 2008 ve 2019 yılları arasında PV hücre fiyat değişimi gösteren grafik	29
Şekil 3.5. Uluslararası elektrik fiyat değişimi (MWh)	29
Şekil 3.6. Yıllara göre PV panel kurulum kapasitesi	30
Şekil 3.7. Karbondioksit miktarındaki gelişme	30
Şekil 4.1. Deneysel sistemin şematik görünümü	33
Şekil 4.2. Projenin yapılacağı yaşam alanının uydudan görünümü	34
Şekil 4.3. Isıtma projesi yapılacak yaşam alanının görünümü	35
Şekil 4.4. Pyronometrenin görünümü	36
Şekil 4.5. Isıtılması düşünülen odanın sistemin kurulacağı yere göre yükseklik ölçüleri	37

Şekil 4.6. Sistemde kullanılan sirkülasyon pompasının görünümü	38
Şekil 4.7. Sistemde kullanılan iş akışkan sirkülasyon pompasının katalog bilgileri	38
Şekil 4.8. Tasarlanmış sistemde kullanılan pompaların ısıl enerji tankında montaj sonrası konumları	39
Şekil 4.9. Isıl enerji tankında ki ısı değıştirgecinin görünümü	40
Şekil 4.10. Isıtma sistemi ile ısıtılacak alanın boyut ölçüleri	42
Şekil 4.11. Kolektör üzerine düşen güneş ışınlamalarının gösterilmesi	45
Şekil 4.12. Sistemde kullanılan fotovoltaiik panelin görünümü	49
Şekil 4.13. Sistemde kullanılan fotovoltaiik panelin özellikleri	49
Şekil 4.14. Isıtma sisteminde kullanılan akıllı inverter görünümü	50
Şekil 4.15. İnverterin enerji giriş çıkışlarının görünümü	51
Şekil 4.16. Kaynak olarak sadece akü kullanılması durumu	52
Şekil 4.17. Birçok enerji kaynağının aynı anda kullanılması	52
Şekil 4.18. Termastatlar, akıllı inverter, akü grubu, ısıl enerji tankı, pompalar, bilgi toplayıcı ve ısılcıftlerin görünümü	53
Şekil 4.19. Hibrit ısıtma sisteminde kullanılan akülerin görünümü	54
Şekil 4.20. Hibrit ısıtma sisteminde kullanılan jeneratörün görünümü	55
Şekil 4.21. Proje kapsamında kullanılan termal kolektörün görünümü	57
Şekil 4.22. Güneş kolektörü iş akışkanı giriş çıkış noktaları ve sıcaklık ölçüm sensör konumu	57
Şekil 4.23. Vakumlu cam tüpün iş akışkanı giriş yeri ve cam tüpün vakumlanarak kapatılmış son kısmı	58
Şekil 4.24. Vakumlu güneş kolektörünün tam görünümü	58
Şekil 4.25. Vakumlu güneş kolektörü ve fotovoltaiik panel görünümü	59
Şekil 4.26. Sistemde kullanılan termostatin görünümü	60
Şekil 4.27. Kontrol sisteminde dijital termostat ve akıllı inverter görünümü	61
Şekil 5.1. Deney zamanına ait ışınlam bilgileri verileri	68
Şekil 5.2. 31/03/2023 tarihli deney zamanı ölçülen dış ortam sıcaklığı ve rüzgar hızı	69
Şekil 5.3. Dış ortam, iç ortam, güneş kol. tank, ısıl enerji tank sıcaklıkları değışimi ve sistemin akü-jeneratör çalışma zamanı	70
Şekil 5.4. PV panelin enerji ve ekserji verim değışimi	71
Şekil 5.5. Vakumlu güneş kolektörünün enerji ekserji verimi	72
Şekil 5.6. 02/04/2023 tarihli deney zamanına ait ışınlam verileri	73
Şekil 5.7. 02/04/2023 tarihli deney zamanına ait dış ortam sıcaklığı ve rüzgar hız değışimi	73
Şekil 5.8. Dış ortam, iç ortam, güneş kolektör tank, ısıl enerji deposu sıcaklık değışimleri ve ışınlamın olmadığı zaman aralığında akü ve jeneratör çalışma zamanı	74
Şekil 5.9. PV panelin enerji ve ekserji verim değışimi	75

Şekil 5.10. 02/04/2023 deney zamanına ait güneş kolektörünün enerji ve ekserji değişimi	76
Şekil 5.11. 03/05/2023 deney zamanına ışıınım değişimi	77
Şekil 5.12. 03/05/2023 deney zamanına ait rüzgar ve dış ortam sıcaklık değişimi	77
Şekil 5.13. 03/05/2023 deney zamanına ait dış ortam, iç ortam, güneş kolektör, ısııl enerji deposu sıcaklıkları akü ve jeneratör çalışma zamanları	79
Şekil 5.14. 03/05/2023 deney zamanına ait PV panelin enerji ve ekserji verimleri	79
Şekil 5.15. 23/11/2023 deney zamanına ait ışıınım bilgileri	80
Şekil 5.16. 23/11/2023 deney zamanına ait rüzgar ve dış ortam sıcaklığı değişimi	81
Şekil 5.17. 23/11/2023 deney zamanına ait dış ortam, iç ortam, güneş kolektör, ısııl enerji tank sıcaklıkları ve sistemin akü-jeneratör çalışma zamanları	82
Şekil 5.18. 23/11/2023 tarihinde yapılan deneye ait PV panellerin enerji ve ekserji verim değişimleri	83
Şekil 5.19. 23/11/2023 tarihli deney zamanına ait güneş kolektörün enerji ekserji verimleri	83

TABLolar LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 1.1. Sektörlere göre 1990 ile 2021 yılları arası enerji kullanımı (Bin TEP)	7
Tablo 4.1. Isıl çiftlerin ölçüm yapıldığı noktalar	36
Tablo 4.2. Sistemde kullanılan pompanın farklı çalışma kademelerine göre basma yüksekliği ve kullandığı güç	37
Tablo 4.3. Isıtma alanı için ihtiyaç duyulan ısıl yük tablosu.....	42
Tablo 4.4. 01.10.2017 tarihinin saatlik sıcaklık ve ısıtma yükleri	43
Tablo 4.5. 01-07 Ekim 2017 iklim verilerine göre ısıl yükün hesaplanması.....	44
Tablo 4.6. Sistemde kullanılan cihazların çalışma saatleri ve güç gereksinimleri	48
Tablo 4.7. Akıllı inverterin özellikleri	51
Tablo 4.8. Sistemde kullanılan jeneratörün özellikleri.....	56
Tablo 4.9. Vakumlu güneş kolektöründe kullanılan cam tüpün özellikleri	58
Tablo 5.1. 31 Mart 2023 tarihli deneye ait PV panel ve güneş kolektörünün enerji ekserji	72
Tablo 5.2. 02 Nisan 2023 tarihli deneye ait PV panel ve güneş kolektörünün enerji ekserji değişimi	76
Tablo 5.3. 03 Mayıs 2023 tarihli deneye ait PV panel ve güneş kolektörünün enerji ekserji değişimi	80
Tablo 5.4. 23 Kasım 2023 tarihli deney çalışmasına ait PV panel ve güneş kolektörün enerji-ekserji verimleri	84

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

a	Pencere veya kapı çerçevesinin hava sızdırma derecesi ile ilgili bir katsayı
$\dot{Q}_h$	Sıcak su enerji ihtiyacı (kJ/gün)
q	Yapıda kullanılan yapı elemanından kaybedilen ısı miktarını
L	Pencelerin açılan çerçeveleri ile kapı çerçevelerinin toplam uzunluğu (metre)
H	Bina katsayısı: binanın bulunduğu bölgenin meteorolojik şartlarına ve binanınmahfuz olup olmadığına bağlıdır.
R	Oda katsayısı
Z_E	Pencerelerin birbirine göre konumları ile ilgili bir katsayıdır.
η_k	Verim (kolektör verimi)
$\dot{m}$	Isıtılacak kullanım suyunun miktarı (L/gün),
c	Suyun özgül ısısı (kJ/kg°C)
ΔT	Kullanma sıcaklığı ile sisteme giren su sıcaklığı arasındaki farktır (°C)

Kısaltmalar

BIG	Birleştirilmiş Isı ve Güç Sistemleri
BUF	Bulanıklık faktörü
CH	Kanal
DİF	Difüz radyasyon miktarı (kJ/m ² gün)
DİFAF	Difüz radyasyon açısı faktörü
DİR	Direkt radyasyon miktarı (kJ/m ² gün)
DİRAF	Direkt radyasyon açısı faktörü
Gt	Giga Ton
GES	Güneş Enerji Santrali
GEPA	Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
KYA	Kollektör Yüzey Alanı
kWh	Kilo Watt saat
MWh	Mega Watt Saat
PV	Fotovoltaik Panel
UEA	Uluslar Arası Enerji Ajansı
SWH	Güneş Enerjili Su Isıtıcısı (Solar Water Heater)
SAH	Güneş Enerjili Hava Isıtıcısı(Solar Air Heater)
VTK	Vakum Tüp Kollektör
TRA	Toplam radyasyon miktarı (kJ/m ² gün)
YYRA	Yeryüzü radyasyonu (kJ/m ² gün)
YAO	Yansıtma oranı
YAF	Yansıtılmış açısı faktörü
YE	Yenilenebilir Enerji

EKLER LİSTESİ

Ek- Tablo 1 Direkt Radyasyon Açı Faktörleri (DİRAF)	95
Ek-Tablo 2 Difüz ve Yansıtılmış Radyasyon Açı Faktörleri	96
Ek-Tablo 3 Yeryüzünde yatay bir düzlemin birim alanına gelen günlük güneş ışıınımı (kJ/m^2 - gün)	96
Ek-Tablo 4 Bazı yüzeylerin yansıtma oranları	97
Ek- Tablo 5 Atmosfer dışında yatay bir düzlemin birim alanına gelen günlük güneş ışıınımı (kJ/m^2 -gün) .	97
Ek-Tablo 6 Aylık ortalama günlük güneşlenme süreleri (saat)	98



1. GİRİŞ

Bilinen en eski zamanlardan günümüze kadar geçen sürede ülkelerin gelişmişlik düzeyinde anahtar rol oynayan en önemli unsur enerji olmuştur. İleri teknoloji çağında da yaşamsal faaliyetlerin karşılanması adına büyük önem taşımaktadır. Enerji insan hayatının belirli bir konfor şartında yaşayabilmesi ve hayatını devam ettirebilmesi için gelecekte en önemli gereksinim olacaktır.

Enerji günlük hayatın bütününde yer almaktadır. Enerji ısıtma, soğutma, ulaşım, su arıtma ve yiyeceklerin hazırlanması gibi birçok işlemde hayatsal öneme sahiptir [1-2]. Yaşam alanlarında ısıtma, soğutma, aydınlatma ve taşıma gibi kullanım giderlerine bakıldığında ülkelerin enerji ihtiyaçlarının yüzdesel olarak büyük miktarlarda olduğu görülmektedir. Konutlarda ve ticari binalardaki enerji kullanım miktarı ileri sanayi ülkelerinde % 20'den % 40'lara çıkarak ulaşım ve sanayi gibi alanlardaki enerji tüketim miktarlarının çok üstüne çıkmıştır [3].

Yapılan incelemeler ve araştırmalar neticesinde yaklaşık 2050'de insan nüfusunun 10 milyar olması beklenmektedir. İnsan kaynaklı nedenlerden dolayı birçok canlı türü yok olmaktadır. Canlı türlerinin yok olma hızı giderek artmaktadır. Dünya kaynaklarının aşırı tüketimi bu duruma bir işaret olmuştur. Çevresel kirlenme, küresel iklim değişikliği ve kaynakların azalması neticesinde insan nüfusunun devamı da tehlike altında girmiştir [4].

Teknolojinin ilerlemesi, nüfusun artması, konfor şartlarının değişmesi, doğa olaylarının şiddetlenmesi ve küresel savaş gibi durumlar nedeniyle alternatif enerji kaynaklarının kullanımı araştırmacılar ve hükümetler açısından büyük önem kazanmaktadır. Enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi enerji güvenilirliği ve dışa bağımlılık açısından gereklidir. Bu nedenle hibrit sistemler gün geçtikçe hayati önem kazanmaktadır. Ayrıca hibrit sistemlerin kullanımı bireysel uygulamalarda da büyük ölçüde kolaylıklar sağlamaktadır.

Hibrit enerji sistemleri birden çok enerji kaynağının kullanılabildiği sistemlerdir. Bu kaynaklar fosil-fosil, fosil-yenilenebilir enerji ve yenilenebilir-yenilenebilir enerji kaynakları olabilmektedir. Hibrit enerji sistemlerinin enerji üretiminde karbondioksit miktarının azaltması, bireysel enerji kullanımına olanak sağlaması ve enerji çeşitliliği gibi birçok faydası bulunmaktadır. Ayrıca birden fazla yenilenebilir enerji kaynağının kullanıldığı hibrit sistemlerde yenilenebilir enerji kaynaklarının kesintiye uğrayan özelliklerini ortadan kaldırabildiği veya çok düşük seviyelere indirdiği için oldukça avantajlıdır [5].

Elektrik ve doğalgaz şebeke bağlantısı olmayan kırsal bölgelerde veya elektrik kesintilerinin sıklıkla olduğu bölgelerde enerji gereksinimi genellikle jeneratörlerle sağlanmaktadır. Güneş enerjisi destekli fosil kaynaklarla çalışan birçok hibrit sistem mevcuttur [6-15].

Fosil yakıtların tükenmesi ve çevre sorunları konusundaki artan endişeler nedeniyle enerji verimli teknolojilerin geliştirilmesi araştırma topluluğu için ilgi konusu olmuştur. Tek bir yakıt

kaynağından eş zamanlı ısı ve elektrik üretimi ile kombine ısı ve güç (BIG) teknolojisi bu alanda kanıtlanmış ve köklü bir teknolojidir. Mikro kojenerasyon veya mikro BIG (micro CHP) sistemleri olarak adlandırılan bu teknolojinin minyatür versiyonu olup, özellikle enerji tüketiminin ana sektörü olan binalarında merkezi olmayan enerji üretimi için çekici bir hedef haline gelmiştir. Bu sistemlerin kullanımında birçok faydalar vardır. Bunların başlıcaları ; ısı ve elektrik enerjisinin dağıtım ve iletiminde meydana gelen kayıpların azalması, merkezi enerji santrallerinde pik enerji talep zamanlarının ortadan kalkması, ana enerji hatlarının kararlılığı ve güvenilirliğinin korunması, enerji güvenirliliğinin korunması, iletim ve dağıtım için yapılan yatırımların azalması, enerjinin daha kararlı kullanımı sonucu meydana gelen atıkların azaltılması gibi çok büyük ölçekli merkezi sistemlere nazaran avantajlar sunmaktadır [16].

Bu tez çalışmasında Elazığ'da güneş enerjisi destekli hibrit kojenerasyon sistemi kurularak deneysel ölçümler alınmıştır daha sonra ekserji analizi yapılarak hesaplamalar irdelenmiştir.

1.1. Küresel ve Yerel Enerji Yönelimleri, Hibrit Sistemler

Nüfusun hızlı artması, ekonomide yaşanan ilerlemeler zaman içinde enerji kullanım alanlarını çeşitlendirmiş ve enerji ihtiyacı giderek artmıştır. Teknolojide yaşanan baş döndüren ilerlemeler ve verimlilik stratejileri nedeniyle enerjinin son tüketici tarafından daha verimli olarak kullanımına olanak tanımıştır. Bu gibi yerlerde meydana gelen verimlilik artışı ürün üretimi ve tüketimindeki enerji artışını yeteri ölçüde telafi edememiştir. Ayrıca dünya genelinde devam etmekte olan küresel çekişmeler ve Rusya- Ukrayna savaşı gibi ekonomiyi ve enerji tedarikini negatif olarak etkileyen olaylar neticesinde başta yaşam alanlarının soğutma, ısıtma ve aydınlatma gibi temel barınma gereksinimlerini de maliyet artışına önemli ölçüde etki etmiş ve enerji krizine neden olmuştur. Yapılan incelemeler sonucunda Avrupa Birliği kullanılan gazın % 45'inden fazlasını ithal etmiştir [17].

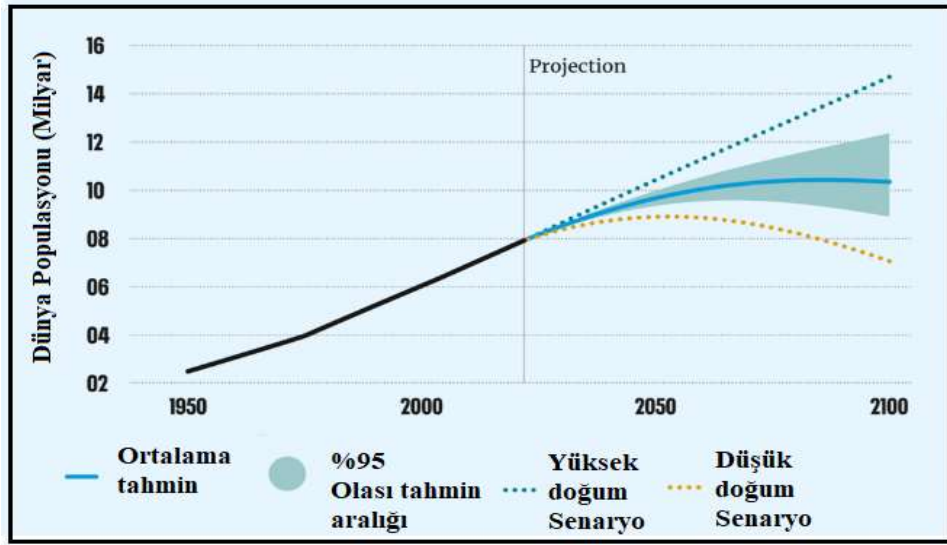
Enerji krizi Dünyada olduğu gibi Orta Doğu'da da etkisini göstermektedir. Dünya genelinde ulusal ve uluslararası programların teşviklerine rağmen özellikle kırsal kesimde milyonlarca insan elektrik enerjisi kullanımı olanaklar dahilinde değildir. Ayrıca jeolojik olarak büyük oranda kırsal ve engebeli bölge yapısına sahip Orta Doğuda hızlı kentleşme gibi durumlar nedeniyle enerji krizinin artacağını bildirmişlerdir. Yenilenebilir enerji kullanımına geçilmesi durumunda işsizlik ve enerji krizi problemini önemli ölçüde çözülebileceğini bildirmişlerdir [18].

Kırsal bölgedeki yaşam alanlarının elektrik enerjisi hatlarına uzaklığı ile alakalı olarak hat bağlantı maliyetlerinin yüksek olması ve fosil kaynaklı yakıtların maliyetlerinin her geçen gün hızlı bir şekilde artması sonucunda hibrit enerji sistemlerinin potansiyel olarak daha rekabetçi ve şebeke harici enerji uygulamalarında yaygınlaşmaları için uygun koşullar oluştuğunu bildirilmiştir [19].

Tüm dünyada ve gelecek nesillere belirli düzeyde yaşam kalitesi sağlamak için yeterli miktarda yiyecek, içilebilir su, yeterli toprak ve enerji mevcut olmalıdır. Günümüzde dünya

genelinde insanların beslenmesi için gıda üretimi ve insanlara ulaştırılmasında bazı problemler baş göstermektedir. Bu sebeple yaklaşık 3,7 milyar insan yetersiz beslenmektedir. Hızla artan nüfus ile yaşanabilir hayat arasındaki kontrol edilemeyen dengesizlik artarken kaynakların sürdürülebilir olması için tatlı suyun, ekim alanlarının, enerjinin ve diğer doğal kaynakların aktif bir şekilde korunması gerekmektedir. Dünya genelinde enerji fosil tabanlı kaynaklardan elde edilmektedir. Fosil kaynakların çevreye zararları sonucunda dünyanın birçok bölgesinde iklim değişikliği ve buna bağlı olarak küresel ısınma problemleri artmaktadır. Bu sebeple enerji üretiminde ve kullanımında çevreye zararsız olan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı hayatın devamı adına büyük önem kazanmaktadır. Sonuçta yenilenebilir enerji kaynaklarının ve sistemlerinin geliştirilmesi kaçınılmaz hale gelmiştir [20].

Birleşmiş Milletler kuruluşu belirli aralıklarla yaş, demografik yapı, cinsiyet ve doğum oranı gibi verileri değerlendirerek dünya nüfus değişimi üzerine tahminlerde bulunmaktadır. Böylelikle elde edilen bilgiler ışığında yaşam alanı, içilebilir su, gıda ve diğer ihtiyaçların karşılanması için ön istatistiksel bilgi oluşturulmaktadır. Şekil 1.1'de Birleşmiş Milletlerin 2020 ile 2100 yılları arasındaki nüfus değişim tahmini, yüksek ve düşük doğum oranı verilerine göre verilmiştir [21].



Şekil 1.1. Birleşmiş Milletlerin 2020 ile 2100 yılları arasındaki nüfus değişim tahmini [21]

Yenilenebilir enerji üretim teknolojileri olan fotovoltaik panel ve rüzgâr türbinile fosil kaynaklı enerji üretim metotlarından olan dizel jeneratör ve enerji depolama sistemleri ile entegrasyonu sonucunda ihtiyaç olunan enerjinin her yerde ve her zaman karşılanabileceği bildirilmiştir. Bu sistemler şebekeye bağlantılı veya bağımsız olarak da çalışmaktadır. Kırsal yaşam alanının elektrik enerjisi verilmesi ile alakalı birçok bilimsel çalışma mevcuttur [22-26].

Chow ve ark. [27] hibrit termosifon özellikli fotovoltaik hibrit panel tasarlamışlardır. Bu sistemde iş akışkanı olarak su kullanmışlardır. Tasarlanan kollektör alüminyum alaşımlı düzlemsel

kutunun içine yerleştirmişlerdir. İş akışkanı olarak su fotovoltaiik panelin soğutulması amaçlı alüminyum kanallarda sirkülasyon neticesinde ısı absorbe edilmiştir. Sistem doğal taşınımı olarak su ısıtılması amaçlı kullanılmıştır. Günlük olarak güneş ışınımına maruz bırakılan hibrit kollektör sisteminden sıcak su elde edildiğini bildirmişlerdir. İlk olarak kollektörün enerji performans değerlerine bakmışlardır. İkinci olarak tasarlanan sistem Çin'in sıcak yaz ve soğuk kış şartlarında denenmiştir. Kollektör yüzey alanı 1.64 m²'dir.

Rahimi ve ark. yenilenebilir kaynakların hibrit enerji sistemleri ile entegrasyonunu sağlayıp rüzgâr ve güneş enerji kaynaklarının yer aldığı bir enerji sistemimin tekno-ekonomik analizini incelemişlerdir [28]. Yapılan inceleme Avusturalya'da gerçekleştirilmiştir. Avusturalya'nın önemli ölçüde yenilenebilir enerji potansiyelinin olduğunu bildirmişlerdir. Bu çalışma Avusturalya'da hibrit enerji sistemleri ile alakalı ekonomik analizlerin yeterli miktarda olmaması nedeniyle yapılmıştır. Çalışma kapsamında Perth, Adelaide, Melbourne, Sidney ve Brisbane olmak üzere beş büyük şehirde elektrik enerjisi taleplerini karşılamak için optimum yenilenebilir hibrit enerji modeli oluşturulmayı amaçlamıştır. İncelenen şehirlerin durumlarını karşılaştırmak için Avusturalya'nın farklı iklim şartlarına sahip on farklı bina (otel, ofis, hastane, alışveriş merkezi, klinik, okul, apartman, depo, dükkan ve süpermarket) incelenmiştir. Sonuçlar incelenen yerler için yenilenebilir enerji kaynaklarının farklı uygulanabilir senaryoların var olabileceğini ortaya koymuştur.

Senjyu ve ark. [29] hibrit sistemlerle alakalı olarak simülasyon üzerinde inceleme yapmışlardır. Araştırmanın kapsamı elektrik bağlantısı olmayan veya izole edilmiş adalar için alternatif enerji kaynağı ile düzenli enerji sağlamayı kapsamaktadır. İlk olarak elektrik üretim tesislerine bağlantısı olmayan adada enerji elde etmek için rüzgâr türbinlerini değerlendirmişlerdir. Rüzgâr enerjisinin genel dekesintili olduğ u gözlemişlerdir. Bu problemi çözmek adına yenilenebilir enerji kaynaklarının da kullanıldığı hibrit enerji sistemi tasarlamışlardır. Tasarlamış oldukları sistemin kapsamında likit elektrolizör, hidrojen yakıt hücresi, yenilenebilir enerji kaynağı ve dizel jeneratör kullanmışlardır. Elde edilen enerjinin bataryalarda depolanacağını değerlendirmişlerdir. Fakat bu yöntemin enerji sürekliliği açısından elverişli olmadığına değ inmişlerdir. Elde edilen enerjinin hidrojene çevrilip yüksek yük ihtiyacı durumunda hidrojen yakıt hücresinde elektriğe çevrilerek yük ihtiyacı karşılanacağını bildirmişlerdir. Ayrıca rüzgâr gücünün yeterli olmaması durumunda dizel jeneratör ile sistemin destekleneceğini ve böylelikle enerjinin devamlılığı açısından daha güvenilir sistem olacağını açıklamışlardır.

Hidalgo ve ark. [30] yaşam alanında kullanılmak amaçlı küçük ölçekli birleştirilmiş ısı ve güç sistemi tasarlamışlardır. Tasarladıkları sistemde fotovoltaiik panel ve güneş kollektörü destekli stirling motoru kullanmıştır. Birleştirilmiş ısı ve güç sisteminde performans ve karbondioksit emisyonları değerlendirilmiştir. Bu çalışmada kendi enerjisini oluşturan yeni bir sistem kurulumu sunduğunu, sistemde üretilen elektrik enerjisi için Li-ion pil kullanılmış, ısı enerjisi için ise sıcak

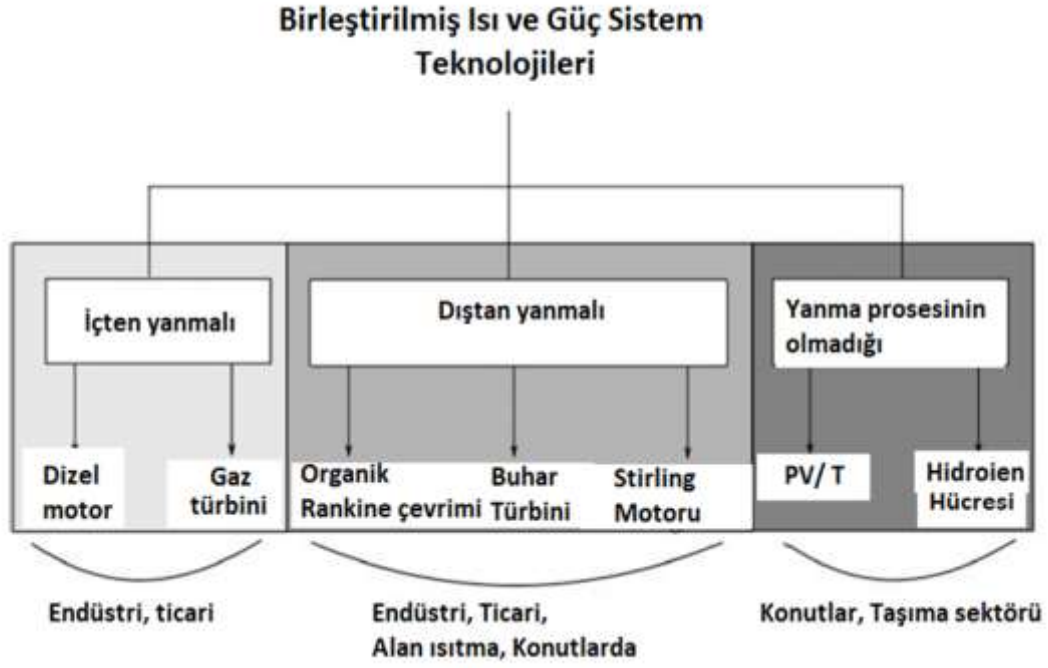
su tankı kullanılmıştır. Sistemde kullanılmış mikro BIG sistemi ile enerji ihtiyacı karşılanıp ve değişen iklim şartlarından etkilenmeden daha bağımsız hale geldiğini bildirmişlerdir. Yapmış oldukları incelemede evin % 75,6'lık enerji ihtiyacının karşılandığını, sistemde enerji üretmek amacıyla yayılan karbondioksit gazında % 36,2'lik azalma olduğunu hesaplamışlardır. Yaşam alanının ısı ihtiyacı tam olarak karşılanırken şebekeden alınan elektrik enerjisinin kullanımının %33,5'i karşılanmıştır. Sistemde kullanılan pil kapasitesinin 20 kWh (şimdiki kapasitesinin iki katı) kullanılması halinde sistemin tamamen bağımsız hale gelmesi düşünülmektedir. Burada sistemde mevcut halde kullanılan batarya kapasitesinin tam dolması sebebiyle elde edilen enerjinin diğer kısmı şebekeye aktarılmıştır.

20. yüzyılın ortalarına kadar tasarım mühendisleri güç üretimi sırasında oluşan atık ısının tekrar geri kazanıp, depolanıp ve kış ayları gibi ihtiyaç durumlarında ısı enerji amaçlı kullanılabilineceğini fark etmemişlerdir. Aynı proseste güç ve ısı üretimi kısa sürede önemli ilgi görmüştür. Bu prensibe dayalı olarak çalışabilen sistemler geliştirilmiştir. Bu sistemler kombine ısı ve güç sistemleri veya kojenerasyon sistemleri olarak tanıtılmıştır. Birleştirilmiş ısı ve güç sistemleri (BIG) herhangi bir tek tür yakıt kaynağı ile ardışık güç ve ısı üretebilme kabiliyeti sebebiyle bu özelliğe sahip olmayan sistemlere nazaran daha verimli olduğu bilinmektedir. Kojenerasyon sürecinde herhangi bir ürün veya enerji üretiminde sistemin soğutulması sırasında oluşan atık ısı geri kazanılabilir. İçten yanmalı motora sahip elektrik enerjisi üreten sistemlerde (jeneratör) bir ısı değiştiricisi sisteme entegre edildiğinde motordan atılan sıcak egzoz gazındaki ısı ve jeneratörün büyüklüğü ile alakalı olarak soğutma suyundaki ısı geri kazanılabilir [31].

Şekil 1.2'de verildiği gibi birleştirilmiş ısı ve güç sistemleri çalışma prensibine göre iki ana kategoriye ayrılabilir;

- i. Termodinamik çevrime göre elektrik üreten sistemler
- ii. Teknolojisinde termodinamik çevrim olmayan sistemler

İlk kategoride içten ve dıştan yanma prensibine göre çalışan motorlardır. Ayrıca ısı kaynağından elektrik üretme yöntemi olan Rankine çevrimi en yaygın kullanılanlardandır. Rankine çevriminde genel olarak su (Buhar Rankine Çevrimi) veya organik sıvı (Organik Rankine Çevrimi) kullanılmaktadır. Orta ölçekli sıcaklık ve sistem uygulamalarında organik akışkan daha uygun olup daha net sonuç alınmaktadır. İkinci kategoride termodinamik çevrimin olmadığı elektrik ve ısı üreten sistemlerdir. Bu sistemler hidrojen hücreleri ve solar termal fotovoltaik hibrit teknolojileridir. Şekil 1.2'de birleştirilmiş ısı ve güç sistemlerinin çalışma teknolojilerine göre sınıflandırılması verilmiştir [32].



Şekil 1.2. Birleştirilmiş ısı ve güç sistemlerinin çalışma teknolojilerine göre sınıflandırılması [32]

Yapılmış bir araştırmada hibrit güneş kollektörünün BIG sisteminde ana bileşen olarak seçilip ve tasarlama süresini incelemişlerdir. Araştırma kapsamında güneş kollektörünün tasarımı üzerinde önemle durulmuştur. Tasarım kapsamında ince membranlı ısı borulu güneş kollektörü ve hibrit ısı borulu güneş kollektörleri dahil olmak üzere birçok seçenek dikkate alınarak incelenmiştir. İnceleme kapsamında teorik ve deneysel veriler kullanılarak performans karşılaştırılması yapılmıştır. Karşılaştırma sonunda hibrit güneş kollektörü için en iyi seçenek değerlendirilmiştir. İş akışkanı olarak n-pentan kullanan mikro türbini sistem için seçilmiştir. Sonuçlar kazan ve güneş kollektörlerinde elde edilen ısıyı BIG sisteminden elde edilen elektrik, sıcak su üretimini kW olarak belirtilir ve sistemin gaz tüketimini tahmin etmek için kullanılmıştır. Modelleme ve deneysel sonuçlar tasarlanan türbin sistemi için karşılaştırılmış ve sistemin enerji ve çevresel faydalarının analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda sistemin geleneksel elektrik ve ısıtma sistemleri ile karşılaştırıldığında yaklaşık 3150 kWh enerji tasarrufu sağlayacağını bildirmişlerdir. Ayrıca bu tasarrufun yılda 600 tona kadar karbondioksitemisyonunda azalmaya ve önerilen sistemin işletme maliyetinin de daha düşük olacağına değinmişlerdir [33-34].

Termodinamik açıdan enerjinin miktarının niceliğinin yanında kalitesinin de önemli olduğu bilinir. Bu enerji dönüşümleri neticesinde kalitesinin azaldığı yönünde olduğu açıklanmıştır. Bu sebeple tasarlanan sistemin ekserji verimine bakılmalıdır. Ekserji belirli bir durumdaki sistemin yapabileceği maksimum iş miktarıdır [35].

Termodinamiğin birinci yasası ile ikinci yasasının birlikte incelenmesi ekserji analizini meydana getirmiştir. Ekserji analizi kısaca belirlenmiş bir referans şartlarına göre sistemden alınabilecek maksimum potansiyeldir. Entropi üretimi ekserji analizinde dikkate alınacak en önemli unsurdur. Sistemi meydana getiren bileşenlerdeki ekserji yıkımının saptanabilmesiyle alakalı olarak verimin en yüksek elde edilmesi doğrultusunda en geniş analiz sağlar. Tasarlanan veya incelenen sistemin mükemmelle durumunun kıyaslanmasında termodinamiğin ikinci yasası en gerekli bir araçtır [36].

Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının resmi internet sitesinde yayınlamış olduğu verilerin ışığında Türkiye’de 2021 yılı itibarıyla enerji tüketiminin en çok olduğu sektör 26.1 % ile sanayi olmuştur. Sanayi sektörünün ardında 23,9 % konut ve hizmet sektörü oldu görülmektedir. Daha sonra bunu sırasıyla 22,3 % ile çevrim ve elektrik sektörü yer almaktadır. 19,2 % ile ulaştırma sektörü enerji tüketiminde yer almıştır. Tablo 1.1’de sektörler göre 1990 ile 2021 yılları arası enerji kullanımı verilmiştir. Bu verilere bakılarak üretim sektörü olan sanayi sektöründen sonra konut sektörü enerji kullanımında en üst sırayı almıştır. Başta nüfusun artması, teknolojinin ilerlemesi gibi konfor şartlarını etkileyen faktörler neticesinde konutlarda enerji tüketimi gün geçtikçe artmaktadır [37].

Tablo 1.1.Sektörlere göre 1990 ile 2021 yılları arası enerji kullanımı (Bin TEP) [37]

Yıllar	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2017	2018	2019	2020	2021
Enerji Ürünleri Arzı	52.465	62.968	79.428	88.672	105.888	129.139	145.305	143.666	144,21	147,17	159.432
Çevrim ve Enerji Sektörü	10.228	12.442	17.834	18.347	26.048	29.672	33.522	34.517	33,56	35,47	35.573
Sanayi	13.641	15.986	22.876	26.410	26.077	32.157	35.329	36.277	34,30	36,26	41.614
Ulaştırma	8.723	11.077	12.007	13.849	16.314	24.936	28.425	28.452	27,69	26,97	30.562
Mesken ve Hizmetler	15.356	17.514	19.557	22.285	27.762	32.329	36.013	33.074	35,61	37,23	38.121
Tarım ve Hayvancılık	1.956	2.556	3.073	3.359	3.736	3.932	4.273	4.381	4,71	4,98	5.129
Enerji Dışı Tüketim	2.543	3.087	3.455	4.089	5.314	5.652	7.372	6.296	7,08	7,58	7.717

1.2. Küresel Isınma

Küresel ısınma terimi, genel olarak dünya yüzey sıcaklığının yıllık ortalamasının belirli zaman dilimlerine göre yüksek oranda artmasıdır. Yapılan araştırmalara göre bu artışın ölçüsü 1.5 °C ile 4 °C arasındadır. Yıllık ortalama sıcaklıkta böyle bir değişimin meydana gelmesi sonucu iklim yapısında önemli değişikliklerin meydana gelmesi kaçınılmaz olmaktadır. Sıcaklıktaki artış nedeniyle yağışların dağılımı değişebilir ve hava olaylarının şiddetini de etkileyecektir. Örneğin şiddetli kasırgalar ve tayfunların görülmesi artacaktır. İklim belirleme hakkında kullandığımız

değişkenlere de etkisi olacaktır. Birçok bilim insanı bu etkilerin atmosferde karbondioksit ve diğer gazların birikiminin önemli ölçüde etkisi olduğunu bildirmektedir. Atmosferde biriken bu zararlı gazlar veya sera etkisi özelliğine sahip gazlar ısı radyasyon ile yeryüzünden yansıyan ısıнын atmosferde tutulmasına etki ederek dünya yüzeyinin ısıнын artmasına sebebiyet vermektedir. Atmosferde bulunan sera gazlarının artmasının temel sebepleri aslında çevremize baktığımızda rahatça anlayabiliriz. Evimizde, okulumuzda ve iş yerimizde kullanılan enerjinin üretiminden tüketimine kadar olan safalar da saklıdır. Ateşin keşfinden günümüze kadar yakıt yanması neticesinde atmosfere karbondioksit salınımı gerçekleşmektedir. 1700’lü yıllarda endüstri devriminden sonra fosil kaynakların önemi artmış ve bu kaynakların kullanımı neticesinde yüksek oranda karbondioksit atmosfere salınımı gerçekleştirilmiştir. Endüstriyel ve yaşam alanında enerji ihtiyacının karşılanmasında her yıl 7 Gigaton (Gt) karbondioksit salınımı gerçekleşmektedir. Teknolojik ilerlemelerin artması ile içinde yaşadığımız çevre ve dünyayı değiştirme potansiyelimizde artmaktadır [38].

Hoel ve Kverndokk [39] yapmış oldukları incelemede, küresel ısınmanın gelecekte çevre üzerinde ciddi etkileri olacağını bildirmişlerdir. Burada küresel ısınmada % 70-75 oranında en büyük etkiye sahip fosil kaynakların yakıldıklarında meydana gelen karbondioksit gazının etkili olduğunu bildirmişlerdir. Birçok araştırmacı küresel ısınmanın ekonomi üzerindeki etkilerini incelediklerini, fosil yakıtların kullanımı neticesinde tükeneceği durumu göz önüne almadıklarını, ayrıca fosil kaynakların kullanımı ve tükenmesinin birlikte incelendiği araştırmaların pek fazla olmadığına değinmiştir.

Küresel ısınma terimi bilinçli olarak yanlış bilgilendirilmiştir. Bu konunun siyasi tarihini anlamak ve fosil yakıt üreticileri ile bu alanın diğer ilgili tarafların günümüzdeki sorumluluklarını değerlendirmek açısından kritik önem taşımaktadır. Yeni keşfedilen arşiv belgeleri ışığında Amerikan Petrol Enstitüsü’nün 1980’de iklim değişikliği hakkında yanlış ve yanıltıcı bilgilerle yaklaşık on yıl olumlu kamu politikalarını petrol sektörüne pozitif fayda sağlamak amacıyla bilgiler yaydığı tespit edilmiştir [40].

2019 yılının sonlarına doğru Çinli bazı doktorlar ve sağlık bilimi araştırmacıları ilgilileri çeken yeni bir virüsle karşılaşmışlardır. İlk virüs vakası Kasım 17 de görülmüş ve birçok insan her gün enfekte olmaya başlamıştır. Aralık sonuna doğru otuza yakın insan bu virüsten etkilenmiştir. Yapılan incelemeler neticesinde COVİT virüsü MERS gibi virüslere nazaran daha hızlı yayılma hızına sahip ve daha tehlikeli olduğu bildirilmiştir. 2019 yılının sonu ve 2020 yılının başlangıcında bu virüs tüm dünyaya yayılmaya başlamıştır. Bu hastalığın böyle hızlı yayılması ve ölümcül etkilerinin olması neticesinde birçok alanda karantina uygulamaları ve uzaktan çalışma sistemine geçilmiştir. Alınan tedbirler doğrultusunda ulaşım ve taşıma amaçlı otomobil, kamyon, uçak, gemi ve tren gibi araçların kullanılmaması, üretimin azalması ve bazı kısıtlamalar neticesinde küresel ısınmaya etkisi olan sera gazlarının miktarı önemli ölçüde atmosferde azalmaya başlamıştır.

Uluslararası Enerji Ajansı'nın (UEA) 2020 yılından sonra küresel ölçekli ham petrol tüketiminin azaldığı yönünde olduğunu bildirmiştir. COVİT salgınının enerji sektörü üzerinde de ciddi etkileri olduğunu bildirmiştir. Kömür, doğal gaz ve yenilenebilir enerji sektörlerine negatif olarak etkilemiştir. Bunların yanında en çok petrol sektörü etkilenmiştir. Yapılan bir araştırmada Çin'de petrol ve sıvı yakıt tüketiminin 190 bin varil gerilemiş olduğunu bildirilmiştir. Bu araştırmalar doğrultusunda fosil kaynaklı yakıtların kullanımının azalması atmosferde biriken sera gazının düşüşünde etkili olacağını göstermektedir [41].

1.3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Genel olarak tüm dünya için beklenen enerji krizi nedeniyle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin üç seçeneğinin var olduğu düşünülmektedir. Bunlar ya daha fazla petrol çıkarılması, enerji kullanım alanlarında agresif bir şekilde enerji tasarrufu yapılması ya da yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaşmasını artırmaktır. Fosil kaynakların dünya genelinde rezerv olarak sınırlı olması, artan talepler ve çevresel etkiler nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ihtiyaç artmaktadır. Yenilenebilir enerji, doğal süreçlerle makul oranlarda sürekli olarak yenilenebilen bir enerji biçimidir. Yenilenebilir enerji teknolojileri bu yakıtları kullanılabilir enerji biçimlerine dönüştürür. Bu enerji genellikle elektrik enerjisidir. Aynı zamanda ısı enerjisi kimyasal enerji veya mekanik enerjiye de çevrilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları şu şekilde sıralanabilir:

- Güneş
- Biyokütle
- Rüzgâr
- Hidroelektrik
- Jeotermal
- Dalga
- Hidrojen

Güneş ışınımı, rüzgâr, biyokütle, su(hidroelektrik), jeotermal ve dalga hareketi gibi doğal olarak eski formuna gelen kaynaklardan üretilen enerjiye Yenilenebilir Enerji (YE) denir. Yenilenebilen enerji kaynakları görünür atığı olmayan kaynaklardır ve kullanımı neticesinde eski kapasitesine dönebilmektedir. Fakat günün veya yılın her zamanında aynı miktarda bulunamamaktadır. Bu sebeple YE kaynaklarından üretilen enerji elektrik olarak veya farklı formlarda depolanması gerekmektedir [42].

Elektrik enerjisi fabrikalarda ürün üretiminden yaşam alanlarındaki elektrikli eşyaların kullanımına veya elektrikle şarj edilen araçlara kadar yaşamın birçok safhasında temel girdi olarak

kendini hissettirmektedir. Dünya genelinde oluşan bu gelişme sonucunda elektrik kullanımı her geçen yıl yaklaşık %4-5 miktarında artış göstermektedir [43].

YE kaynaklarının kullanımı ve yaygınlaşmasını teşvik eden birkaç temel faktör olmuştur. Bunların en önemlileri küresel ısınmanın fosil tabanlı kaynakların enerji oluşturması amaçlı yanmasından kaynaklanan karbondioksit (CO₂) emisyonuna bağlanmasıdır. Bununla alakalı olarak sera gazı emisyon limitlerinin Kyoto protokolü gibi uluslararası antlaşmalarla kontrol altına alınması çabalarıdır. Ayrıca enerji güvenliği arayışı, geleneksel fisyon nükleer enerjisine karşı oluşan tereddütler ve füzyon nükleer enerjisinin uygulanmasında çok ilerlemenin olmamasıdır. Dahası, son yıllarda enerji talebindeki artış ve ekonomik krizin sona erdiğinde beklenen refah seviyesinin artışıyla daha yüksek bir YE kaynaklarının kullanımı düşünülmektedir [44].

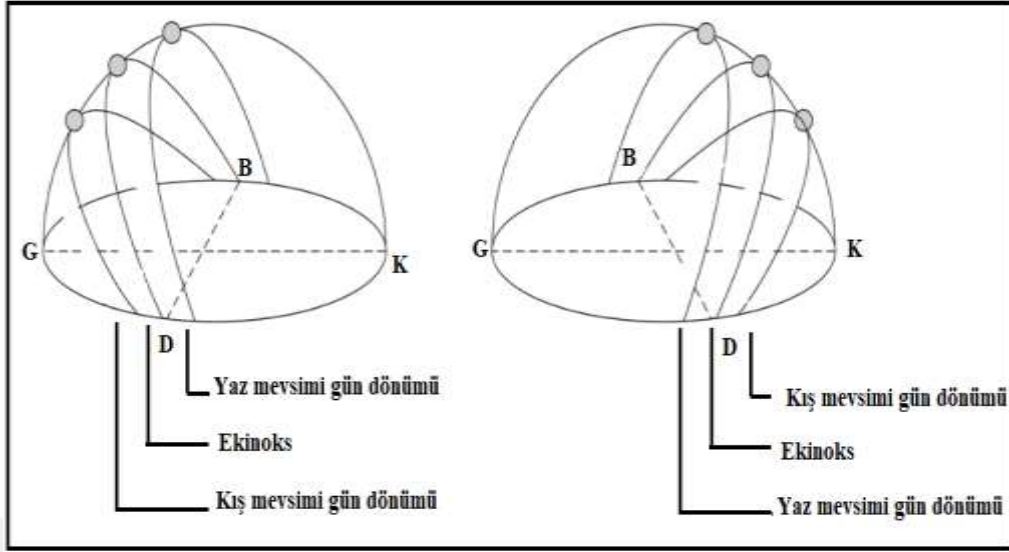
1.3.1. Güneş Enerjisi

Doğal olarak güneş insanlığın binlerce yıl boyunca dikkatini çekmiştir. Güneş enerjisinin potansiyelinde ısı enerjisi ve elektrik enerjisinin olması modern olarak bir alanda çok farklı şekilde kullanılmasına rağmen fosil kaynakların maliyetlerinin ucuz olması nedeniyle tüm dünya üzerinde enerji kaynağı olarak güneş enerjisinin kullanımı henüz tam adaptasyon sağlayamamıştır. Dünya yüzeyine ulaşan güneş radyasyonun miktar ve yoğunluğu güneş ile dünya arasındaki geometrik ilişki ile alakalıdır.

Güneş enerjisi yapmış olduğu etki ve sistemlerdeki gerekliliği itibarıyla, dünyadaki bitkiler, hayvanlar, insanlar ve diğer canlıların hayatlarının devamı için gerekli güç kaynağıdır. Güneş enerjisi günümüzde ve gelecekte tüm toplumların temiz ve bol enerji kaynaklarına olan ihtiyaçlarını karşılamaları için uygun bir çözüm sunmaktadır. Güneş'in çekirdeğinde hidrojenin helyuma dönüşmesi sırasında meydana gelen nükleer reaksiyonlar neticesinde önemli miktarda enerji çıkışı olmaktadır. Güneş enerjisi jeopolitik konum ile alakalı olarak çevreye ve küresel iklim sistemine herhangi bir kirlenici etkisi olmayan enerji kaynağıdır.

Elektromanyetik dalga ile taşınan güneş enerjisi foton olarak bilinmektedir. Büyük miktar ve farklı formlarda gelen güneş enerjisi birçok alanda kullanılmaktadır. Direkt olarak gelen güneş enerjisi atmosferde bulunan havanın ısınması ile rüzgârların oluşumuna sebebiyet vererek rüzgâr enerjisinin kullanımına olanak sağlamıştır. Dünya yüzeyinde bulunan suyun ısınarak buharlaşması ve tekrar yağmur olarak yeryüzünde suyun hareket enerjisine dönüşmesinde etkili olmuştur.

Gün uzunluğu güneşin ufuk üzerinde olduğu ve bu ufuk üzerinde hareket ettiği süreye göre belirlenir. Yıl boyunca bu süre güneş ve dünya arasındaki geometri ile alakalı olarak değişir. Dünya ile güneş arasındaki bu geometrik mesafe ilişkisi yıl boyunca açık bir şekilde görünür. Ayrıca dünyanın eğimi bir gözlemcinin kuzey veya güney yarım kürede olup olmamasına bağlı olarak değişir. Şekil 1.3'de güneşin kuzey ve güney yarım kürede yıl boyunca hareketi neticesinde konumu verilmiştir [45].

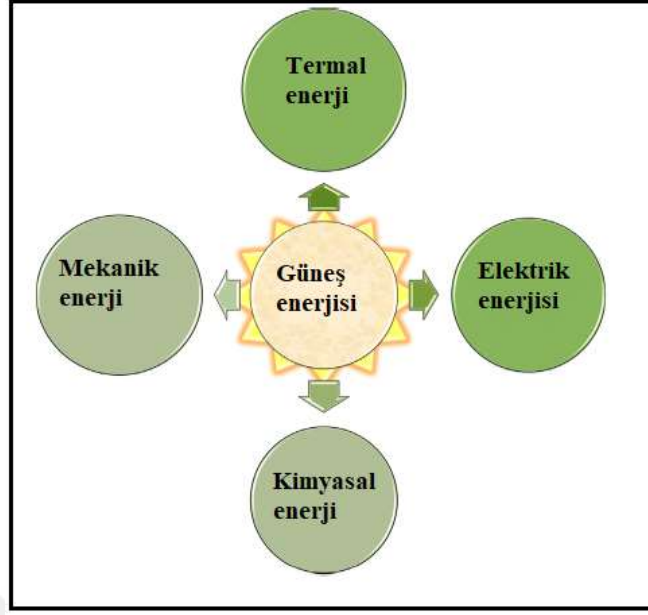


Şekil 1.3. Güneşin kuzey ve güney yarım kürede yıl boyunca hareketi neticesinde konumu [45]

İçinde yaşamız olduğumuz çağda ihtiyaç amaçlı veya lüks makinaların önemi büyüktür. Makinalar görevlerini gerçekleştirmek için sürekli enerjiye ihtiyaç duymaktadırlar. Devamlı olarak artan enerji talebini çevreye zarar vermeden karşılamak her zaman bilimsel araştırmacıları endişelendirmiştir. Sınırlı geleneksel kaynaklardan üretilen enerjinin, çevre üzerinde gözle görülür kirlenmeler, asit yağmurları ve küresel ısınmaya neden olduğu bilinmektedir. Bu sebeple yenilenebilir enerji kaynaklarından temiz enerji üretimi acil ihtiyaçlar içine girmiştir.

Yenilenebilir olan enerji kaynakları arasında güneş potansiyelinin çok olması, ticari ve bireysel olarak kullanılabilmesi gibi özelliklerinden dolayı güneş enerjisi diğerlerine göredaha umut vericidir. Şekil 1.4’de güneş enerjisinin farklı formlara dönüştüğü gösterilmiştir.

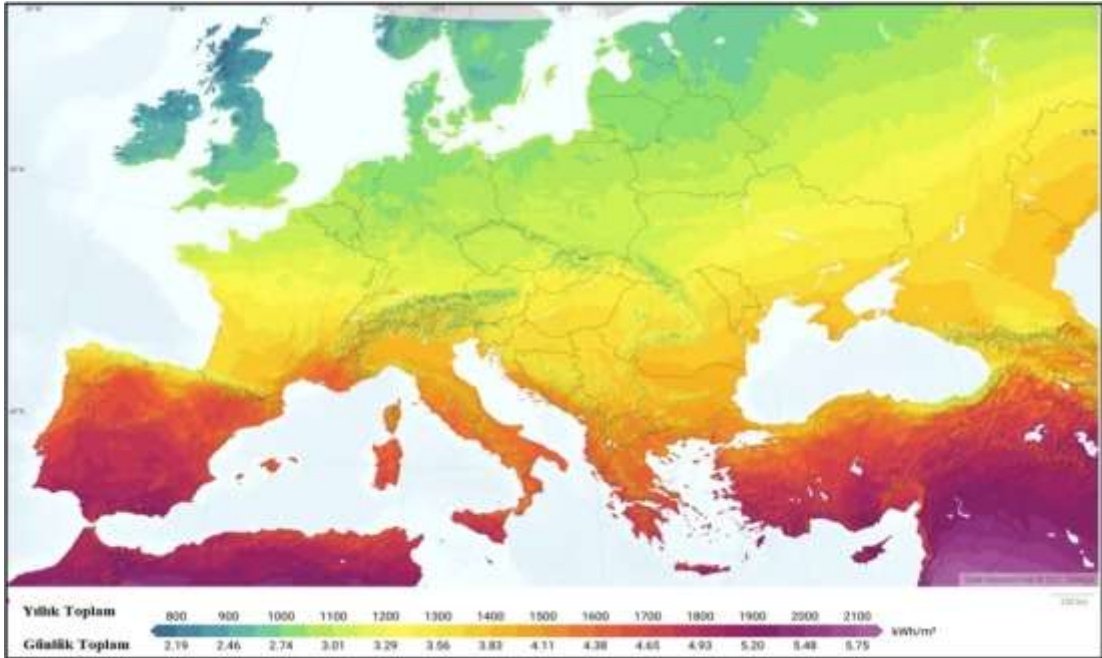
Güneş enerjisi doğada bitkilerin fotosentez yapmasının sonucu kimyasal olarak depolanmaktadır. Su moleküllerinin yeryüzünden buharlaşarak yağmurların oluşması tekrar yeryüzüne yağarak barajlarda ve rüzgârların oluşumu sonrası rüzgâr türbinlerinde mekanik enerjiye dönüşmüştür. Güneş enerjisinin fotovoltaik panellerde direk olarak elektrik enerjisine dönüşmektedir. Ayrıca güneş enerjisi güneş kolektörlerinde absorbe edilmesi neticesinde ısı enerjisi olarak depolanmaktadır [46].



Şekil 1.4. Güneş enerjisinin farklı formlara dönüşü [46]

1.3.2. Türkiye'nin Işınım Enerjisi Potansiyeli

Ülkeler dünya üzerinde coğrafi konum itibarıyla birçok faydalar elde etmektedir. Bunlardan biri yenilenebilir enerji potansiyelidir. Örneğin Türkiye etrafının denizlerle kaplı olması ve ekvatora konum itibarıyla yakın olması neticesinde başta güneş enerjisi olmak üzere rüzgâr ve hidrolik enerjiden faydalanmaktadır. Şekil 1.5'de Avrupa kıtasının Türkiye ile birlikte güneş radyasyon elde etme potansiyeli verilmiştir [47].



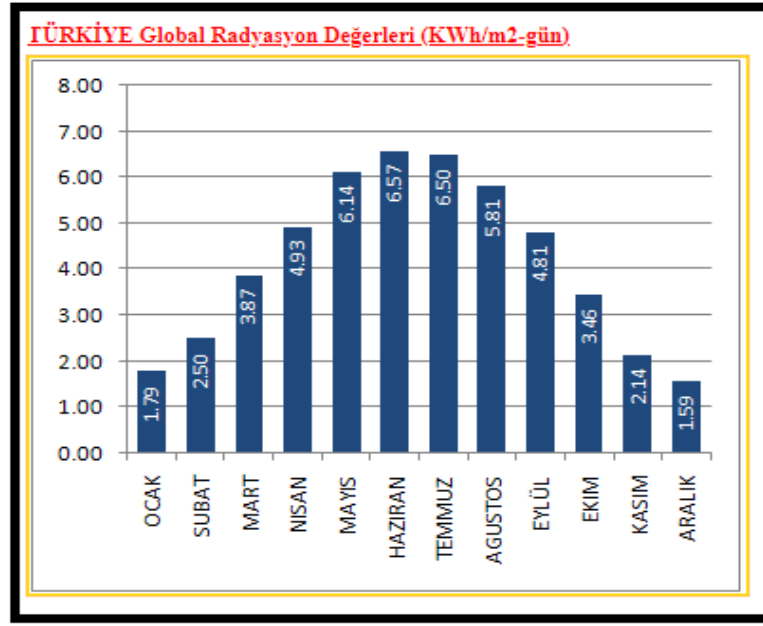
Şekil 1.5. Avrupa kıtasının Türkiye ile birlikte güneş radyasyon elde etme potansiyeli [47]

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yapılan incelemeler sonucunda Türkiye'nin tüm şehirlerinin iklim verilerinin yanında güneş ışıınım verileri de toplanmıştır. Bu veriler doğrultusunda yıllık güneşlenme 2741 saat olarak hesaplanmıştır. Ayrıca 1527,46 kW/m² toplam ışıınım şiddeti belirlenmiştir. Türkiye'nin ışıınım şiddeti bilgileri ile güneş ışıınım potansiyel atlası hesaplanmıştır (GEPA). Şekil 1.6'da Türkiye'nin Güneş Enerji Potansiyeli Atlası (GEPA) gösterilmiştir [48].



Şekil 1.6. Türkiye'nin Güneş Enerji Potansiyeli Atlası (GEPA) [48]

Türkiye'nin dünya üzerindeki konumu ile alakalı olarak güneşten gelen radyasyon miktarı aylara göre değişmektedir. Şekil 1.7'de görüldüğü üzere ışıınım şiddetinin en yoğun olduğu ay Haziran ayı olmuştur. Günlük 4 kWh/m² üzerinde ışıınım alan aylar Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül olmuştur. Yıllık zamanda en düşük ışıınım şiddetinin olduğu ay Aralık ayı olmuştur [48].



Şekil 1.7. Türkiye'nin aylık ışıınım şiddetinin değişimi [48]

Hibrit ısıtma sisteminin kurulacağı Elazığ ili Türkiye'nin diğer birçok ili gibi yüksek güneş ışıınımı alma kapasitesine sahiptir. Ancak burada önemli olan arazinin yapısıdır. Aşırı engebeli, kayalık ve enerji nakil hatlarına uzak yerlere güneş enerji santrali (GES) kurulamayacağı gibi tarım arazilerinde de kurulması uygun değildir. Şekil 1.8'de Elazığ ili güneş enerjisi potansiyeli verilmiştir.



Şekil 1.8. Elazığ ili güneş enerjisi potansiyeli [48]

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın Elazığ ili için yayınlamış olduğu güneşlenme potansiyeli haritasına bakıldığında güneş ışıınım değeri ilçelere göre farklılık göstermektedir. Elazığ'ın kuzey yönündeki bölgelerinde 1550 kWh/m² civarlarında seyrederken Elazığ'ın güneye

bakan Baskil, Sivrice ve Maden gibi ilçeleri 1750-1800 kWh/m² civarında yıl genelinde ısıtım alma kapasitene sahiptir. Böylelikle Elazığ il sınırlarının birçok yerinde güneş enerjisinden yüksek oranda faydalanılır [49].

Yapılan incelemeler neticesinde, Elazığ ilinin merkez ilçesinin global aylık radyasyon değerleri ve güneşlenme süresi aylık bazda ortalama güneşlenme saatleri Şekil 1.9’da verilmiştir. Işıtım şiddeti en çok Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında olmuştur. Işıtım şiddetinin en yüksek verim olduğu Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim ayları olup günlük güneşlenme süresi 7 saatin üzerinde olmaktadır. Şekil 1.9’da Elazığ merkez ilçesinin ısıtım şiddeti değişimi ve aylık güneşlenme süreleri verilmiştir.



Şekil 1.9. Elazığ merkez ilçesinin ısıtım şiddeti değişimi ve aylık güneşlenme süreleri [49]

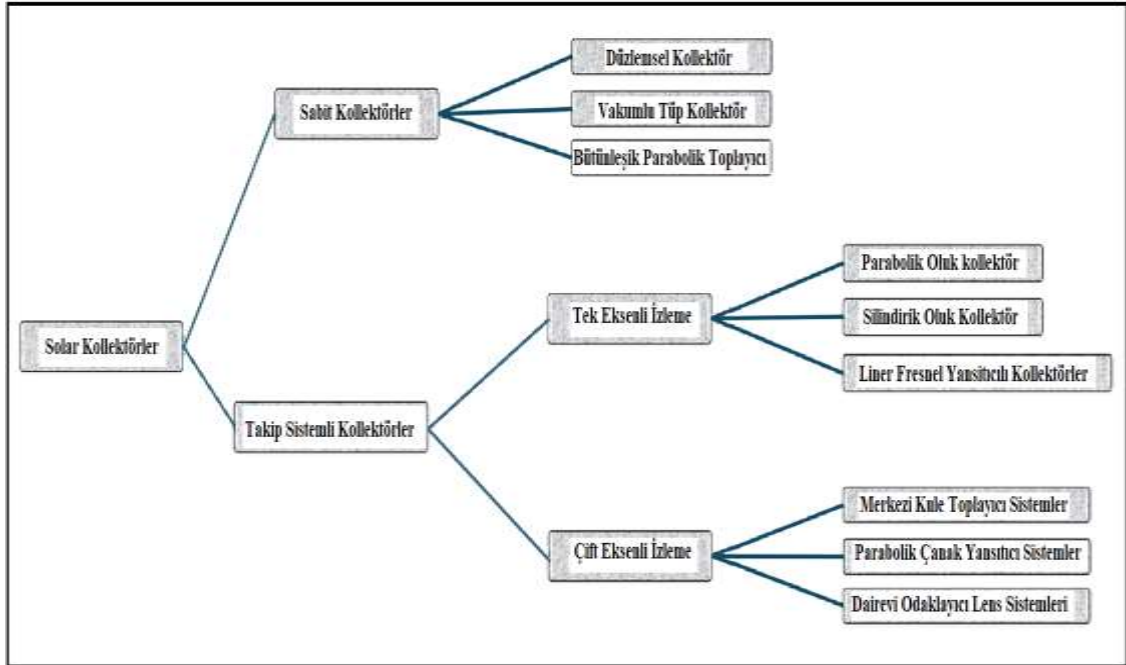
Deney düzeneği, hibrit ısıtma sisteminin Elazığ ilinin merkez ilçesinde olması nedeniyle yüksek ısıtım ve güneşlenme süresi almaktadır. Bu sistemin boyutlandırılması açısından büyük önem kazanmaktadır. Elazığ ili haritasına bakıldığında projenin kurulumu gerçekleştirilen merkez ilçesi diğer ilçelere nazaran daha güneyde olması hibrit ısıtma sisteminin güneş ısıtımından daha çok faydalanmasında etkili olmuştur.

2. GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ

Güneş kollektörleri güneşten gelen radyasyonları absorbe etmesi neticesinde ısı enerjisi depolayan cihazlardır. Güneş enerjisinden elde edilen ısı enerjisi akışkan üzerinde depolanarak spesifik amaç için kullanılır. Şekilde 2.1’de güneş kollektörlerinin sınıflandırılması verilmiştir.

2.1. Güneş Kollektörlerinin Çeşitleri

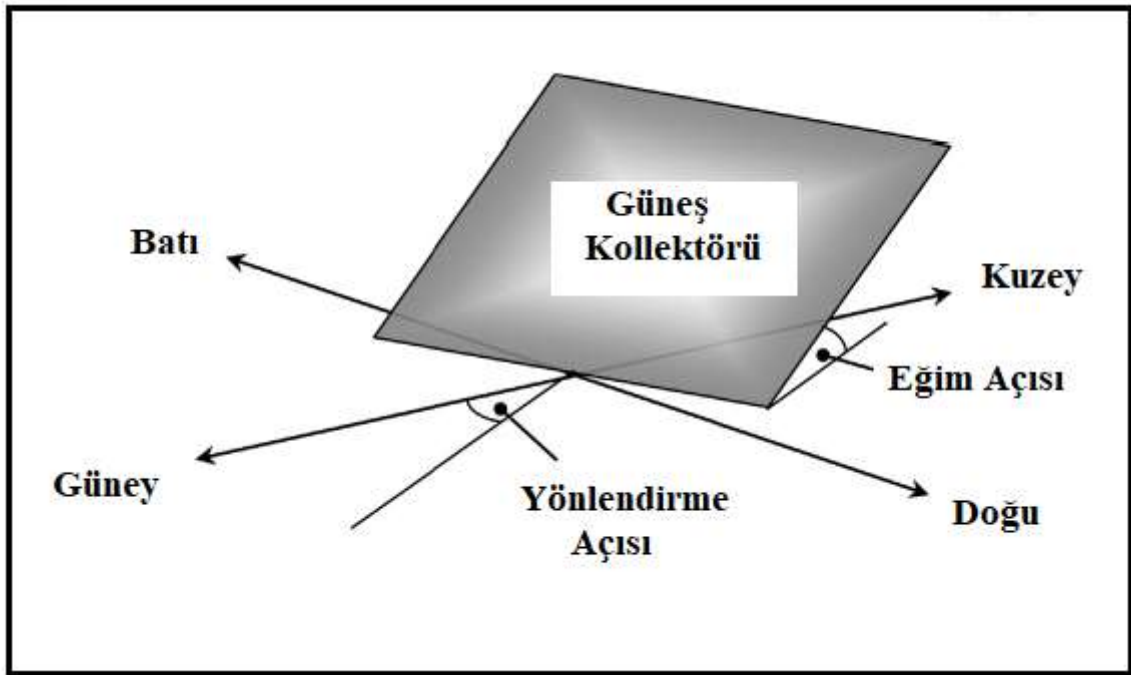
Güneş kollektörleri genel olarak takip sistemli ve takip sistemi olmayan kollektörler olarak ikiye ayrılır. Takip sistemi olmayan kollektörler sabit veya hareketsiz kollektörlerdir. Takip sistemli kollektörler ise güneşin doğduğu an ile batacağı ana kadar hareketi süresince takip ederek güneşten genel radyasyonu 90° açı ile kollektör üzerinde absorbe edilmesini sağlayan sistemlerdir. Takip sistemli kollektörler tek eksenli ve çift eksenli olarak ayrılır. Takip sistemi olmayan sabit güneş kollektörleri düzlemsel kollektörler, vakumlu cam tüp kollektörler ve birleşik parabolik kollektörler olmak üzere ayrılırlar. Tek eksenli takip sistemli güneş kollektörleri parabolik oluk toplayıcı, silindirik oluk toplayıcı ve liner fresnel yansıtıcı olmak üzere üçe ayrılır. Merkezî kule toplayıcı sistemler, parabolik çanak yansıtıcı ve odaklayıcı (dairevi) kollektörler olarak çift eksenli sistemlerde ayrılmaktadırlar. Şekil 2.1’de güneş kollektörlerinin sınıflandırılması verilmiştir [46].



Şekil 2.1. Güneş kollektörlerinin sınıflandırılması [46]

Kollektör sisteminde iş akışkanı olarak su kullanılmış ise sistem güneş su ısıtıcısı olarak adlandırılmaktadır (solar water heater SWH). Sistemde iş akışkanı olarak hava kullanılmış ise güneş hava ısıtıcı olarak adlandırılmıştır (solar air heater SAH). Güneş enerjili su ısıtma (SWH) sistemleri güneşten gelen radyasyonun absorbe eden kollektörü ve sıcak su depolama tankından oluşmaktadır. Ayrıca güneş su ısıtma sistemleri aktif ve pasif olarak da ayrılmaktadır. Pasif sistemler suyun hareketinin termosifon etkisi ile gerçekleştiği için sistemde herhangi bir pompaya ihtiyaç duyulmamaktadır. Aktif sistemlerde iş akışkanının sistemde sirkülasyonu için pompa kullanılmaktadır [46].

Takip sistemi olmayan güneş kollektörleri güneşin gökyüzündeki konumuna bakmaksızın konumları sabit kalırlar. Bunun yanında kurulumu gerçekleştirilecek coğrafik konum veya enlemle alakalı olarak, güneş radyasyonundan maksimum yararlanmak için hesaplanmış eğim ve yönlendirme açılarında konumlandırılırlar. Şekil 2.2’de sabit kollektörlerin yön durumları ve açıları verilmiştir.



Şekil 2.2. Sabit konumlandırılmış güneş kollektörünün yön durumları ve açıları [46]

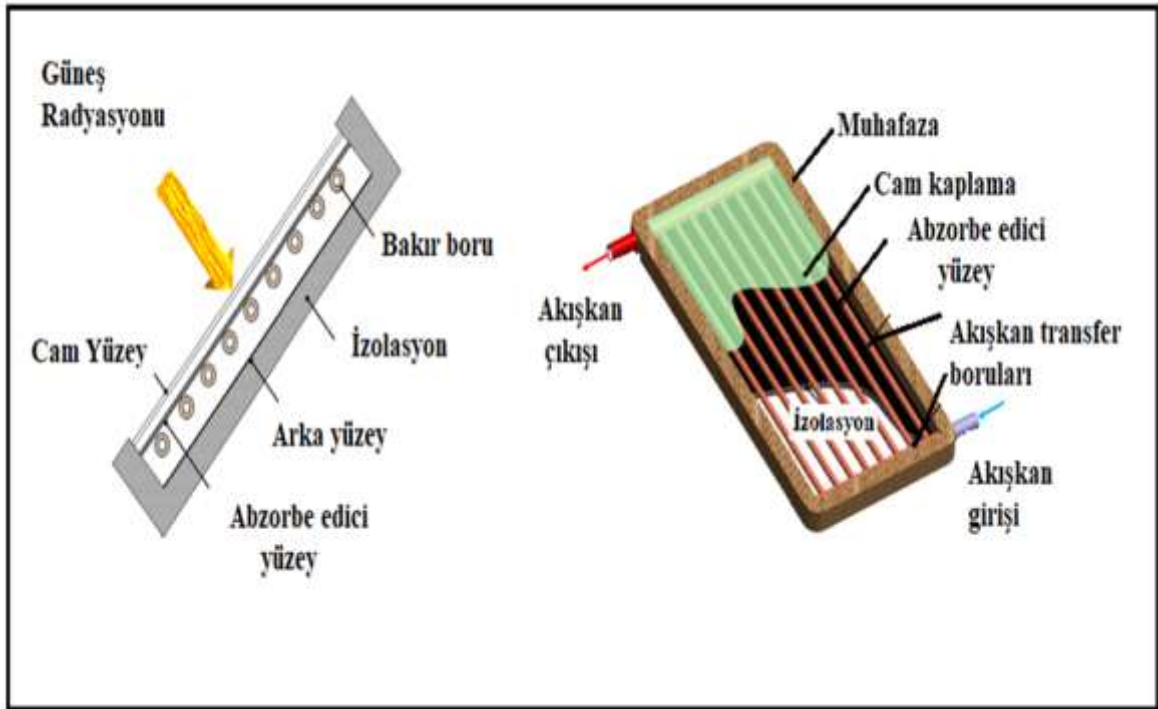
2.1.1. Düzlemsel Levha Kollektörler

Düzlemsel kollektörler birçok dünya ülkesinde sıcak su üretimi amaçlı kullanılmaktadır. Düzlemsel kollektörler ısı değiştirgeci gibi çalışırlar. Güneşten gelen radyasyonu ısı enerjisiye çevirirler. Bu sistemde ısı enerjisi elde etmede en önemli anahtar bileşen güneşten gelen radyasyondur. Düzlemsel güneş kollektörleri düşük sıcaklık uygulamaları olan su ısıtma sistemleri, bina ısıtma sistemleri ve endüstriyel işlemlerde yaygınca kullanılmaktadır. Güneş enerjisi

kollektörleri 1960’larda üretime başlanılmıştır. Teknolojinin ilerlemesi ile beraber absorbe edici yüzey ve iş akışkanının sirkülasyon yaptığı materyaller çeşitlenmiştir. Bunların başında bakır gelmektedir. Üretim maliyetlerinin artması ile alüminyum veya paslanmayan ve ısı iletim katsayısı yüksek olan alaşımlarda kullanılmaya başlanmıştır.

Genel olarak termosifon prensibi ile çalışan ve zorlanmış taşınımlı (pompa destekli) sistemler olmak üzere iki gruba ayırmak mümkündür. Bu tip solar kollektörlerin düşük kurulum maliyeti, güneş takip sistemine ihtiyaç olunmaması, düşük bakım ve işletim maliyetlerinin olması kullanım faydalarıdır [50].

Düzlemsel kollektörler genel olarak absorbe edici yüzey, güneşten gelen termal enerjinin iş akışkanına aktarıldığı ve iş akışkanının sirkülasyon yaptığı akışkan transfer boruları, sistemin muhafazası için metal çerçeve, cam kaplama ve alt izolasyon materyallerinden oluşur. Düzlemsel kollektörler sisteminde kullanılacak iş akışkanıyla alakalı olarak akış kanalları tasarlanır. Şekil 2.3’de düzlemsel güneş kollektörlerinin şematik görünümü verilmiştir.

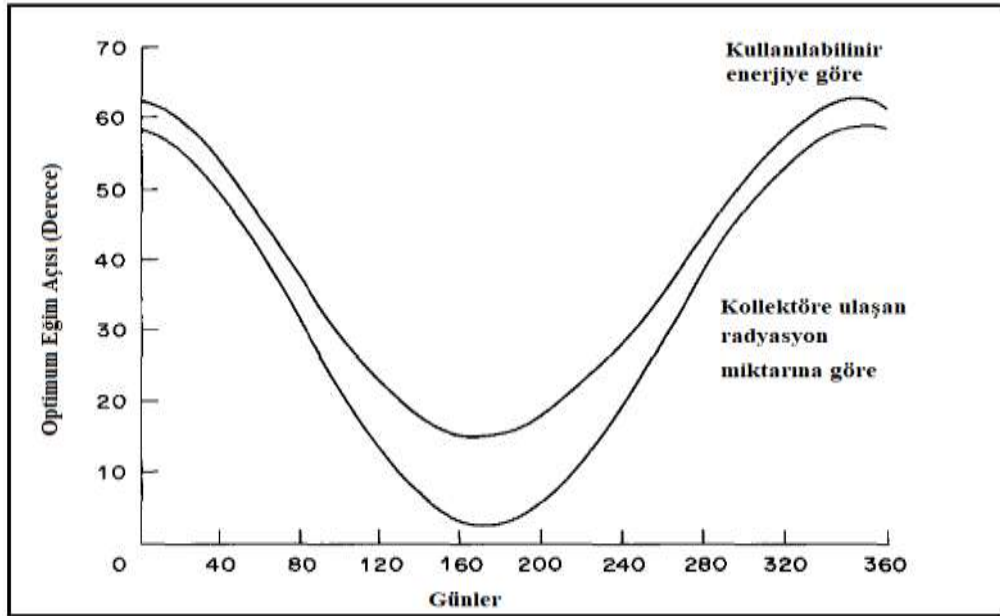


Şekil 2.3. Düzlemsel kollektörün şematik görünümü [50]

Düzlemsel güneş kollektörlerinin çalışma prensibi şu şekilde olmaktadır; güneşten gelen radyasyon cam kaplamayı geçerek absorbe edici metal veya başka bir materyalden yapılmış yüzey üzerinde soğutulmaya başlanılır. Bu yüzeyin ısınması neticesinde yüzeye birleştirilmiş iş akışkan kanalları bu ısıdan etkilenecek sıcaklığı artar. Kanalların ısınması sonucu ısı enerjisi bu kanallarda

olan iş akışkanına aktarılır. Böylelikle iş akışkanında sıcaklık güneşten gelen enerji ile ısıtılmış olunur.

Saraf ve Hamad [51] düzlemsel panellerin yatayla yaptığı açının verim üzerindeki değişimini incelemişlerdir. Yapmış oldukları incelemeler neticesinde düzlemsel panelin yatay açısının değişimi neticesinde güneş panelinde bulunan absorberin yüzeyine gelen radyasyon miktarının ve ısı kaybının değiştiğini bildirmişlerdir. Yapmış oldukları literatür araştırmasında kış uygulamalarında güneş panelin kurulumu gerçekleştirilecek bölgenin enlemi+15°, yaz uygulamalarında enlem-15° olarak hesaplandığını bildirmişlerdir. Ayrıca maksimum güneş enerjisinin kollektörden alınabilmesinde kollektörün sabit veya hareketli olmasına bakmaksızın güneş kollektörünün kuzey-güney doğrultusunda konumlandırılması gerektiğine değinmişlerdir. Bilgisayar programında yapmış oldukları hesaplamalar neticesinde yılın her gününe ait optimum eğim açısını belirlemişlerdir. Şekil 2.4’de yıl boyunca günlük eğim açısının değişimini grafikte göstermişlerdir. Sonuç olarak günlük eğim açısı 15 ile 63 derece arasında değişmiştir. Eğim açısının minimum olduğu ay haziran ayı, yatayla eğim açısının maksimum olduğu ay ise Aralık olduğunu bildirmişlerdir.



Şekil 2.4. Yıl boyunca günlük eğim açısının değişimi [51]

Wang ve arkadaşları [52] yapmış oldukları çalışmada, büyük ölçekli düzlemsel kollektörleri incelemişlerdir. Düzlemsel kollektörlerin çevresel ve işletim parametreleri haricinde boyutlarının da performansını etkileyeceğini bildirmişlerdir. Bu sebeple kollektör boyutlarının performans üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Büyük ölçekli ve ticari paralel bağlantılı düzlemsel kollektörlerin karşılaştırmasını yapmışlardır. Yapılan incelemede 2x2, 2x3, 2x4 ve 2x5 ölçülerinde

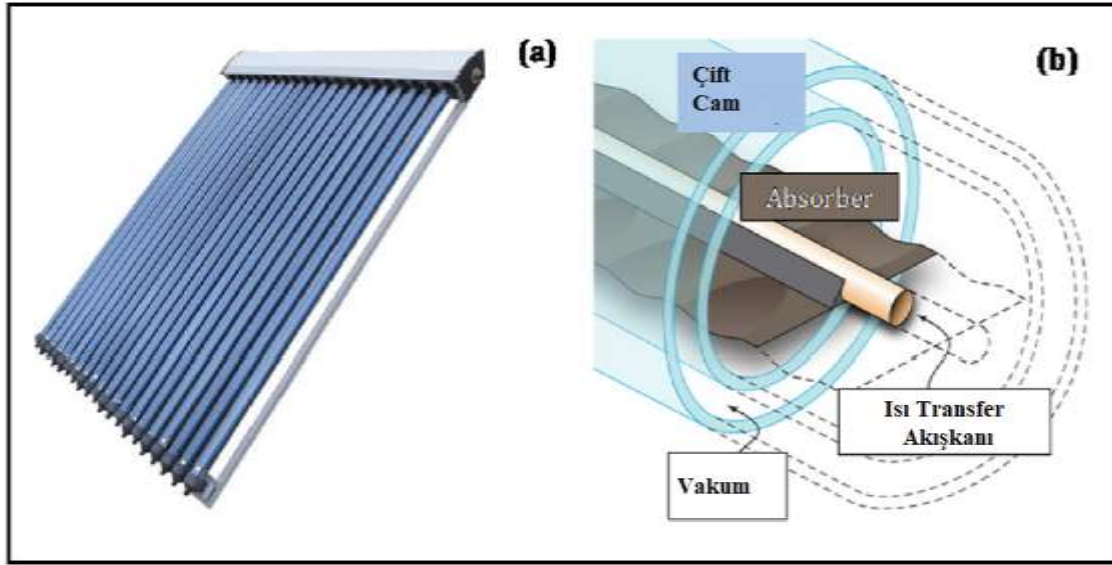
büyük ölçüde üretilmiş ısı kolektör incelenmiştir. İncelemede solar kolektör ölçüleri, ısı kazanım verimi, ısı kaybı, ısı kazanımı oranı ve diğer ısı performans indikatörlerine bakılmıştır. Ayrıca solar radyasyonun etkilerine, çevre sıcaklığına ve kütleli debinin büyük ölçekli düzlemsel panel solar kolektördeki etkileri incelenmiştir.

Gazi ve arkadaşları [53] düzlemsel panel güneş kolektörlerinin performans artırılması üzerine bazı incelemelerde bulunmuşlardır. İncelemeleri güneş kolektörlerinin güneş ışınımının geçtiği cam yüzeyinin kirlenmesi üzerine olmuştur. Cam yüzeylerin üzerinde oluşan bu kirlenmeler performansı etkileyen doğa olaylarından olmaktadır. 1942 yılından 2014 yılları arasında toz, su lekeleri, dumandan meydana gelen karbon, tarım bölgelerinde oluşan polen vb. gibi biriken parçacıklar nedeniyle güneş enerjisi ile çalışan bu sistemlerin verimliliğinin artırılması hakkında önemli çalışmalar yapıldığını bildirmişlerdir. Verimliliğin düşmesi neticesinde enerji sistemlerinin aşırı boyutlandırılmasından, sistemin kapladığı alan ve sistemin kirlenmesi durumunda temizlenmesi için oluşan ek maliyetler önemli ölçüde artmaktadır. Güneş kolektörleri ışıını kayıplarını en aza indirgenerek çalıştırılması durumunda mevcut sistemle yüksek verim elde edilmesine ve ek maliyetlerle karşılaşmayacağını bildirmişlerdir. Bu sebeple üç farklı zaman diliminde araştırma gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak dünyanın en çok toz biriktirme konumları olarak Afrika'nın doğu, kuzey ve orta kesimleri belirlenmiştir.

2.1.2. Vakumlu Tüp Kolektörler

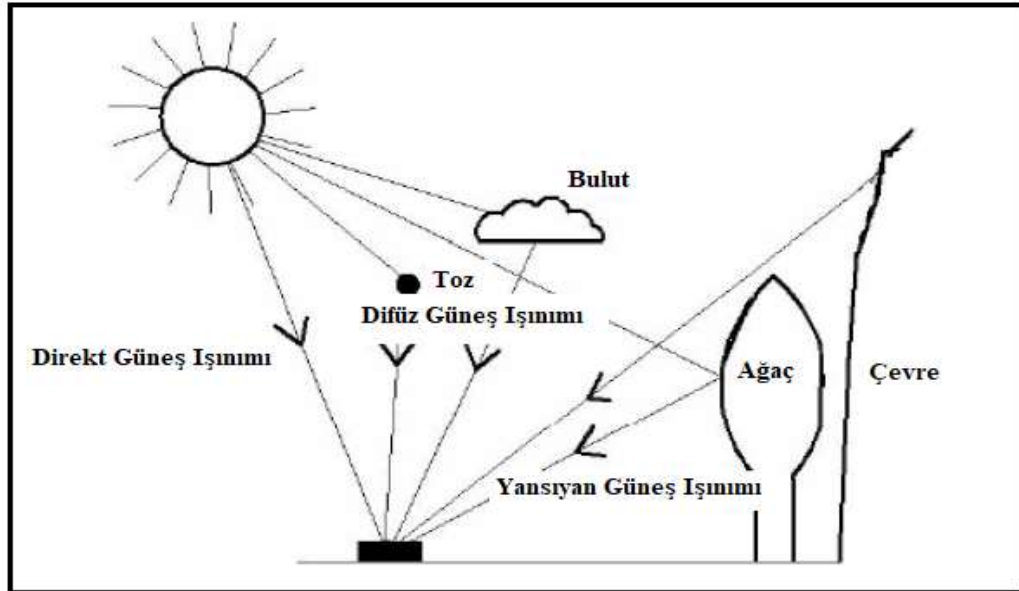
Düzlemsel güneş kolektörleri çok basit bir yapıya sahiptirler. Bu kolektörlerin üretimi, kurulumu, az bakım gerektiren yapısı vardır. Bu sebeple yüksek bir maliyete sahip değildir. Ancak düşük ısı performansı ve yüksek ısı kaybetme özelliği kullanım ve yaygınlaşması açısından önemli dezavantajdır. Vakumlu güneş kolektörleri düzlemsel kolektörlere göre daha yüksek kapasitedeki ısı kazanımı ve düşük ısı kaybı özelliği ile daha kullanışlı olup daha yaygın olarak tercih edilmektedir. Günümüzde vakumlu güneş kolektörleri % 68,8, düzlemsel kolektörler %26,7 ve camsız güneş kolektörleri ise % 6,3 oranında kullanım yüzdelere sahiptir [54].

Vakumlu tüp kolektörler (VTK) üç kısımdan meydana gelmektedir. Bunlar vakumlu tüpler, vakumlu tüplerin engetre olduğu tank veya manifold ve bütün sistemi sabit durumda tutan iskelet yapısıdır. Vakumlu tüp kolektörlerin dairevi yapısı nedeniyle atmosferden ve çevreden yansıyan ışıını da absorbe edebilme kabiliyeti vardır. Bu sebeple güneş takip sisteminin kullanımına çok gerek yoktur. Şekil 2.5'de vakumlu güneş kolektörü ve vakumlu kolektör kesit görünümü verilmiştir.



Şekil 2.5. Vakumlu güneş kolektörü ve vakumlu kolektör kesit görünümü [54]

Güneşin iç yapısına yüksek sıcaklık ve basınçta meydana gelen termonükleer füzyon reaksiyonu sonucu hidrojen gaz moleküllerinin helyuma atomuna dönüşmesi sonucunda önemli ölçüde ısıtım enerji meydana gelmektedir. Güneşten nükleer reaksiyon sonucu enerji ısıtım olarak yayılmaktadır. ısıtımında birçok dalga boyu yapısında mevcuttur. Şekil 2.6'da güneşten dünyaya gelen direkt, diffüz ve yansıyan ısıtım gösterilmiştir.



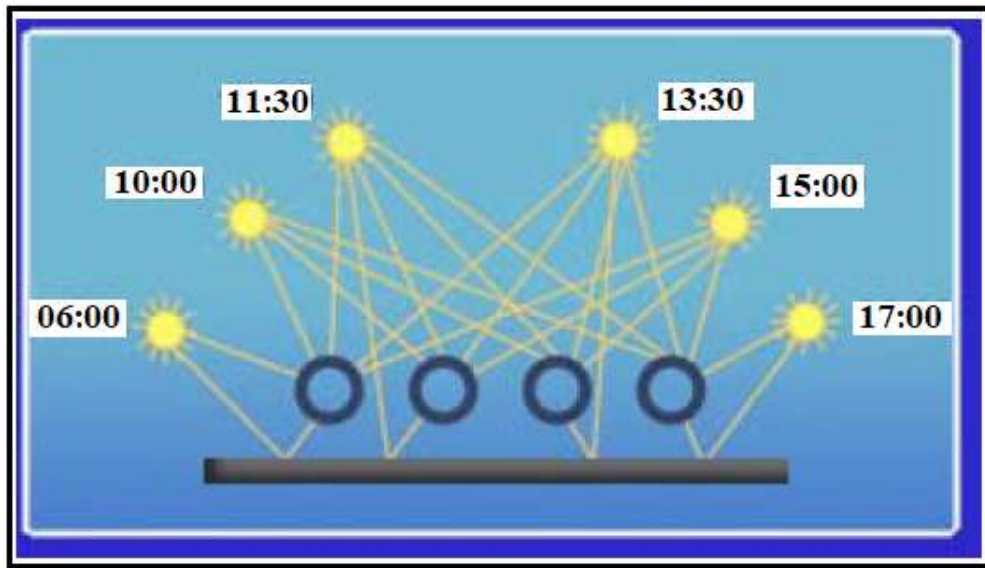
Şekil 2.6. Güneşten dünyaya gelen direkt, diffüz ve yansıyan ısıtım [54]

Güneş ışınlam verileri gerek fotovoltaiik panel olsun gerekse güneş kollektörleri olsun, ısıtma ve soğutma uygulamalarında mutlaka değeriendirilmesi gereken bir değeriendir. Herhangi bir yerde PV panel ile veya güneş kollektörü ile yapılacak sistem için ilk önce geçmiş yıllardan elde edilen ışınlam verileri ile sistem boyutlandırılması yapılır. Güneşten gelen ışınlamı solarimetre ve piranometre gibi cihazlarla ışınlam şiddeti ölçüür.

Eberlein vakumlu tüp kollektördeki ısı transferini inceleyen ilk araştırmacı olmuştur. Araştırma amacıyla matematiksel bir metot geliştirmiştir. Vakumlu tüp kollektörlerde iş akışkanı olarak havayı kullanmıştır. Yapmış olduğı araştırma kapsamında tüplerin dairevi olması nedeniyle önemli ölçüde ısı kaybının az olduğunu bildirmiştir. Bu kapsamda vakumlu kollektörlerin verim artırılması amacıyla önemli sayıda araştırma inceleme çalışması yapılmıştır. Farklı geometrik yapılara ve tasarımlara dayanarak VTK'ler yaygın olarak üç sınıfa ayrılmaktadırlar [54-56].

- Termosifon özellikli vakumlu tüp kollektörler(Water in glass tube-based collector)
- U borulu tüp kollektörler
- Isı borulu tüp kollektörlerdir.

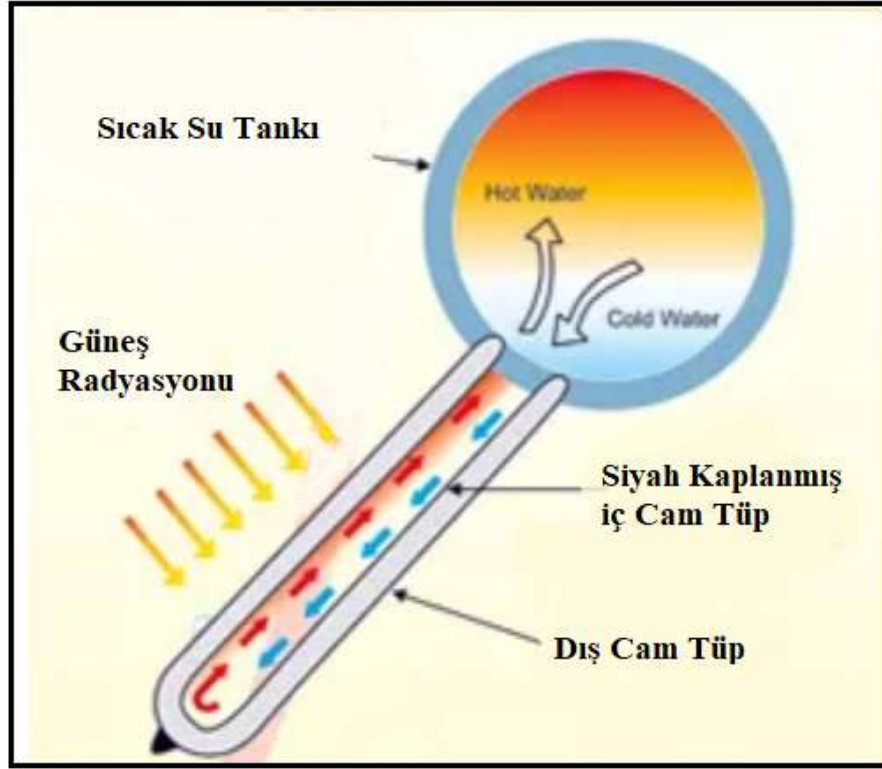
Vakumlanmış tüp kollektör sisteminde kullanılan cam tüp silindirik olması nedeniyle günün her saatinde güneşten gelen ışınlamı dik olarak alabilmektedir. Ayrıca vakumlu güneş kollektörün haricinde çevreye gidip yansıyan ışınlamdan da faydalanmaktadır. Ayrıca düzlemsel kollektörün yetersiz yalıtım malzemesi nedeniyle güneş battığında ve çok soğuk havalarda ısı kaybının yüksek olmasıyla depolanmış su çok çabuk soğumaktadır. Şekil 2.7'de vakumlu güneş kollektörün günün farklı zamanlarında aldığı ışınlam gösterilmektedir.



Şekil 2.7. vakumlu güneş kollektörün günün farklı zamanlarında aldığı ışınlamı [56]

2.1.2.1. Termosifon Özellikli Vakumlu Tüp Kolektörler

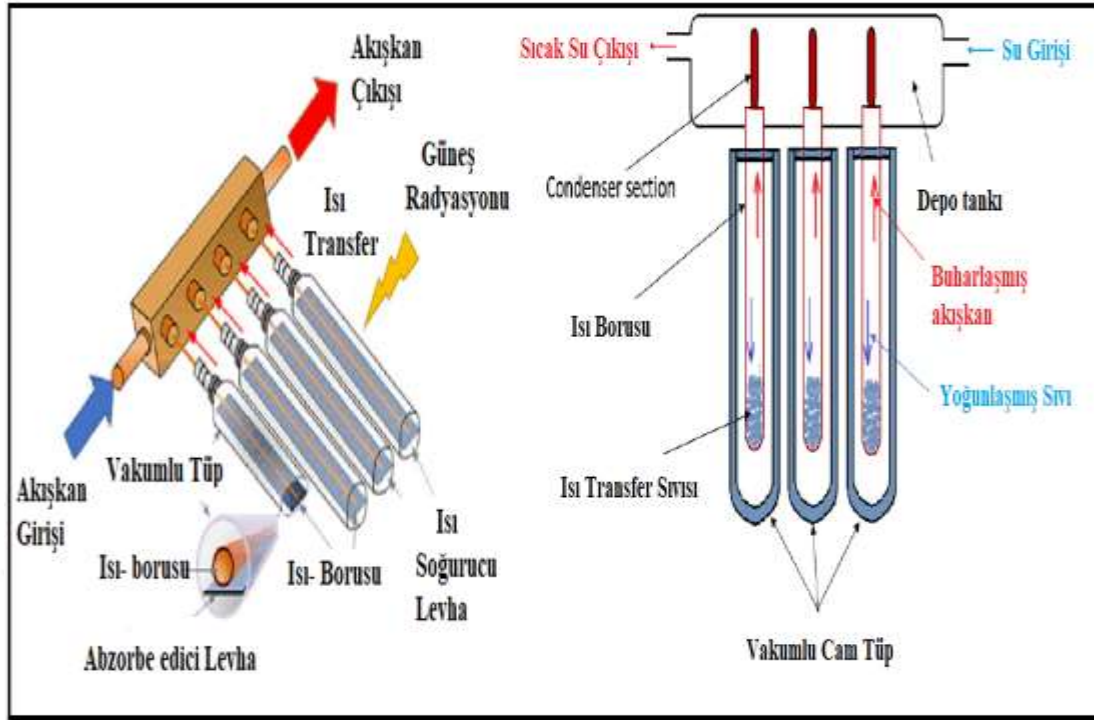
Bu tip kolektörler su dolu tüplerden yatay bir tanka veya bir manifoldtan geçmek suretiyle meydana gelmektedir. Cam boruların bir ucu kapalı olup boşluk dairevi bir şekilde iç borunun etrafını sarmaktadır. Bu boşluk sonucunda ısı kaybı en aza inmektedir. İç borunun dış yüzeyinde ışıınımı daha iyi absorbe edebilmesi için koyu renkli ve güneş ışıınımından bozulmayan bir malzeme ile kaplanmıştır. Termosifon özellikli vakumlu tüp güneş kolektörlerinin çalışma prensibi şu şekilde olmaktadır; Tanka dolan su yerçekiminin etkisiyle cam tüplerin iç kısmına dolar. Cam tüplerin iç kısmındaki su veya iş akışkanı güneşten gelen radyasyonu toplayarak ısıya dönüştürür. Tüpün iç kısmındaki suyun ısınması ile hacmi genişler ve özgül ağırlığı azalır, yoğunluğu azalan su yukarı doğru hareket eder. Bu tüpler çok yüksek basınçlarda çatlamalar veya tank-tüp bağlantısından sızıntılar meydana gelebilmektedir. Şekil 2.8’de termosifon etkili vakumlu tüpün çalışma prensibi şematize edilmiştir [56].



Şekil 2.8. Termosifon etkili vakumlu tüpün çalışma prensibinin şematik görünümü [56]

2.1.2.2. U Borulu Vakumlu Tüp Kolektör

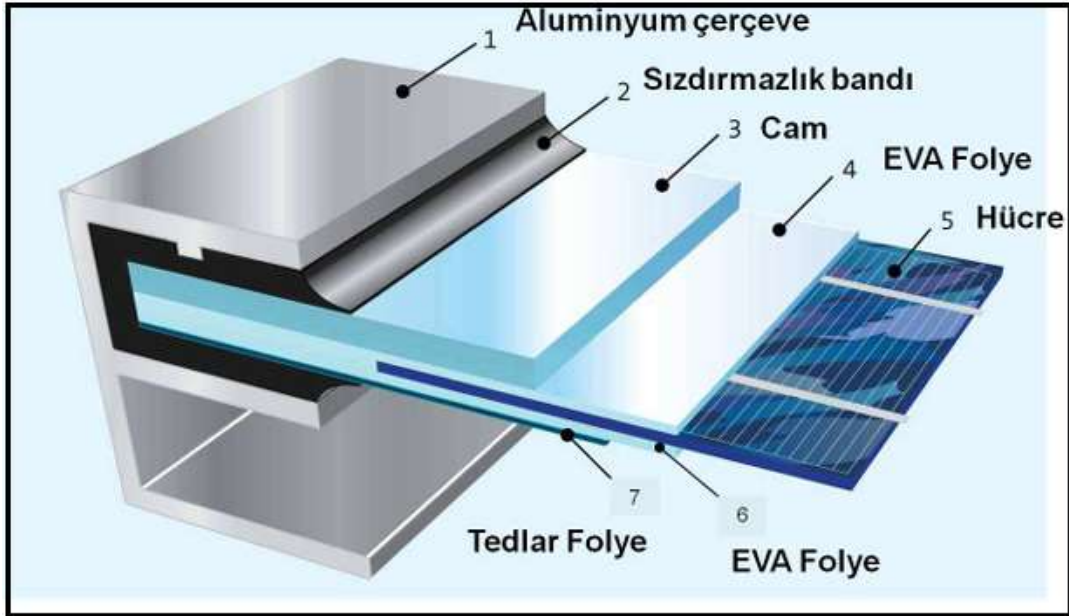
U borulu vakumlu tüp sisteminde aynı havası boşaltılmış vakumlu tüpü kullanılmaktadır. Bu U borulu kolektörlerin bazı modellerinde iç cam güneş ışıınımını daha iyi absorbe edebilmesi için koyu renkli kaplama kullanılmamış olup güneş ışıınımı direkt iç ortama girmektedir. Farklı olarak vakumlu tüp içinde U şeklinde bakır boru kullanılmış olup, ısı transferini artırmak için bakır boruya



Şekil 2.10. Isı borulu vakumlu güneş kolektörünün şematik görünümü [56]

3. FOTOVOLTAİK PANELLER

Fotovoltaik hücreler güneş enerjisinde bulunan enerjiyi doğrudan elektrik enerjisine çeviren temiz ve umut verici bir enerji kaynağıdır. Son yıllarda nüfusun hızlı artması, teknolojinin ilerlemesi ve fosil enerji kaynaklarının çevre üzerindeki ciddi olumsuz etkileri sonucu temiz enerji arayışı ve enerji talebi sürekli artmıştır [57-58]. Fotovoltaik (PV) hücreler üzerinde çalışmalar hızlı bir şekilde devam etmesine rağmen, bu hücrelerin verimliliği istenilen seviyede değildir. Bu hücrelerin verimliliği önemli ölçüde çevre koşullarına [59], hücre modülünün temel özelliklerine bağlı olduğu için hücre verim artırma çalışmaları devam etmektedir. Burada güneş enerjisinden elektrik üreten fotovoltaik güneş hücrelerinin çıkış gücünü etkileyen birçok parametre vardır. PV hücrenin yapımında kullanılan malzemeler, hücre üzerine gelen güneş radyasyonu yoğunluğu, sıcaklık, hücre tasarımı, hava koşulları, gölgelenme, malzeme kalitesi ve özellikler gibi maddeleri sıralayabiliriz. Yukarıda sayılan parametreler hücreden elde edilen çıkış gücünü değiştirdiği için optimize edilmesi büyük önem taşımaktadır [60]. Örneğin çöl veya aşırı tozlu bölgelerde PV panellerin ışıyım alan yüzeyleri tozla kaplanıp veya kirlenmektedir. Kirlenme sonucunda PV panelin üst kısmındaki cam koruyucu yüzeyden hücre üzerine çok az miktarda ışıyım geçerek verim önemli ölçüde negatif olarak etkilenmektedir[61-62]. Şekil 3.1’de standart yapıya sahip fotovoltaik panelin kesit görünümü verilmiştir [63].



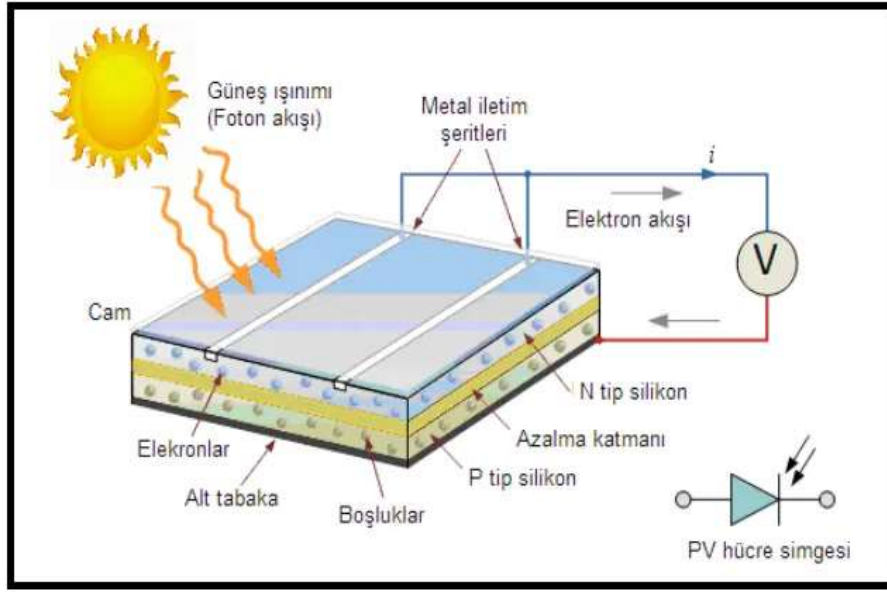
Şekil 3.1. Standart yapıya sahip fotovoltaik panelin kesit görünümü [63]

PV panellerin verim ve temizlik problemlerinin yanında kurulum ile ilgili güçlükler de vardır. Çünkü PV panellerin birçok uygulama alanı bulunmaktadır. Dört mevsim enerji üretebilmesi için PV paneller montaj için hesaplanan ve kurulum esnasında ayarlanan açı değerlerinde sabit kalması düşünülmektedir. Açı ve konum ile ilgili oluşacak herhangi bir değişim PV panel üzerine gelecek radyasyonun değişmesine etki edecektir.

3.1. Fotovoltaik Hücrelerin Tarihsel Gelişimi

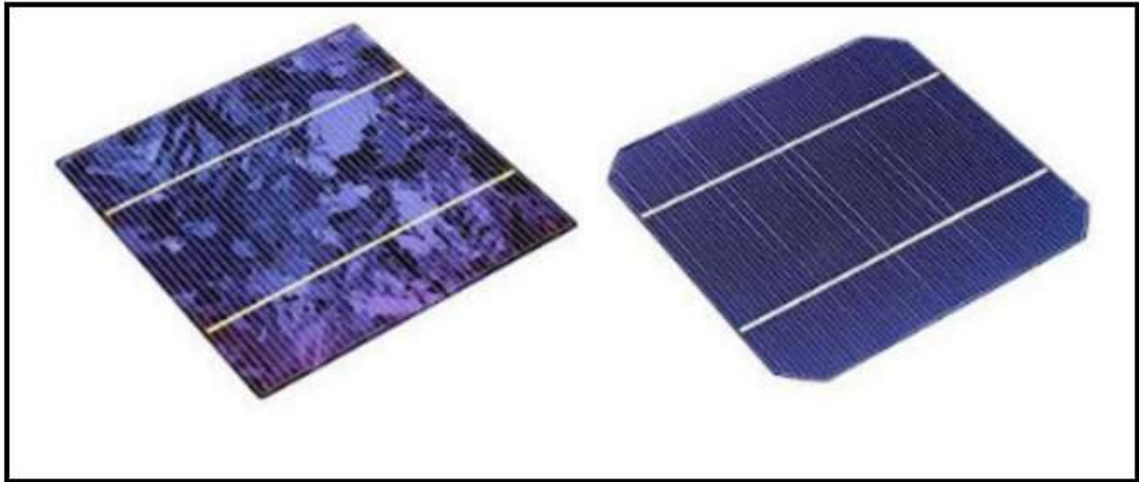
Antik Latin dilinde Işık anlamına gelen ‘Photo’ ve gerilimi ifade eden ‘Volt’ kelimelerinin zaman içinde çok kullanımı sonucunda birleşerek fotovoltaik (Photovoltaic) sözcüğü meydana gelmiştir. 1849 yıllarında İngilizceye giren bu söz güneş ışınlamından enerji üretimi anlamına gelmektedir. Bu keşif ilk olarak Fransız bilim araştırmacısı Edmond Becquerel tarafından güneş elektriği olarak adlandırılmıştır. Edmond Becquerel elektrolit içerisinde yapmış olduğu bir deneyde elektrotlar üzerine ışığın düşmesi sonucunda elektrotlar arası gerilimin değiştiğini fark etmiş ve bu deneyin sonunda bu gerilim değişikliğini ışınlamaya bağımlı olduğunu keşfedip Photo-voltaic olayını bulmuştur. İlerleyen yıllarda fotovoltaik hücre üzerinde birçok çalışma yapılmıştır. 1954 yılında uzun çalışmalar neticesinde silikon kristal yapıları fotovoltaik hücre geliştirilmiş ve uzay araçlarında, uydularda elektrik enerjisini karşılamak amacıyla kullanılmıştır. Teknolojinin bu sistemlere yeterince hazır olmaması nedeniyle üretim yüksek maliyetli ve hücre verimliliği % 5’ler seviyesinde olmuştur.

Fotovoltaik hücrelerde iki yarı iletken bir araya gelmesi ile oluşup, güneş ışınlamından enerji elde etmek için kullanılan PV panelin en temel elemanıdır. Hücre yapısında bulunan yarı iletken içerisindeki elektronlar güneş ışınlamındaki radyasyon enerjisi ile oyuklarda harekete geçip elektrik akımını oluşturmaktadır. Şekil 3.2’de fotovoltaik hücrenin ışınlam altında şematik üretimi verilmiştir. Ancak bu işlem güneş radyasyonu ile meydana geldiği için ışınlam olmadığı zamanda elektron hareketi meydana gelmeyecektir. Böylelikle enerji üretilemeyecektir. Bu gibi durumlar için enerji depolanmasında kullanılan akü grupları gerekmektedir. Fotovoltaik hücrenin kullanılabilir hücre haline gelmesi ile hücre birleştirmeleri üzerinde çalışılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda günümüzde kullanılan paneller meydana gelmiştir [64].



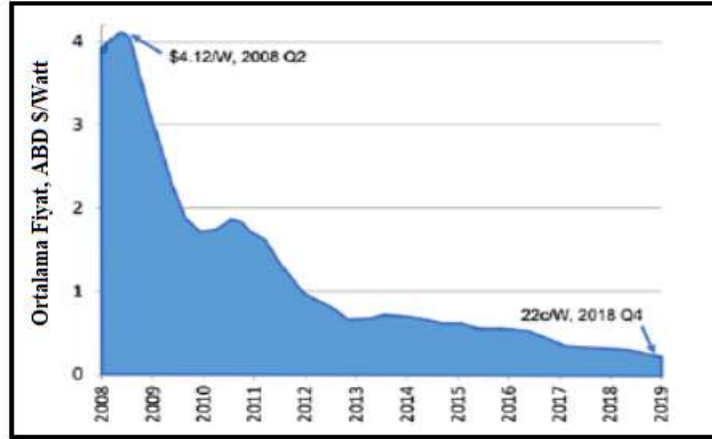
Şekil 3.2. Fotovoltaik hücrenin ışınlam altında üretimi ve hücre kesit görünümü [65]

Fotovoltaik sistemlerde kullanılan paneller günümüzde üretim, fiyatlandırma ve kullanım kolaylığı açısından standart hale getirilmiştir. Genellikle fotovoltaik hücreler dikdörtgen, kare ve dairevi olarak üretilmektedir. Standart üretilen PV hücresi 60- 160cm² arasında olup genellikle 100 cm² boyutlarındadır. Kalınlığı ise kullanılan malzeme ve üretim teknolojisiyle alakalı olarak 0,2 ile 0,4 mm dir. PV hücrenin üst kısmı güneş ışınlamını en aza indiren ve güneş ışınlamını büyük oranda geçirme kapasitesine sahip tabaka ile örtülüdür. Böylelikle güneşten gelen ışınlam büyük ölçüde enerjiye çevrilir. Şekil 3.3’de standart yapıya sahip monokristal ve polikristal fotovoltaik hücre görünümleri verilmiştir.



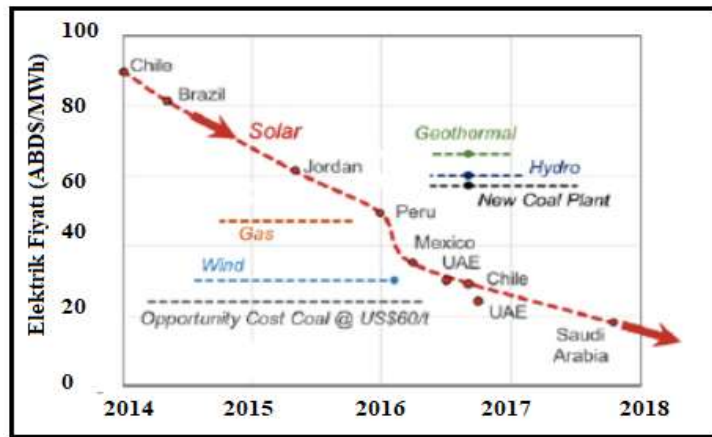
Şekil 3.3. Standart yapıya sahip monokristal ve polikristal fotovoltaik hücre görünümleri [65]

Teknolojinin hızlı ilerlemesi ve PV hücre üzerindeki araştırmaların yoğunlaşması sonucunda PV hücre fiyatında önemli ölçüde fiyat düşüşü gerçekleşmiştir. Bu düşüş ilk ticari kullanım zamanında bir Watt hücre birim fiyatı 4.12 c/W (dolar sent) seviyelerindeyken 2019’larda 22c/W (dolar sent) fiyatlarına gerilemiştir. Bu fiyat düşüşünü etkileyen en büyük etkenlerden biride dünya çapında büyük firmaların üretim yapması olmuştur. Şekil 3.4’de 2008 ve 2019 yılları arasında PV hücre fiyat değişimi gösteren grafik verilmiştir [66].



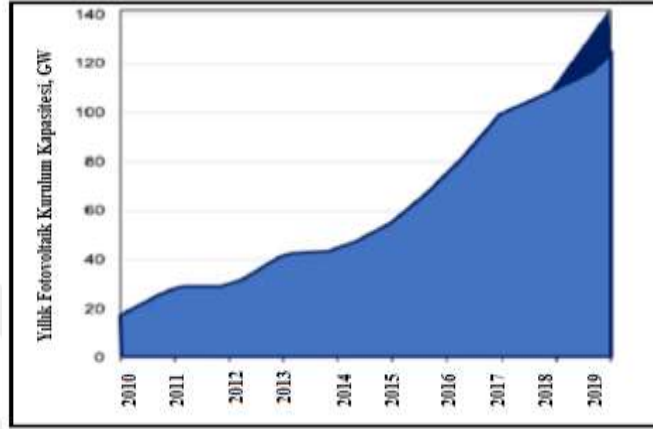
Şekil 3.4. 2008 ve 2019 yılları arasında PV hücre fiyat değişimi gösteren grafik [66]

Fotovoltaik hücre üretiminde yaşanan teknolojik gelişmeler sonucunda hücre üretim fiyatlarının fabrikasyon olarak ilk üretim zamanındaki duruma göre 15 kat gerilemesi beraberinde birçok durumu da getirmiştir. Uluslar yapılan güç anlaşmalarını etkilemiş fotovoltaik paneller üretilen enerji maliyetinin düştüğü için anlaşma bedelleri de güncellenmiştir. Şekil 3.5’de 2014 yılında elektrik MWh satış bedelleri 90 dolar seviyelerinde iken PV panellerin maliyetlerinin düşmesi sonucunda 2018 yıllarında MWh bedelleri 20 \$ seviyelerine gerilediği gösterilmiştir [66].



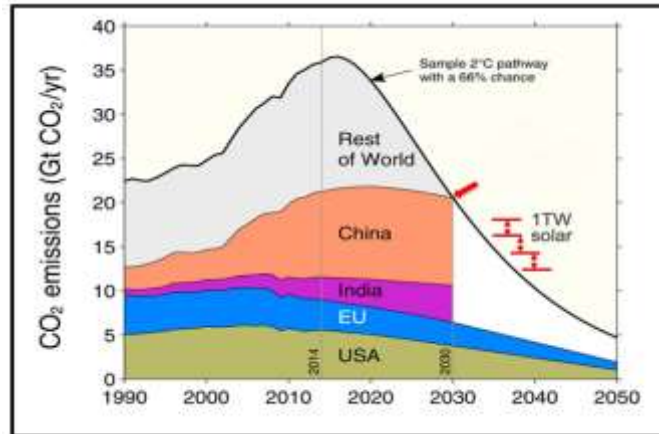
Şekil 3.5. Uluslararası elektrik fiyat değişimi (MWh) [66]

Yıllar içerisinde maliyetlerin önemli ölçüde düşmesi neticesinde PV panel ile kurulumu yapılan Güneş Enerji Santrallerinin (GES) dünya genelinde hızlı bir şekilde sayıları artmıştır. 200 yılında 252 MW/yıl olan kurulu güç miktarı 2018 yılında 109 GW/yıl seviyesine gelmiştir. Yaşanan fiyat düşüşleri ve teknolojik ilerlemelerin etkisiyle GES toplam kurulu güç kapasitesi 2025-2030 yıllarında 1 TW/yıl olması beklenmektedir. Şekil 3.6’da Yıllara göre PV panel kurulum kapasitesi verilmiştir [67].



Şekil 3.6. Yıllara göre PV panel kurulum kapasitesi [67]

Yapılan araştırmalar sonunda elde edilen veriler ile küresel sıcaklık artışının devam edeceğini bildirmişlerdir. Şekil 3.7’de karbondioksit miktarındaki gelişme grafikten anlaşıldığı gibi 2014 yılına karbondioksit miktarının artması devam etmiştir. Kurulumu gerçekleştirilen GES’nin fosil kaynaklar yerine yapmış olduğu temiz enerji elde edilmesi ile 2030’lu yıllarda küresel ısınma düşme eğiliminde olacaktır. Ayrıca burada yapılan tahminin gerçekleşebilmesi için yıllık 1 TW PV panel enerji sisteminin kurulumu sonucunda meydana gelmesi beklenmektedir [68].



Şekil 3.7. Karbondioksit miktarındaki gelişme [68]

3.2. Fotovoltaik Panel Çeşitleri

Fotovoltaik enerji dönüşümlerinde kullanılan sistemler yarı iletken teknoloji yapılıdır. Bunlar genellikle iki gruba ayrılır. Bunlar monokristal ve polikristaldir. Ayrıca kristal silikon yapıli ince film yarı iletken malzemelerde kullanılır. En yaygın olarak kullanılan ışınımı enerjisini elektrik enerjisine daha yüksek verimle çevirebilen tek kristal silikon yapıli olan monokristal hücreli panellerdir [69].

Fotovoltaik panellerin meydana gelmesi için çok miktarda PV hücrelerin birleştirilmesi gerekmektedir. Günümüzde güneş enerji santrallerinde kullanılan inverterin yapısının zarar görmemesi ve PV panellerin inverterlere bağlanmasında aşırı kablolama durumu ile karşılaşılması için PV panel üretiminde voltaj ve akım çıkışları değerlendirilerek optimum sonuçlar üzerinde çalışılmıştır. Bu sonuçlar için fotovoltaik hücrelerin çıkış volt ve amperlerine göre farklı bağlama stratejileri geliştirilmiştir. Ayrıca üretim sırasında PV hücrenin kimyasal yapısı ile alakalı olarak verim değerleri de değişmektedir. Günümüzde ticari olarak en yaygın kullanılan monokristal ve polikristal hücreye sahip paneller yaygın bir şekilde birçok uygulamada kullanılmaktadır. Ayrıca esnek, hafif, kırılğan olmayan ve etrafında alüminyum çerçevesi olmayan ince PV panelde bazı uygulamalarda kullanılmaktadır.

3.2.1. Monokristal Fotovoltaik Hücre

Monokristalin silisyum veya tek kristal Si, günümüzde bir çok elektronik cihazlarda kullanılan elektronik malzemenin temel yapı taşı olup silisyum yongalarının ana maddesidir. Monokristalin silisyum maddesi ışınım altında fotovoltaik etki göstermektedir. Bu sebeple güneş hücresinin üretiminde ışık emici malzeme olarak kullanılmaktadır. Mono-Si, son derece saf silisyumdan oluşan veya yarı iletken özelliklerini değiştirmek için eklenen diğer elementlerden çok az miktarını içeren katkılı olarak hazırlanabilmektedir. Silisyum monokristalleri Czochralski işlemi ile 2 metre kadar uzunlukta ve çeşitli yüzlerce kilogramağırlığında külçelere dönüştürülür. Bu silindir halindeki külçeler daha sonra çalışma için birkaç yüz mikronluk ince levhalara dilimlenir. Dilimleme işleminden sonra diğer boyutlandırma ve laminasyon gibi işlemlerden sonra bu hücreler birleştirilerek PV panel elde edilir. Monokristal PV hücre laboratuvar şartlarında % 25'lik bir verim kapasitesine sahip olup, diğer PV hücrelere göre ticari en yüksek verim çıkışına sahiptir.

3.2.2. Polikristal Fotovoltaik Hücre

Polikristalin silisyum, Polisilikon veya Poli-Si olarak da adlandırılmaktadır. Polikristalin ve parakristalin fazlar bir dizi daha küçük yapıya sahip kristal ve kristalitten oluşur. Polikristal çok

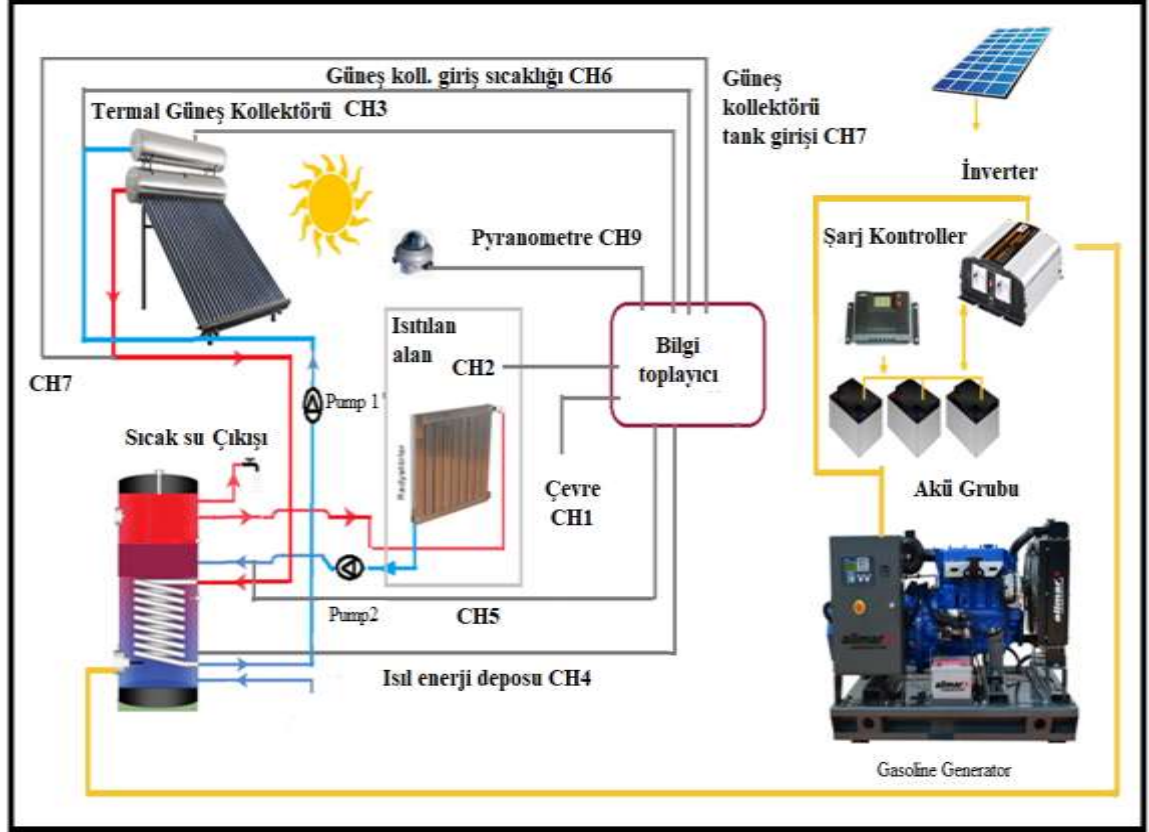
yapılı birden fazla küçük silisyum kristalinden oluşan bir malzemedir. Polikristal hücrelerin görünümü metal parçacıkların bir biri ile üst üste durması gibi bir görünümü andırır. Polikristalin silisyum Siemens işlemi adı verilen kimyasal bir arıtma işlemi yoluyla metalürjik sınıf silisyumdan geliştirilir. Bu işlem uçucu silisyum bileşiklerinin damıtılmasını ve bunların yüksek sıcaklıklarda silisyuma ayrıştırılmasıdır. Yüksek saflıkta bir malzemedir. Polikristalin silisyum fotovoltaik panel üretiminde ve elektronik endüstrisi tarafından ham madde olarak kullanılır [70].

Günümüzde fotovoltaik panellerle alakalı birçok çalışma bulunmaktadır. Bunlar çok çeşitli araştırma konuları içermektedir. PV paneller ile ilgili soğutma, geri dönüşüm, verim artırılması ve bir bölümünde hibrit çalışmalar ile ilgilidir.

Yapılmış PV panel ile ilgili bir çalışmada güneş fosil yakıtların çevreye zararları, artan politik baskılar ve dünya genelinde artan enerji ihtiyacı nedeniyle alternatif ve temiz enerji kaynağı olan fotovoltaik panellerin kullanılmasına değinmişlerdir. Çalışma kapsamında fotovoltaik panellerin güneş ışıını altında enerji üretirken ışıının soğurulması durumunda meydana gelen sıcaklığın etkisi ile panel çıkış veriminin azalması ve buna bağlı olarak panel ömrünün negatif etkilenmesini incelemişlerdir. Proje kapsamında açık tasarıma sahip PV panel üretmişlerdir. Bu sayede sıcak havanın yer değişmesi ile meydana gelen doğal hava sirkülasyonu ile PV panelin soğutulması düşünülmüştür. Ayrıca oval tasarımı sayesinde PV panel üzerinde toz birikintisini önleyip verim kaybını önüne geçilmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak tasarlanan PV panelin 30 derece açıyla beyaz toprak üzerinde meydana gelen ısıyı daha iyi atmosfere attığı ve daha yüksek enerji çıkışlarının meydana geldiğini bildirmişlerdir [71].

4. MATERİYAL VE METOT

Tez çalışmasında planlanan sistemin şematik görünümü Şekil 4.1’de verilmiştir. Sistem bileşenleri, sistemdeki sıcaklık değişimlerinin kontrol edilip gözlemlendiği bilgi toplayıcı (data logger), sıcaklık ölçen ısıtıcı çiftler ve ışıyım ölçer (pyranometre)’in bulunduğu sistemin detayları materyal ve metot kısımları ile bu bölümde ayrıntılı olarak verilecektir.



Şekil 4.1. Deneysel sistemin şematik görünümü

Bilindiği gibi yenilenebilir enerji kaynakları günün, haftanın, ayın ve yılın farklı zaman dilimlerinde enerjiye çevrilme kapasitesi yeterli ve aynı miktarda olmadığı için depolanması ve fosil tabanlı sistemlerle birleştirilmesi sistemin kararlılığı ve enerji sürdürülebilirliği açısından kaçınılmaz olmuştur. Literatürde [72-74] farklı konfigürasyona sahip birleştirilmiş ısı ve güç sistemleri mevcut olup bu sistemlerde termal enerji deposundan da faydalanılmıştır. Nüfusun hızlı bir şekilde artması, teknolojinin ilerlemesi, fosil kaynakların gün geçtikçe üretim maliyetlerinin yükselmesi ve çevre üzerinde ki olumsuz etkileri nedeniyle sistem yenilenebilir enerji kaynakları ile hibritleştirilerek çalıştırılması veya mevcut sistemlerde yenilenebilir enerji girdisi miktarının artırılması enerji güvenirliliği ve sürdürülebilirlik açısından büyük önem arz etmektedir. Ayrıca ileriki zaman diliminde jeneratörde kullanılan yakıt yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak

üretilebilen biyodizel veya etanol gibi yakıtlar kullanılırsa sistem hem hibrit hemde tam olarak yenilenebilir enerji ile çalışan bir sistem olabilir.

Sistemde vakumlu güneş enerji kollektörü ve ısı enerji deposu en önemli rolü üstlenmektedir. Çünkü sistemin kuruluş amacı yenilenebilir enerji kaynağı olan güneşten maksimum ölçüde faydalanıp ısıtılması amaçlanan alanın enerji giderlerini olabildiğince yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlamaktır. Bu sebeple güneşten gelen ışınlı kaynaklı ısı ve elektrik enerjisi kullanılması düşünülmektedir.

4.1. Materyal

Hibrit ısıtma projesinin kurulumu gerçekleştirilmek istenilen yaşam alanı Elazığ merkez ilçesine bağlı Harput-Göllübağ mahallesinde bulunmaktadır. Burası merkez ilçeye yaklaşık 15 km kuzey batı yönünde doğalgaz ve elektrik hatlarına uzak dağlık bir arazide bulunmaktadır.

Hibrit ısıtma sistemi deney düzeneği kapsamında 2 adet 455 Watt gücünde PV panel, 1 adet 3000 Watt akıllı inverter, 12 Volt 100 Amper güce sahip 4 adet akü, 30 vakum tüplü güneş kollektörü, 157 litrelik ısı enerji deposu, 2 adet iş akışkan pompası ve iki adet sistemin sıcaklık değerlerine göre çalışmasını belirleyen dijital termostat kullanılmıştır.

Yaşam alanının enerji hatlarına uzak olması nedeniyle ısıtma, aydınlatma ve soğutma gibi ihtiyaçları fosil kaynaklı jeneratör ile karşılanmaktadır. Ayrıca jeneratör gibi bir çok hareketli mekanizmanın olduğu sistemlerin tam zamanlı olarak çalıştırılmaması, işletim, bakım ve onarım masraflarının yüksek olması açısından bakıldığında daha stabil sistemlerin kullanılması enerji güvenilirliği açısından büyük önem taşımaktadır. Şekil 4.2’de projenin yapılacağı yaşam alanının uydudan görünümü verilmiştir.



Şekil 4.2. Projenin yapılacağı yaşam alanının uydudan görünümü

Isıtılması planlanan yaşam alanı Göllübağ mahallesinde bulunan bir bahçe evinin giriş katındaki güney yönünde konumlanmış alandır. Şekil 4.3’de ısıtma projesinin uygulanacağı evin dıştan görünümü verilmiştir.



Şekil 4.3. Isıtma projesi yapılacak yaşam alanının görünümü

İlk olarak ısıtılması düşünülen alanın ölçüleri belirlenmiştir. Daha sonra yapım aşamasında kullanılan yapı bileşenleri araştırılmıştır. Alınan ölçüler neticesinde ısıtılacak alanın 20 °C iç ortam sıcaklığına göre ihtiyaç olunan ısı yükü hesaplanmıştır. Isıtılacak alan için yaklaşık 4800 kcal/saat’lık ısı yük belirlenmiştir. Belirlenen ısı yük için sistemde kullanılması amaçlanan vakumlu güneş kollektörü, PV panel, inverter ve akü grubu, benzin yakıtlı jeneratör, ısı enerji deposunun ölçülerinin iklimlendirilecek alanın ihtiyaçları doğrultusunda, farklı iş akışkanlarının kullanımına uygun olacak durumda tasarlanmıştır.

Sistemin çalışma süresi boyunca belirlenen noktaların sıcaklık, ısıtım şiddeti, akış gibi sistemin çalışma durumunu belirlemek üzere ölçümler alınmıştır. Sıcaklık ölçümlerinde K tipi ısı çift kullanılmıştır. ısıtım ölçümü için KIPP ZONEN CMP 3 tipi Pyronometre kullanılmıştır. Şekil 4.4’de pyronometrenin görünümü verilmiştir.



Şekil 4.4. Pyronometrenin görünümü

Sistemde kullanılan ısıtıcılar belirli noktalara yerleştirilmiştir. Bunlar Şekil 4.1’de verilmiş olup ve açıklamaları Tablo 4.1’de yerleri ve bilgi toplayıcıdaki kanal numaraları verilmiştir.

Tablo 4.1. Isıtıcıların ölçüm yapıldığı noktalar

Kanal	Isıtıcının Sistemde Sıcaklığı Ölçtüğü Bölge
CH1	Çevre
CH2	Isıtılan alan
CH3	Güneş kolektör tank
CH4	Isıtıcı tank
CH5	Isıtılan alan ortam
CH6	Isıtıcı tankından güneş kolektörüne dönüş
CH7	Güneş enerji tankından ısıtıcı tankına giriş
CH9	Güneş kolektör bölgesinde ısıtım şiddeti

Tasarlanmış olunan sistemde iki adet iş akışkan pompası kullanılmaktadır. Biri güneş kolektörü ile ısıtıcı tankı arasındaki iş akışkanının devir daimi için kullanılan pompa. Sistemde kullanılan diğer iş akışkan pompası ise ısıtıcı tankı ile ısıtılan alan arasındaki iş akışkanının devir daimi için kullanılmaktadır. Şekil 4.5’de güneş kolektörünün kurulacağı yer ile ısıtılan alandaki iş akışkanı sirkülasyon yüksekliği (3,5 m) verilmiştir.



Şekil 4.5. Isıtılması düşünülen odanın sistemin kurulacağı yere göre yükseklik ölçüleri

Sistemde kullanılan iş akışkanı pompasının üç farklı çalışma kademesi vardır. Bu çalışma kademelerine göre basma yüksekliği ve çalışmasında talep olunan elektriksel güç farklılık göstermektedir. Tablo 4.2’de sistemde kullan pompanın çalışma kademeleri ve elektriksel güçleri verilmiştir.

Tablo 4.2.Sistemde kullanılan pompanın farklı çalışma kademelerine göre basma yüksekliği ve kullandığı güç

Hmax	Pmax	Pompa çalışma konumu
4	55	I
5	70	II
6	100	III

Şekil 4.6’de sistemde kullanılan sirkülasyon pompasının görünümü verilmiştir. Sistemde bu pompadan iki adet kullanılmıştır. Kapalı çevrim olarak çalışan pompaların ilki güneş kolektörünün tankında bulunan iş akışkanını ısıtılabilir enerji deposundaki ısı değiştirici arasında sirkülasyonu sağlamaktadır. İkincisi ise ısıtılabilir enerji tankında bulunan akışkanın ısıtılabilir alan ile ısıtılabilir enerji tankı

arasında sirkülasyonunu sağlamaktadır. Şekil 4.7’de sistemde kullanılan iş akışkan sirkülasyon pompasının katalog bilgileri verilmiştir.



Şekil 4.6. Sistemde kullanılan sirkülasyon pompasının görünümü

Stream
Sign of Quality

SİRKÜLASYON POMPALARI

Üç Hızlı - Islak Rotorlu Sirkülasyon Pompaları (Dişli bağlantı) In-Line

Gövde: Döküm

Fan : Plastik

Mil : Paslanmaz Çelik

Giriş - Çıkış Mesafesi: 130 mm

Bağlantı rekorları dahildir

Monofaze modelleri için monofaze termik şalter kullanılması zorunludur. Aksi takdirde ürünler garanti kapsamı dışındadır. Motor koruma şalteri (monofaze) net satış fiyatı : 26.-\$ + kdv dir.

RS50/6-180 & RS50/8-180

GPD 25-6S

Model	Voltaj V	Güç (3.hızda) watt	Rekorlar arası Mesafe	Bağlantı		Kapasite (3. hız için)		Muadil Ürün Karşılaştırma
				Giriş	Çıkış	Q(m³/h)	Hm(mSS)	
GPD 25-6S	220V	100	130 mm	1 1/2"	1 1/2"	0,5 - 4,2	5,5 - 0,5	
RS50/6-180	220V	120	180 mm	2"	2"	0,3 - 4,8	6,0 - 1,0	
RS50/8-180	220V	280	180 mm	2"	2"	0,9 - 12,6	7,5 - 1,5	

* RS50/6-180 & RS50/8-180 modellerinde rekor seti 2" - 1 1/4" dir. Rekor seti ile pompaların çıkış çapı 1 1/4" e düşürülmektedir.

Şekil 4.7. Sistemde kullanılan iş akışkan sirkülasyon pompasının katalog bilgileri

Sistemde farklı iş akışkanlarının denenmesi adına iki ayrı kapalı çevrim olarak tasarın yapılmıştır. Şekil 4.8’da tasarlanmış sistemde kullanılan pompaların ısıl enerji tankında montaj sonrası konumları gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Tasarlanmış sistemde kullanılan pompaların ısıl enerji tankında montaj sonrası konumları

Hibrit ısıtma sisteminde farklı iş akışkanları kullanımı ve akışkanların birbirini ile karışmaması için ısıl enerji tankının iç kısmına ısı değiştirici kullanılmıştır. Kullanılan ısı değiştirgeci ile güneş kolektöründeki iş akışkanı ortam ısıtılmasında kullanılan iş akışkanı ile karışmaması sağlanarak deneysel çalışmada oluşabilecek basınç farkları veya kimyasal reaksiyonlar gibi negatif durumlar bertaraf edilmiştir. Şekil 4.9’da ısıl enerji tankındaki ısı değiştirgeci gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Isıl enerji tankında ki ısı değıştirgecinin görünümü

4.2. Metot

4.2.1. Proje Kapsamında Sistemde Kullanılacak Ekipmanların Boyutlandırılması

Isıtma sisteminde kullanılan ekipmanların boyutlandırma yapılabilmesi için ısııl konfor sağlanacak yaşam alanının ihtiyaç olunacak ısııl yükün hesaplanması gerekmektedir.

Belirli bir alanın ısı kaybı hesabındaki maksat ısıtılması düşünölen alanın dış ortama kaybettiğı ısı miktarının belirlenmesidir. Daha sonra istenilen ısıtıcı sistemlerle kaybedilen ısı ortama verilir. Isı kaybı hesaplanmasında iki farklı ısı kaybının hesaplanıp toplanması gerekmektedir. Bunlar;

1-Transmisyon yolu ile meydana gelen ısı kaybı,

2- Havalandırma yolu ile meydana gelen ısı kaybı

Q_h : Belirli bir alanın veya bir odanın saatlik ısı kaybı (kcal/saat)

Q_T : Belirli bir alanın veya bir odanın transmisyon yolu ile ısı kaybı (kcal/saat)

Q_L = Enfiltrasyon (havalandırma) yolu ile bir odanın veya alanın pencere ve kapılardan kaçan ısı (kcal/saat)

Transmisyon ısı kaybı, ısı kaybı yapılacak alanın tavan, zemin, duvarları, pencere ve kapı bileşenlerinden iletim yoluyla meydana gelen kayıpların belirlenmesidir. Transmisyon ısı kaybı hesabı, Fourier denklemi ile hesaplanır. Bu denklem 4.1’de verilmiştir.

$$q = K. A. (T_i - T_d) \text{ [kcal/saat]} \quad (4.1)$$

ile hesaplanır. Burada; q yapıda kullanılan yapı elemanından kaybedilen ısı miktarını,

K; yapı elemanının toplam ısı transfer katsayısı (kcal/m²h°C) ,

A; yapı elemanının yüzeyini (m²) ,

T_i ve T_d ; iç ve dış ortam sıcaklıklarını (°C) göstermektedir.

Bu hesaplamada $T_i > T_d$ olması durumunda ısı kaybı, aksi durumda ısı kazancı olduğu söylenebilir. Transmisyon ısı kaybı aşağıdaki denklem 4.2 ile hesaplanır.

$$Q_T = Q_0 . Z \quad (4.2)$$

Burada; Q_0 = Binanın tüm bölgelerinin transmisyon ısı kaybıdır.

$$Q_0 = \sum q_0$$

q_0 ; Binada kullanılan tek bir yapı elemanının transmisyon ısı kaybı

Sistemin çalışma zaman durumuna göre ve sistemin kurulumunun yapıldığı yere göre artırımlar vardır. Denklem 4.3’de toplam artırım verilmiştir.

$$Z = [1 + (Z_D + Z_H)] \text{ olup} \quad (4.3)$$

burada ; Z= Toplam artırım, Z_D = işletme artırımı, Z_H = Yön artırımıdır.

Havalandırma ısı kaybı hesabı yapılacak alanın konumu ve alandaki pencerelerin durumuna göre ısı kaybının yüzdesi, rüzgâr artırımı yerine kapılardan ve pencerelerden iç ortama sızan hava miktarının tayini ve iç ortama giren havanın alan sıcaklığına kadar ısıtılabilmesi için ihtiyaç olunan ısı miktarının değerlendirilmesi gerekmektedir. İhtiyaç olunan ısı miktarının hesaplanması Denklem 4.4 ile gerçekleştirilmektedir.

$$Q_h = Q_T + Q_L \quad (4.4)$$

Bu ifadede Q_L havalandırma ısı ihtiyacıdır ve Denklem 4.5 ile hesaplanır.

$$Q_L = \sum (a.L) R.H.Z_E (t_i - t_d) \text{ burada;} \quad (4.5)$$

a: Pencere veya kapı çerçevesinin hava sızdırma derecesi ile ilgili bir katsayıdır,

L: Pencelerin açılan çerçeveleri ile kapı çerçevelerinin toplam uzunluğu (metre)

H: Bina katsayısı: binanın bulunduğu bölgenin meteorolojik şartlarına ve binanın mahfuz olup olmadığına bağlıdır.

R: Oda katsayısı

Z_E : Pencerelerin birbirine göre konumları ile ilgili bir katsayıdır.

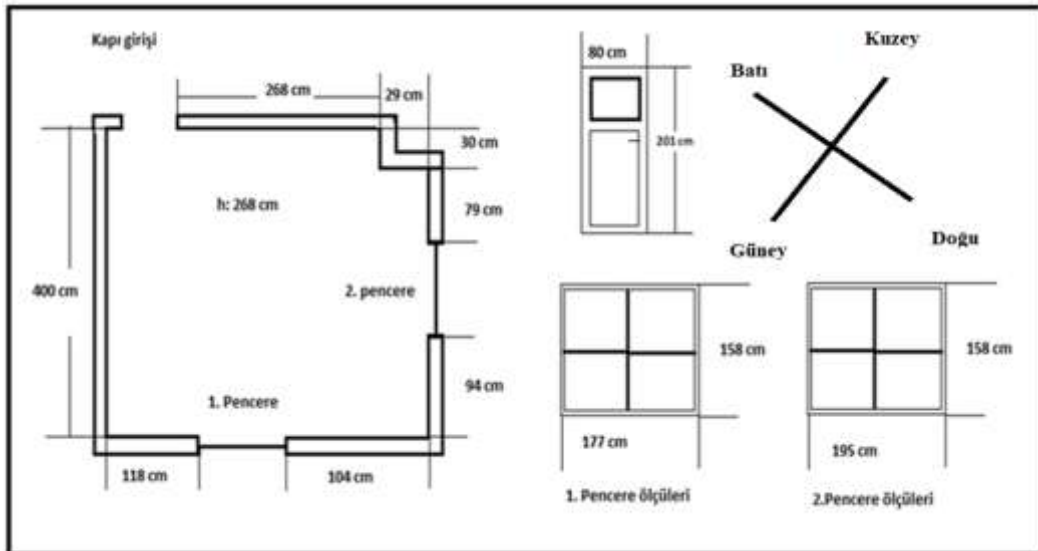
Normal yan yana olan pencereler için $Z_E = 1.0$ birbirlerine dik olan köşe pencereler için $Z_E = 1.2$ alınır.

$t_i - t_d$ = iç ve dış sıcaklıklar arasında ki farktır.

Tablo 4.3’de projenin yapılacağı bölgenin dış ortam sıcaklığının -12°C derece olduğu durumda ısıtılması düşünülen alanın 22°C olması için ihtiyaç olunan saatlik ısı yükü verilmiştir. Boyutlandırılması yapılacak sistem hibrit sistem olmaktadır. Isıtılması amaçlanan alanın ölçüleri Şekil 4.10’da verilmiştir.

Tablo 4.3. Isıtma alanı için ihtiyaç duyulan ısı yük tablosu

Oda Bilgileri	Yön	Kalınlık	Uzunluk	Yükseklik	Yüzey	Adet	Çıkarılan	Hesaba Giren	K	Sıcaklık Farkı	KAt	Z.I.K.
Dış Duvar	Doğu	30	4	2,7	10,8	1	3,08	7,72	1,09	34	37	286
Tek Pencere	Doğu		1,95	1,58	3,08	1		3,08	2,2	34	75	231
Dış Duvar	Güney	30	4	2,7	10,8	1	2,81	8	1,09	34	37	296
Tek Pencere	Güney		1,77	1,59	2,81	1		2,81	2,2	34	75	210
İç Duvar	Batı	21	4	2,7	10,8	1		10,8	1,2	24	28,8	311
İç Duvar	Kuzey	22	4	2,7	10,8	1	1,616	9,18	1,2	24	28,8	264
İç Kapı	Kuzey		0,8	2,02	1,616	1		1,616	2	24	48	77
Döşeme			4	4	16	1		16	1,77	16	28,3	452
Tavan			4	4	16	1		16	2,69	34	91	1456



Şekil 4.10. Isıtma sistemi ile ısıtılacak alanın boyut ölçüleri

Hesaplamalar sonucunda transmisyon ısı kaybı 3583 kcal/saat(4167 Watt) olarak hesaplanmış olup, odada bulunan iki cam ve kapıdan havalandırma için gerekli ısıtma yükü sonucunda 1057 kcal/saat (1229,3 Watt) olarak bulunmuştur. Toplam 4711 kcal/saat(5478,9 Watt) olarak hesaplanmıştır. $24 \times 4711 = 113064$ kcal (131493,5 Watt) 24 saatlik -12 dereceye göre mahalin ısıtma yükü ihtiyacıdır.

Proje 'de güneş ışınımından faydalanılacak aylar Eylül-Ekim-Kasım-Mart-Nisan-Mayıs olduğu için dış ortam sıcaklığı 11,8°C alınmıştır. Projenin yapılacağı bölgenin dış ortam sıcaklığının minimum 11,8°C olduğu durumda ısıtılması düşünülen alanın ortam sıcaklığının 22°C olması için ihtiyaç olunan saatlik ısı yükü hesaplanmıştır. Tablo 4.4'de 2017 yılının Ekim ayının birinci gününün saatlik sıcaklık değişimi ve bu sıcaklık değişimine göre ısıtma yükü gösterilmiştir. 1 Ekim 2017 iklim verilerine göre ısıtılması düşünülen yerin ısıtma yükü hesaplanmış ve Tablo 4.4'de verilmiştir.

Tablo 4.4. 01.10.2017 tarihinin saatlik sıcaklık ve ısıtma yükleri

Tarih	Saat	Saatlik Sıcaklık Değerleri	Isıtma Yükü kcal/saat
1.10.2017	0	12.2 °C	1770
1.10.2017	1	11.8 °C	1894.7
1.10.2017	2	11.8 °C	1894.7
1.10.2017	3	12 °C	1784.5
1.10.2017	4	11.9 °C	1882.6
1.10.2017	5	12.3 °C	1740.6
1.10.2017	6	14.4 °C	1485.6
1.10.2017	7	15.5°C	1062.9
1.10.2017	8	15.8 °C	1006.4
1.10.2017	9	17.2 °C	742.8
1.10.2017	10	18.7°C	460.6
1.10.2017	11	19.3 °C	363.6
1.10.2017	12	20.7 °C	175.2
1.10.2017	13	21.2 °C	107.7
1.10.2017	14	20.9 °C	148.3
1.10.2017	15	19.4 °C	349.1
1.10.2017	16	18.7 °C	460.6
1.10.2017	17	18.1 °C	573.5
1.10.2017	18	17.7 °C	648.6
1.10.2017	19	17.3 °C	750
1.10.2017	20	16.9 °C	799.3
1.10.2017	21	17 °C	804
1.10.2017	22	16.7 °C	836.8
1.10.2017	23	16.2 °C	930.6

Tablo 4.4'deki saatlik veriler toplandığında 22672.7 kcal (26368,3 Watt) olarak bulunur. Projenin yapılacağı bölgenin dış ortam sıcaklığının minimum 8°C derece olduğu durumda ısıtılması düşünülen alanın 22°C olması için ihtiyaç olunan haftalık ısı yük miktarı belirlenmiştir.

Aşağıdaki Tablo 4.5’de meteorolojiden alınan bilgiler neticesinde 2017 yılının ekim ayının 01-07 tarihlerinin gün içerisinde saatlik minimum sıcaklık ve minimum sıcaklık verilerine göre 24 saatlik ısıtma yükleri verilmiştir.

Tablo 4.5’de yer alan 04.10.2017 tarihinde günün minimum sıcaklık şartına göre 24 saatlik ısıtma yükü 54794.4 kcal (63725,9 Watt) olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.5.01-07 Ekim 2017 iklim verilerine göre ısı yükünün hesaplanması

Tarih	Min. Sıcaklık	Isıtma Yüğü kcal/saat	24 saatlik ısı yük kcal/saat
1.10.2017	11.8 °C	1894.7	45472.8
2.10.2017	10.5 °C	2002.8	48067.2
3.10.2017	8.9 °C	2179.7	52312.8
4.10.2017	8 °C	2283.1	54794.4
5.10.2017	9.1 °C	2146.2	51508.8
6.10.2017	10.5 °C	2002.8	48067.2
7.10.2017	12.4 °C	1734.8	41635.2

4.2.2. Kollektör Yüzey Alanı ve Toplam Radyasyon Miktarının Hesabı

Düzlemsel yüzeye sahip güneş kollektörleri ticari olarak çok farklı boyutlarda üretilmekte olup, en yaygın olanı 2m² olarak standartlaştırılmıştır. Sıcak su kullanım ihtiyacına göre gerekli olan kollektör yüzey alanı (KYA) değişmektedir. İhtiyaç olunan sıcaklıklarda su ısıtma kapasitesine sahip kollektör alınabilmesi için yüzey alanının hesaplanması gerekmektedir. Bu hesaplamanın yapılabilmesi için kollektörün kurulacağı alana ait dış ortam sıcaklıkları, bölgenin radyasyon miktarı ve güneşlenme süresi gibi bilgilere ihtiyaç vardır. Kollektör yüzey alanı Denklem 4.6 ile hesaplanır.

$$KYA = \frac{\dot{Q}}{TRA \times \eta} \quad (4.6)$$

Bu eşitlikte;

$\dot{Q}_h$: Sıcak su enerji ihtiyacı (kJ/gün)

TRA : Toplam radyasyon miktarı (kJ/m²gün)

η_k : Verim (kollektör verimi)

olarak verilmiştir.

Sistemde kullanılacak sıcak su ihtiyacını aşağıdaki gibi hesaplayabiliriz. Denklem 4.7’de hesaplamanın yapıldığı eşitlik verilmiştir.

$$\dot{Q} = \dot{m}c\Delta T \quad (4.7)$$

$\dot{Q}$: Gereklisıcak su enerji ihtiyacı (kJ/gün),

m : Isıtılacak kullanım suyunun miktarı (L/gün),

c : Suyun özgül ısısı (kJ/kg°C)

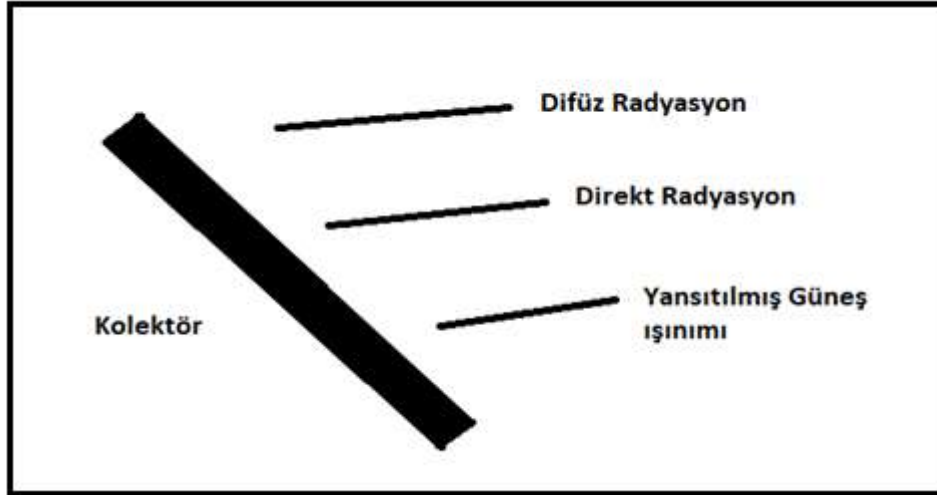
ΔT :Kullanma sıcaklığı ile sisteme giren su sıcaklığı arasındaki farktır (°C)

Sistemde iş akışkanı olarak su olması durumunda hacim birimi olarak kullanılan litre aynı zamanda kütle birimi olarak kullanılan kg olarak alınabilir. Suyun yoğunluğu 998 kg/ m³ dür. Bunu yaklaşık 1000kg /m³ olarak kabul etmek mümkündür (1L=1kg).

İster düzlemsel bir güneş kolektörü olsun, isterse de güneş paneli olsun üzerine düşen toplam radyasyon miktarını hesaplayabilmemiz için 3 farklı güneş ışıınımı miktarını da hesaplamalıyız. Bunlar:

1. Direkt radyasyon,
2. Difüz radyasyon,
3. Yansıtılmış radyasyondur.

Bir güneş kolektörünün üzerine düşen ışıınımlar Şekil 4.11’de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Kolektör üzerine düşen güneş ışıınımlarının gösterilmesi

Bir güneş kolektörünün yatay düzlemle olan eğim açısı ve ışıınım şiddeti değerleri arasında durum aşağıdaki gibi düzenlenebilir:

Kış uygulamaları için:Kolektör eğimi = Bölgenin enlemi + 15° ve Şubat ayı güneş ışıınımı değerleri (Ek-Tablo 1 ve Ek-Tablo 3).

Yaz uygulamaları için: Kolektör eğimi = Bölgenin enlemi - 15° ve haziran ayı ışıınımı değerleri (Ek-Tablo 1 ve Ek-Tablo 3).

Bütün bir yıl uygulaması: Kolektör eğimi = Bölgenin enlemi ve nisan ayı güneş ışıınımı değerleri (Ek-Tablo 1 ve Ek-Tablo 3).

Güneş kollektörleri tasarımlarının gereği güneşten genel ışıınım enerjisini ısıl enerjiye dönüştürürler. Yatay açı değerlendirme durumu sadece ısıl enerji üreten güneş kollektörleri için geçerlidir. Yaz ve kış pratik açı değerlendirme durumu fotovoltaik panellerin enerji

hesaplanmasında geçerli değildir. Yaz aylarında güneşlenme sürelerinin önemli ölçüde artması ve üretilen elektrik enerjisinin depolanabilir veya şebekeye aktararak satılabilir olması durumları gereği bu paneller için bizleri farklı hesaplamalar kullanmaya itmiştir.

Güneş kollektörünün yüzeyine gelecek radyasyon miktarının hesaplanması için Denklem 4.8 kullanılabilir:

$$TRA = \dot{D}IR \times \dot{D}IRAF + \dot{D}IF \times \dot{D}IFAF + YYRA \times YAO \times YAF \quad (4.8)$$

Bu eşitlikte kullanılan kısaltmalar ve birimleri aşağıdaki gibidir:

TRA : Toplam radyasyon miktarı (kJ/m² gün)

$\dot{D}IR$: Direkt radyasyon miktarı (kJ/m² gün)

$\dot{D}IRAF$: Direkt radyasyon açı faktörü (Ek- Tablo 1)

$\dot{D}IF$: Difüz radyasyon miktarı (kJ/m²gün)

$\dot{D}IFAF$: Difüz radyasyon açı faktörü (Ek- Tablo 2)

YYRA : Yeryüzü radyasyonu (kJ/m² gün) (Ek- Tablo 3)

YAO : Yansıtma oranı (Ek- Tablo 4)

YAF : Yansıtılmış açı faktörü (Ek- Tablo 2)

Direkt ve difüz radyasyon değerleri aşağıdaki 4.9 ve 4.10 eşitlikler yardımı ile hesaplanır.

$$\dot{D}IR = YYRA - \dot{D}IF \quad (4.9)$$

$$\dot{D}IF = (1.0 - 1.097 \times BUF) \times YYR \quad (4.10)$$

Eşitlikte bulunan BUF (bulanıklık faktörüdür), Denklem 4.11 ile hesaplanır.

$$BUF = \frac{YYRA}{A\ddot{O}RA} \quad (4.11)$$

Güneşten genel toplam radyasyon miktarının bulunabilmesi için ilk olarak BUF'nin hesaplanması gerekmektedir. Denklemde bulunan AÖRA, (kJ/m² gün) (atmosfer öncesi radyasyon), Tablo 6'dan bulunabilir.

$$BUF = \frac{YYRA}{A\ddot{O}RA} = \frac{13428}{23030} = 0.58$$

$$\dot{D}IF = (1.0 - 1.097 \times BUF) \times YYRA$$

$$\dot{D}IF = (1.0 - 1.097 \times 0.58) 13428 = 4884.3 \text{ kJ/m}^2 \text{ gün}$$

$$\dot{D}IR = YYRA - \dot{D}IF$$

$$\dot{D}IR = 13428 - 4884.3 = 8543.7 \text{ kJ/m}^2 \text{ gün}$$

Elazığ 38.67 enleminde bulunduğu için kış uygulaması için (enlem+15) olduğundan;

Kollektör eğim açısı: 39°+15°=54° olacaktır.

$$\dot{D}IRAF = 1.828 (\text{Tablo-2'den, enlem}+15^\circ)$$

$$\dot{D}IFAF = 44^\circ \text{ kollektör eğim açısı için } 0.792 (\text{Tablo-2})$$

$$YAF = 0.208 (\text{Tablo 2})$$

YAO = 0.22 (Tablo 5)(etraf beton kaplı zemin olarak kabul edilmiştir)

$$TRA = DİR \times DİR_{AF} + DİF \times DİF_{AF} + YYRA \times YAO \times YAF$$

$$TRA = 8543.7 \times 1.828 + 4884.3 \times 0.792 + 13428 \times 0.22 \times 0.208$$

$$TRA = 15617.8 + 3868.4 + 614.5 = 20100.7 \text{ kJ/m}^2\text{gün}$$

$$TRA = 20100.7 \text{ kJ/m}^2\text{gün}$$

Sistemde kullanılan vakumlu kollektörün verimi %90 seviyelerinde ise;

$$KYA = \frac{\dot{Q}}{TRA \times \eta} = \frac{22672.7}{20100.7 \times 0.90} = 1.253 \cong 2 \text{ m}^2 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Sistemde kullanılan vakumlu kollektörün verimi %95 seviyelerinde ise;

$$KYA = \frac{\dot{Q}}{TRA \times \eta} = \frac{22672.7}{20100.7 \times 0.95} = 1.187 \cong 2 \text{ m}^2 \text{ olarak hesaplanır.}$$

İhtiyaç olunan kollektör yüzey alanı 1.2 m² ile 2 m² yüzey alanına sahip olmalıdır. Ticari olarak çok çeşitli ölçülere sahip vakum kollektörleri bulunmaktadır. 2 metre uzunluğundaki bir vakum tüpün alanı yaklaşık 0.35 m² dir. Bu sebeple vakum tüp sayısı minimum 12 ve sayı adedi fazla olan kullanılabilir. Ticari olarak satılan minimum vakum tüp sayısı 18, 24, 30 ve 36 sayısı olan güneş kollektörlerine ulaşılabilir. Ticari olarak satılan minimum vakum tüp sayısı 18, 24, 30 ve 36 sayısı olan güneş kollektörlerine ulaşılabilir.

Tasarlanmış sistem bileşenlerinden olan güneş panelleri, inverter, akü grubu ve şarj regülatörünün güç ve kapasitelerinin belirleyebilmek için ihtiyaç olunan elektrik enerjisinin bilinmesi gerekmektedir.

4.2.3. İş Akışkanı Dolaşım Pompasının Güç Gereksinim Hesabı

Sistemde ihtiyaç olunan elektriksel gücün bilinmesi gerekmektedir. Ancak bu durumda fotovoltaik panel gücü, sayısı, inverter gücü, akü gücü ve sayısının hesaplanmasına olanak olmaktadır.

Elektrikle çalışan cihazların kullandığı toplam güç 4.12 eşitliği ile hesaplanmaktadır.

$$Pr = Pc \times hc \quad (4.12)$$

Burada Pr gerekli güç, Pc sistemde kullanılan cihazın gücü, hc ise cihazın çalışma saatini ifade etmektedir. Sistemin üç farklı durumunda tüketilecek enerji miktarı aşağıdaki gibi dir.

- I. Sirkülasyon pompasının 8 saat 3. Kademedeki (100 Watt) çalışması halinde ve pompa için 800 W/h 'lık bir güç gerekli olacaktır.
- II. Sirkülasyon pompasının 8 saat 1. Kademedeki (55 Watt) çalışması halinde ve pompa için 440 W/h 'lık bir güç gerekli olacaktır.
- III. Sistemde kullanılan ısıtıcı (1000 Watt) yaklaşık 3 saat çalışması halinde ısıtıcı için 3000 W/h 'lık bir güç gerekli olacaktır.

Ancak burada dış ortam sıcaklığı, rüzgâr hızı, ışınım şiddeti ve güneşlenme süresi bu hesaplamada değişikliklere sebebiyet verebilmektedir. Tablo 4.6'da sistemde kullanılan cihazların çalışma saatleri ve güç gereksinimleri verilmiştir.

Tablo 4.6. Sistemde kullanılan cihazların çalışma saatleri ve güç gereksinimleri

Cihaz	Çalışma saati (hc)	Cihazın gücü (Pc)	Günlük enerji gereksinimi (Pr)
I.Sirkülasyon pompaı	8 saat	100 Watt	800 Watt/saat
II.Sirkülasyon pompaı	8 saat	55 Watt	440 Watt/saat
Isıtıcı	3 saat	1000 Watt	3000 Watt/saat
Toplam			4240 Watt/saat

4.2.4. Fotovoltaik Güneş Paneli Sisteminin Hesabı

Fotovoltaik panel kullanılacak sistemlerde panel sayısı eşitlik 4.13 ile hesaplanmaktadır.

$$np = \frac{Pr}{P_{gp} \times t_s \times nL} \quad (4.13)$$

Burada np sistem için gerekli olunan güneş kollektör adedi, Pr sistemin çalışması durumunda gerekli elektriksel güç, Pgp sistemde kullanılması planlanan güneş paneli gücü, ts sistemin kurulumu gerçekleştirilecek bölgenin ortalama güneşlenme süresi, nL kayıp faktörü (0,85) dir.

Hibrit ısıtma sistemi için 455 Watt gücünde panel kullanılması düşünülmektedir. Şekil 4.12’de sistemde kullanılan fotovoltaik panelin görünümü verilmiştir. Güneşlenme süresi aylara göre değişkenlik göstermektedir. Sistemde kullanılan panel verimliliği % 20,9 olarak verilmiştir. Hesaplama güneşlenme süresi 7 saat alınmıştır.

$$n_p = \frac{P_r}{P_{sp} \times t_s \times n_L} = \frac{4240}{455 \times 7 \times 0,85} = 1,566$$



Şekil 4.12. Sistemde kullanılan fotovoltaik panelin görünümü

Hesaplama sonucunda 1,56 adet olmaktadır. Burada panel sayısı hesaplandığı için 1,56 sayısı 2 tam sayısına tamamlanır. Böylelikle sistemde iki adet 455 Wattlık panel kullanılması sonucuna varılır. Şekil 4.13’de sistemde kullanılan fotovoltaik panelin özellikleri verilmiştir.

Photovoltaic Module	
All technical data at standard test condition AM=1.5 E=1000W/m ² Tc=25°C	
Maximum Power (P _{max})	455(±3%) Wp
Power Selection	0~+5 W
Open Circuit Voltage (V _{oc})	50.10(±5%) V
Short Circuit Current (I _{sc})	11.96(±5%) A
Maximum Power Voltage (V _{mp})	41.40 V
Maximum Power Current (I _{mp})	10.99 A
Weight	23.5 kg
Dimensions	2094X1038X35 mm
Fuse Current	20 A
Maximum System Voltage	1500 V
NMDT	45±2 °C
Safety Class	Class II
  	
WARNING Hazardous Electricity Can Shock, Burn or Cause Death. Do Not Touch Terminals. For field connections, use 12 AWG wire insulated for minimum of 90°C.	

Şekil 4.13. Sistemde kullanılan fotovoltaik panelin özellikleri

Sistemde güneşten elde edilen enerji akülerde depolanmaktadır. Depolama işleminin tam yapılması, akü grubunun şarj-deşarj süresinin kısılması ve akülerin uzun ömürlü olması için solar şarj regülatörü büyük önem kazanmaktadır.

Sistem bileşenlerinde olan inverter fotovoltaiik panellerden ve gerekliliği halinde akü grubundan gelen doğru akımı alternatif akıma çeviren ekipmandır. Basit olarak inverter seçimi sistem bileşenlerinin aynı anda çalışması halinde sistemin bütün ihtiyaç olunan gücü sağlaması gerekmektedir. Bu da sistemdeki cihazların güçlerinin toplamının üzerinde olması gerekmektedir. Denklem 4.14 ile hesaplanmaktadır.

$$0,7 \times P_c < P_{inv} < 1,2 \times P_c \quad (4.14)$$

Burada P_c sistemde olan cihazların aynı anda çalışması durumundaki toplan güç, P_{inv} sistemde kullanılacak inverter gücüdür.

Hesaplama da cihazların aynı anda çalışmasında gerekli güç 1155 Watt civarında olmaktadır. Sonuç olarak 808 Watt ile 1386 Watt aralığında inverter kullanılması gerekmektedir. Teknolojinin ilerlemesi ile inverter ve şarj regülatörü birleştirilerek tek bir cihaz haline getirilmiştir. Bu sebeple sistemdeki daha sonra olabilecek sistem büyütmelemlere yönelik 3000 Wattlık akıllı (smart) inverter seçilmiştir. Şekil 4.14’de ısıtma sisteminde kullanılan akıllı inverter görünümü verilmiştir.



Şekil 4.14. Isıtma sisteminde kullanılan akıllı inverter görünümü

Hibrit ısıtma sisteminde kullanılan akıllı inverter HEGEL marka SVP-3KVA/3KW modelinde alternatif akım ve jeneratör girişi olan bir inverterdir. Akıllı inverterin üç girişi bulunmaktadır. Bunlar alternatif akım girişi, fotovoltaiik panel girişi ve akü girişidir. Akü girişi hem şarj hemdedeşarj amaçlı kullanılmaktadır. İnverterde bir adet de alternatif akım çıkışı

bulunmaktadır. Şekil 4.15’de inverterin giriş ve çıkışları gösterilmektedir. Ayrıca inverterin akü şarj veya sistemin yüksek akım çekmesi durumlarında inverterin yüksek sıcaklıklara maruz kalıp bozulmaması için iki adet fan çıkışı bulunmaktadır. Şekil 4.15’de inverterin sistemde bağlanmış hali verilmiştir.



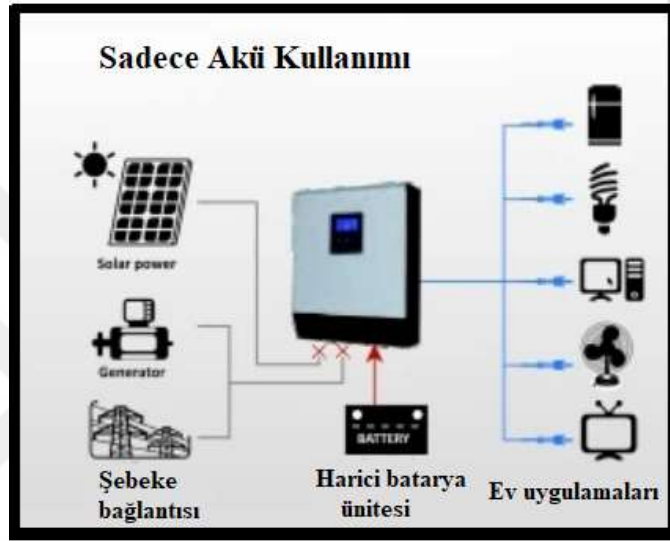
Şekil 4.15. İnverterin enerji giriş çıkışlarının görünümü

Güneş enerji sistemlerinde birçok farklı uygulama görmek mümkündür. Bununla beraber enerji depolama ve doğru akımı alternatif akıma çevrilmesinde inverterin önemi büyüktür. Bu sebeple birçok marka bu alanda çok çeşitli inverterler üretmişlerdir. Bazı inverterler off- grid (şebeke bağlantısı olmaksızın) olarak çalışırken bazılarında on-grid (şebeke bağlantılı) olarak çalışır. Ayrıca burada en önemli özelliklerden biride inverterin optimizasyon özelliğidir. Bu özellik güç yönetiminde önemli ölçüde tasarruf yapılmasına olanak sunmaktadır. Tablo 4.7’de akıllı inverterin özellikleri verilmiştir.

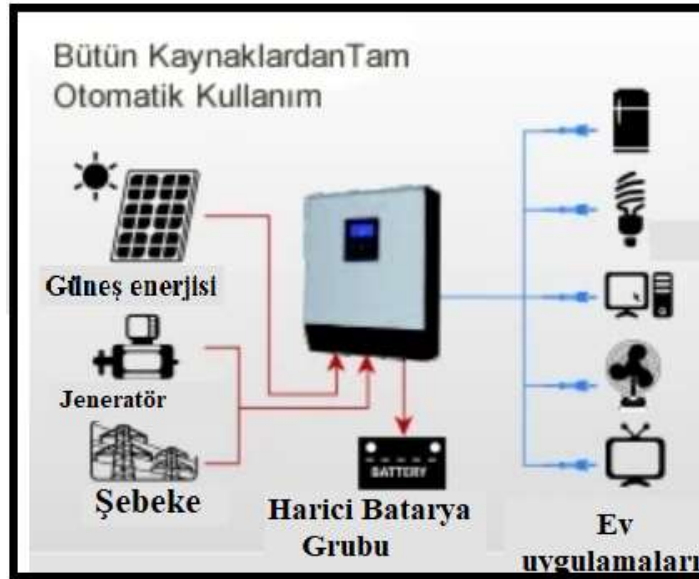
Tablo 4.7. Akıllı inverterin özellikleri

İnverter	Özellikleri
Batarya voltajı	24 Volt
AC Çıkışı	230VAC- 50/60 Hz 13Amp
DC Giriş	24 VDC- 142A
Çıkış Gücü	3000 Watt
İnverter Tipi	Akıllı inverter
Faz Çıkışı	Tek faz
Aşırı akım/voltaj koruma	Mevcut
Aşırı ısınma koruması	Mevcut
Şarj Kartı	PWM

Sistemde kullanılan akıllı inverter birçok cihazı çıkış kapasitesi doğrultusunda aynı anda çalıştırabilir. Burada önemli olan invertere giren enerjinin farklılığıdır. Girişlerden biri olan fotovoltaiik panel girişi güneşten gelen enerjiyi elektrik enerjisine çevirerek enerji ihtiyacının karşılanmasına olanak sağlamaktadır. Sistemde özellikle akıllı inverter kullanılmasının önemi birçok kaynağın aynı anda kullanılmasına imkân tanımaktır. Şekil 4.16’da kaynak olarak sadece akü kullanılması durumu ve Şekil 4.17’de birçok enerji kaynağının aynı anda kullanılması durumları verilmiştir.



Şekil 4.16. Kaynak olarak sadece akü kullanılması durumu



Şekil 4.17. Birçok enerji kaynağının aynı anda kullanılması

Hibrit sistemlerde birçok kaynak ve cihaz bir arada kullanılabilir. Bu sebeple akıllı inverter ve sıcaklık sensörleri sistemde büyük görev üstlenmişlerdir. Örneğin akıllı inverter güneş ışıını olmasında PV panellerden gelen enerji ile akü grubunu şarj işlemini devam ettirirken sistem dahilinde termostatlar, iş akışkanlarının sürkülasyonu için pompaların çalışması ve elektrikli ısıtıcının çalışması için enerji trafiğini kontrol etmektedir. Ayrıca akıllı inverter programı kapsamında seçilen çalışma prensibi ile alakalı olarak çıkış yükleri için PV panellerden gelen enerji, akü grubunda var olan enerji, şebeke ya da jeneratör de sisteme enerji sağlamasına izin verebilip, birçok kaynağı aynı anda kullanılmasında olanak sağlamaktadır. Şekil 4.18’de termostatlar, akıllı inverter, akü grubu ısıl enerji tankı ve pompaların görünümü verilmiştir.



Şekil 4.18. Termastatlar, akıllı inverter, akü grubu, ısıl enerji tankı, pompalar, bilgi toplayıcı ve ısıçiftlerin görünümü

Hibrit ısıtma sisteminin önemli bileşenlerinden biri de elektrik enerjisinin depolanıp enerji ihtiyacı olması durumunda tekrar alınan depolama ünitesi olan akü grubudur. Aküler çok çeşitli olup kullanım amaçlarına göre farklılıklar göstermektedir. Sistemde ihtiyaç olunan aküleri belirlemek için 4.15 eşitliği kullanılmıştır.

$$TBG = GPG \times GPA \times GS \times 1.20 \times 2 \quad (4.15)$$

$$TBG = 455 \times 2 \times 7 \times 1.20 = 7644 \text{ Watt}$$

Burada TBG toplam batarya gücünü ifade etmektedir, GPG sistemde kullanılan güneş paneli gücünü, GPA sistemde kullanılan güneş paneli adedini, GS sistemin kurulumu yapıldığı yerin güneşlenme süresini, 1.20 derin şarj bataryalarının çarpım katsayısını ifade etmektedir. Sistemde kullanılan 455 Watt gücünde iki adet panel ve 7 saatlik güneşlenme süresi dikkate alındığında 7644 Wattlık güç üretimi sağlanmaktadır. Maliyetlerin artmaması ve sistemin verimli çalışması için 4 adet 12 volt 100 amperlik akü kullanılmıştır. Böylelikle sistemde ihtiyaç halinde 4800 Wattlık enerji depolanması gerçekleşmektedir. Şekil 4.19’da hibrit ısıtma sisteminde kullanılan akülerin görünümü verilmiştir.



Şekil 4.19. Hibrit ısıtma sisteminde kullanılan akülerin görünümü

4.2.5. Jeneratörün özellikleri

Hibrit ısıtma sisteminde yenilenebilir enerji kaynaklarının olmadığı günün ve haftanın zaman dilimlerinde sistemin enerji ihtiyacının sağlanması için benzin yakıtlı jeneratör kullanılmıştır. Şekil 4.20’de hibrit ısıtma sisteminde kullanılan jeneratörün görünümü verilmiştir.



Şekil 4.20.Hibrit ısıtma sisteminde kullanılan jeneratörün görünümü

Hibrit ısıtma sisteminin destekleyici enerji yardım sistemi olan benzin yakıtlı jeneratör ısı enerjisinin ve akü grubunda elektrik enerjisinin yeterli olmaması durumunda devreye girerek sistemin ihtiyacını karşılamaktadır. Enerjinin yetersiz olması durumunda devreye girerek iş akışkanı pompalarının elektrik enerjisinin karşılanması, ısı enerjisi tankının içinde bulunan elektrik ısıtıcısının çalıştırılması ve sistemde bulunan akü grubunun şarj olması için belirli bir süre çalışarak devreden çıkar. Tablo 4.8.’de sistemde kullanılan jeneratörün özellikleri verilmiştir.

Tablo 4.8. Sistemde kullanılan jeneratörün özellikleri

Özellikler	Açıklama ve Değerler
Model	H2700
Motor Modeli	GX 160
Motor tipi	Benzinli- 4Zamanlı, hava soğutmalı, tek silindir
Çap Strok (mm)	68 x 45
Silindir Hacmi (cm ³)	163
Ateşleme Sistemi	Transistörlü manyeto
Yakıt Depo Kapasitesi (lt)	3,6
Sürekli Çalışma süresi (saat)	2,7
Yakıt Tüketimi (lt/saat)	1.32
Yağ Kapsitesi (lt)	0.6
Ses Gürültü Seviyesi (dBA-7m)	98
Frekans(Hz)	50
Gerilim AC (V)	230
Maksimum çalışma gücü (kVA)	2,4
Sürekli çalışma gücü (kVA)	2,2
Sürekli çıkış akımı (A)	10
Faz	Monofaze
Boş ağırlığı (kg)	40
Boyutlar(UxGxY) cm	62x43x59
Yağ İkaz sistemi	Var
AC devre kesici	Var

4.2.6. Isıl enerji kolektörünün özellikleri

Proje kapsamında kullanılan bileşenlerden biri ısı enerji kolektörüdür. Şekil 4.21’de proje kapsamında kullanılan güneş kolektörün görünümü verilmiştir. Vakumlu güneş kolektörü güneş ışınımında bulunan ısı enerjinin absorbe edilerek iş akışkanına aktarma görevini yerine getirmektedir. Isıtılması düşünülen alanın yapı bileşenlerinin ısı kaybına rağmen iç ortam sıcaklığını dış ortam sıcaklığına göre konfor seviyesinde tutmak için en önemli bileşenlerden biri termal güneş kolektörüdür. Şekilde sistemde kullanılmış ısı güneş kolektörünün görünümü verilmiştir. Şekil 4.22’de güneş kolektörü iş akışkanı giriş çıkış noktaları ve sıcaklık ölçüm sensör konumu verilmiştir.



Şekil 4.21. Proje kapsamında kullanılan termal kollektörün görünümü



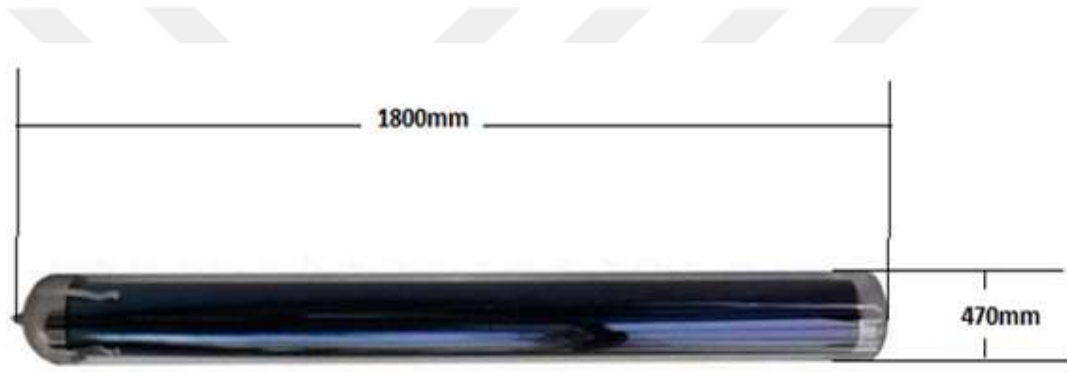
Şekil 4.22. Güneş kollektörü iş akışkanı giriş çıkış noktaları ve sıcaklık ölçüm sensör konumu

Proje kapsamında vakumlu güneş kollektörü kullanılmıştır. Güneş kollektöründe 30 adet cam borulu iş akışkanının vakumlu boru içinde dolaşıp termosifon etkisiyle tabi dolaşımı ve 150 litre iş akışkanı depolama özelliğine sahip tanklı modeli kullanılmıştır. Güneş kollektöründe kullanılan vakumlu cam tüp iki katmanlıdır. Cam tüplerin bir ucu kapalıdır. Şekil 4.23’de vakumlu cam tüpün iş akışkanı giriş yeri ve cam tüpün vakumlanarak kapatılmış son kısmı gösterilmiştir. İç cam tüp içinde iş akışkanı dolaşıp güneşten absorbe edilen ısı enerjisi camın ısınması ile iş akışkanına aktarılır. Dış cam tüp ile iç cam tüp arasındaki vakumlu alan ısı kaybını minimum seviyeye indirmek için kullanılır. Ayrıca iç cam tüpün dışı siyah renkte yüksek absorbe etme

kabiliyetine sahip boya ile boyanmıştır. Şekil 4.24’de vakumlu güneş kollektörünün tam görünümü verilmiştir.



Şekil 4.23. Vakumlu cam tüpün iş akışkanı giriş yeri ve cam tüpün vakumlanarak kapatılmış son kısmı



Şekil 4.24. Vakumlu güneş kollektörünün tam görünümü

Vakumlu cam tüpün düzlemsel güneş kollektörüne nazaran daha farklı özellikleri vardır. Başta verim ve kurulum kolaylığı gibi özellikleri ile bireysel ve bazı endüstriyel kullanımlarda kolaylıklar sağlamaktadır. Tablo 4.9’da vakumlu güneş kollektöründe kullanılan cam tüpün özellikleri verilmiştir.

Tablo 4.9. Vakumlu güneş kollektöründe kullanılan cam tüpün özellikleri

Ölçüm Yerleri	Değerler
Cam tüp dış ölçüsü	47 mm
Cam tüpün iç ölçüsü	38mm
Cam kalınlığı	1mm
Vakumlu cam tüp uzunluğu	1800mm
Kullanılan vakumlu tüp sayısı	30 adet
Kollektör eğim açısı	42
Güneş radyasyon miktarı	Değişken (W/m^2)
Kollektör alanı	$3.2 m^2$
Işınım geçirgenlik katsayısı	0.95
Cam kaplama geçirgenliği	0.88

Hibrit ısıtma sisteminde kullanılan fotovoltaik panel ve vakumlu güneş kollektörünün montajı güneş ışınlamından en verimli olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.25’de vakumlu güneş kollektörü ve fotovoltaik panel görünümü verilmiştir.



Şekil 4.25. Vakumlu güneş kollektörü ve fotovoltaik panel görünümü

Proje kapsamında güneşten gelen ışınlam enerjisindeki ısı enerjiden maksimum ölçüde faydalanma ısıtılan alanın yenilenebilir enerji ile ısıtılması adına büyük önem taşımaktadır. Çünkü güneş kollektör iç sıcaklığına göre pompanın çalışması, ısı enerjisi deposunun ısıtılması ve elektirik ısıtıcısının kontrolünü etkilemektedir. Bu sebeple güneş kollektörünün tank sıcaklığı kontrol edilip bu sıcaklığa göre sistemin çalışmasına yön verilmesi gerekmektedir. sistemde güneş kollektörünün sıcaklığını takip edip ve iş akışkanı sirkülasyon pompasının çalıştırılıp kapanmasına yönlerecek termostatlı röle kullanılmıştır. EVCO firmasının EV3X21 dijital termostat sisteme entegre edilmiştir. Şekil 4.26’da sistemde kullanılan termostatın görünümü verilmiştir. EV 3X21 model termostatın kontrol edilmesi düşünülen alanın sıcaklığını, sıcaklık ölçüm sensörü yardımıyla gerçekleştirilmektedir.



Şekil 4.26. Sistemde kullanılan termostatın görünümü

Proje kapsamında alınan EV 3X21 ayarlanabilir sıcaklık ölçüm ve röle kontrol sistemi iki adet kullanılmıştır. Birincisi güneş kolektör sıcaklığını ölçüp ihtiyaç halinde 1 numaralı iş akışkan pompasının açıp kapanmasını kontrol eden termostat (kontrol sistemde sağdaki). İkincisi ısıtılan ortamda ki sıcaklığı kontrol edip 2 numaralı iş akışkan pompasının açıp kapanmasını kontrol etmek amacıyla kullanılmıştır (kontrol sisteminde soldaki). Şekil 4.27’de kontrol sisteminde dijital termostat ve akıllı inverter görünümü verilmiştir.



Şekil 4.27. Kontrol sisteminde dijital termostat ve akıllı inverter görünümü

Proje kapsamında yenilenebilir enerji kaynakları günün her anında aynı potansiyelde olmadığı için sistemin çalışmasının devamını sağlamak ve enerji güvenilirliği için benzin yakıtlı jeneratör kullanılmıştır. Jeneratör sistemde gerek ısı enerjisi ve gerekse akü gruplarında yeterli enerji olmaması durumunda devreye girerek sistemde ihtiyaç olunan elektrik enerjisi karşılanmak için çalışmaktadır.

4.3. Hesaplama Yöntemleri

Sistem off-grid olarak çalıştırılması planlanmaktadır. Sistem, güneş kolektörünün güneşten ısı enerjisiyi absorbe etmesi ve aynı zamanda fotovoltaik panellerin güneşten elektrik enerjisinin kazanımıyla başlamaktadır. Elde edilen ısı enerjisi ısıtılması düşünülen yaşam alanının mevcut ve sonraki ısı ihtiyacını karşılamak için depolanarak güneş ışınımının olmadığı zaman diliminde de karşılanması amaçlanmaktadır. PV panellerden elde edilen elektrik enerjisi sistemde bulunan iş akışkanını sirkülasyon pompaları, elektrik ısıtıcısı ve sistem kontrol mekanizmasının enerjisinin karşılanması haricinde eş zamanlı olarak akü grubunda sonra ki kullanımlar için depolanacaktır. Güneş kolektör sisteminde bulunan iş akışkanına transfer edilen ısı enerjisi belli bir dereceye geldiğinde pompa çalışarak iş akışkanını ısı enerjisi tankındaki ısı değiştiricisinde kapalı çevrimde

dolaşmaya başlamaktadır. Isıl enerji tankındaki sıcaklık istenilen seviyeye geldiğinde ısıtılacak ortamda ki iş akışkanını sistemde dolaşımını sağlayan pompa harekete geçerek ısıl enerji tankında ki enerji ile ortam ısıtılması sağlanacaktır. Güneşten elde edilen ısıl enerji hem ortam ısıtılmasında hem de tanklardaki su sıcaklığını yüksek seviyede tutmak için kullanılacaktır.

Güneşten elde edilecek termal enerji istenilen oranda olmaması halinde ısıl enerji tankında bulunan elektrikli su ısıtıcısı invertörden beslenerek ısıl enerji tank sıcaklığını yükseltmekte kullanılacaktır. Akü grubunda istenilen enerji karşılanamaması durumunda jeneratör devreye girerek sistemde bulunan iş akışkan pompaları için gerekli enerji, akü grubunun şarjı ve ısıl enerji tankında ki ısıtıcısını enerjisini sisteme girerek ve sistemden çıkarak çalıştırılması planlanmıştır.

4.3.1. Fotovoltaik Panelin Enerji Analizi

Fotovoltaik panel için enerji verimi, PV panelin elektrik enerjisi üretiminin fotovoltaik panel üzerine gelen enerjiye oranı olarak açıklanmaktadır. Fotovoltaik panellerde tasarım itibarıyla üretilen elektrik enerjisi doğru akım (DC) olarak elektrot çıkışlarında gerçekleşir. Panel çıkışlarında elde edilen doğru akım ihtiyaç halinde invertör vasıtasıyla alternatif akıma (AC) çevrilir. Fotovoltaik panellerin nominal üretim özellikleri 1000 W/m² ışınım altında ve 25 °C standart test şartları altında belirlenir. Fotovoltaik panellerin katalog bilgilerinden veya test sırasında (1000 W/m² ve 25 °C sıcaklık) farklı olarak enerji çıkışları panelin kurulumu yapıldığı yerin almış olduğu ışınım miktarına ve çevre sıcaklığına göre değişiklik göstermektedir. Fotovoltaik panelin elektrik çıkış değerlerinin panel üzerine gelen güneş radyasyonuna ve çevre sıcaklığına bağlı test şartlarına göre farklılıkları belirlemek için ilk olarak PV panelin kullanılacağı şartlardaki (ışınım ve çevre sıcaklığı) panel sıcaklığı Denklem 4.16 ile hesaplanacaktır.

$$T_{p.s.} = T_{\text{Çev}} + \frac{(NOCT - 20) \times G}{800} \quad (4.16)$$

Burada G, NOCT, T_{p.s.} ve T_{Çev.} sırasıyla güneş radyasyon değerini, nominal çalışma hücre sıcaklığını, panel sıcaklığını ve çevre sıcaklığını ifade etmektedir. Fotovoltaik panellerin kurulumunun yapıldığı bölgenin ışınım ve çevre sıcaklık değerlerine bağlı olarak panellerin elektrik enerji üretimi çıkışları Denklem 4.17 ile hesaplanacaktır.

$$P_{\text{mak.}} = V_{\text{MP}} \times I_{\text{MP}} \quad (4.17)$$

Burada I_{mp} ve V_{mp} fotovoltaik panelin çalıştırıldığı iklim şartlarındaki maksimum akım ve gerilim değerleridir. Bazı hesaplamaların yapılması için panelin kurulumu yapıldığı bölgedeki ışınım ve panel alan ölçülerine göre PV panel üzerine düşen maksimum enerjinin (En_{in,pv}) hesaplanması gerekmektedir. Toplam panel üzerine düşen enerji Eşitlik 4.18 ile hesaplanmıştır.

$$En_{\text{in,pv}} = G \times A_{\text{pv}} \quad (4.18)$$

Burada A_{PV} proje kapsamında kullanılan PV panelin yüzey alanıdır. PV panelden elde edilen çıkış gücü (P_{max}) ile panel yüzey alanına gelen toplam gücün oranı panelin çalışmış olduğu bölgenin çevresel şartları altındaki verimini vermektedir. Bu eşitlik 4.19 ile hesaplanmaktadır.

$$\eta_{PV} = \frac{E_{n,çık,PV}}{E_{n,gir,PV}} = \frac{P_{maks}}{E_{n,gir}} \quad (4.19)$$

Burada $E_{n, çık,pv}$ PV panellerden çıkan enerjidir. $E_{n,gir,pv}$ PV panel yüzeyine gelen toplam enerji (PV panellerin toplam alanı x Işınım) Fotovoltaik panelden üretilen doğru akım enerjisi birçok uygulamalarda alternatif akıma çevrilmektedir. Bu çevrim sırasında birçok noktada enerji kayıpları olmaktadır. Bunlar PV panel ile inverter arasındaki kabloda, inverterde ve alternatif akım kablosunda meydana gelmektedir. Alternatif akım kablosunda, inverterde ve doğru akım kablosundaki kayıplar sırasıyla %1, %3 ve %1 olarak kabul edilmiştir. Bütün sistemdeki kayıplar Denklem 4.20 ile hesaplanmıştır.

$$E_{n,kayıp,sis} = P_{maks} \times (1+3+1) \% \quad (4.20)$$

Üretilen enerji bu oluşan elektriksel kayıplardan sonra net elde edilen enerjidir. Bu enerji Denklem 4.21 ile hesaplanmıştır.

$$E_{n,çık,sis} = E_{n,çık,pv} - E_{n,kayıp} \quad (4.21)$$

Tüm sistemin enerji kayıplarından sonraki enerji çıktıları ile PV panellerin verimi hesaplanır. Bu hesaplama enerji kayıplarının PV panel yüzeyine gelen toplam enerji miktarına oranıdır. Tüm PV panel sisteminin verimi, Denklem 4.22 ile hesaplanmaktadır.

$$\eta_{sis} = \frac{E_{n,çık,sis}}{E_{n,gir,sis}} \quad (4.22)$$

4.3.2. Fotovoltaik Panelin Ekserji Analizi

Fotovoltaik panellerde ekserji analizi yapılırken ilk olarak PV panel üzerine düşen güneş ışıının ekserji analizinin hesaplanması gerekmektedir. Bu hesaplamada birçok değer kullanılmaktadır. Bunlar güneş sıcaklığı, güneş radyasyonu ve ortalama çevre sıcaklığına bağlıdır. Bu hesaplama Denklem 4.23 ile hesaplanmaktadır.

$$\dot{E}_{güneş,PV} = A_{PV} G \left[1 + \frac{1}{3} \left(\frac{T_c}{T_{güneş}} \right)^4 - \frac{4}{3} \left(\frac{T_c}{T_{güneş}} \right) \right] \quad (4.23)$$

Bu denklemde $T_{güneş}$ ve T_c sırasıyla güneş sıcaklığı ve çevre sıcaklığıdır. Güneş sıcaklığı 5800 K olarak kabul edilmiştir [75]. Genel olarak elektrik enerjisi üretilen sistemlerde ekserji elektrik enerjisine eşittir. Bu sebeple PV panelin üzerine düşen radyasyon ışıının elektrik enerjisine dönüşümü sonucu meydana gelen maksimum enerji üretimi PV panellerin kurulum alanının iklim şartları ile doğrudan alakalıdır.

Güneş ışıının enerjisinin ekserjisi, fotovoltaik panelde üç farklı şekilde yıkıma uğrar. İlk PV panelin hücre sıcaklığının çevre sıcaklığı farkı sonucu çevre olan ısı transferi durumunda olan ekserji yıkımı, ikincisi fotovoltaik panelde oluşan içsel yıkım ve son olarak güneş ışıının

enerjisinin yarı iletkenler vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüşümü durumunda yıkıma uğramaktadır. PV panelin standart test koşullarında (1000 W, 25 °C) üreteceği enerji Eşitlik 4.24’de verilmiştir.

$$EX_{elek,PV} = V_{AD} \times I_{KD} \text{ (kWh)} \quad (4.24)$$

Burada V_{AD} test şartlarında fotovoltaiik panelin açık devre gerilimini, I_{KD} ise fotovoltaiik panelin test koşullarında kısa devre akımını ifade etmektedir. Güneş ışınımının elektrik enerjisine transferi durumunda oluşan ekserji yıkımı Denklem 4.25 ile hesaplanmaktadır.

$$EX_{D,conv} = EX_{soll} - EX_{elec,PV} \text{ (kWh)} \quad (4.25)$$

Fotovoltaiik panelde oluşan içsel ekserji yıkımı panelin doldurma faktörü ile alakalı olarak panele gelen güneş ışınımı altındaki ekserji ile panelden elde edilen elektrik enerjisi farkına eşittir. Bu hesaplama Denklem 2.26 ile hesaplanmaktadır.

$$EX_{D,elek} = EX_{elek,PV} - P_{max} = V_{AD} \times I_{KD} \times (1-FF) \text{ (kWh)} \quad (4.26)$$

Fotovoltaiik panelde meydana gelen ekserji yıkımlarından olan çevre ile alakalı ısı transferiyle oluşan ekserji yıkımı Denklem 4.27 ile hesaplanmaktadır.

$$EX_{D,ısı} = \dot{Q} \left(1 - \frac{T_{çevre}}{T_{P,y}} \right) \text{ (kWh)} \quad (4.27)$$

Bu eşitlikte $T_{çev}$, $T_{P,S}$ ve $\dot{Q}$ sırasıyla panelin olduğu alanın çevre sıcaklığı, panelin çalışma şartlarındaki sıcaklığı ve panelden çevreye olan ısı kaybıdır. Formülde olan PV panelin yüzeyinden çevreye oluşan ısı kaybı (Q) Denklem 4.28 ile hesaplanmıştır.

$$\dot{Q} = U \times A_{P,S} \times (T_{P,S} - T_{çev}) = (h_{conv} + h_{rad}) \times A_{pv} \times (T_{P,S} - T_a) \text{ (kWh)} \quad (4.28)$$

Burada U konveksiyon ve radyasyon değerlerinin toplamı olan toplam ısı transfer katsayısıdır. Konveksiyon yoluyla oluşan ısı transfer katsayısı Eşitlik 4.29 ile hesaplanmaktadır. (Bayrak ve diğerleri, 2017).

$$h_{conv} = 2.8 + 3 \times V_{Rüzgar} \text{ (W/m}^2 \text{ °C)} \quad (4.29)$$

Bu eşitlikte $V_{Rüzgar}$ PV kurulum alanındaki saatlik rüzgâr ortalama hızıdır.

Çevre ve fotovoltaiik panel arasındaki ışınlm yolu ile oluşan ısı transfer katsayısı Eşitlik 4.30 ile hesaplanmaktadır.

$$h_{rad} = \varepsilon \times \sigma \times (T_{gökyüzü} - T_{P,S}) \times (T_{gökyüzü}^2 + T_{P,S}^2) \text{ (W/m}^2 \text{ °C)} \quad (4.30)$$

Bu denklemde σ ve ε sırasıyla Stefan- Boltzmann sabiti ve emisyonu ifade etmektedir. Bu eşitlikte kullanılan gökyüzü sıcaklığını ifade eden $T_{gökyüzü}$ 4.31 Denklemi ile hesaplanmaktadır.

$$T_{gökyüzü} = T_{çev} - 6 \text{ (°C)} \quad (4.31)$$

Fotovoltaiik panelin ekserji verimi panelin ekserji çıkışının panel yüzeyine gelen ekserjiye oranıdır. Fotovoltaiik panelin ekserji çıkışı güneş enerjisi ekserjisinden panelde meydana gelen ekserji yıkımlarının çıkarılması ile elde edilir ve Denklem 4.32 ile hesaplanmaktadır.

$$EX_{Çık,PV} = EX_{güneş} - EX_{yık,conv} - EX_{yık,elek} - EX_{yık,ısı} = P_{maks} - EX_{yık,ısı} \quad (4.32)$$

Fotovoltaik panelin ekserji verimi Denklem 4.33 ile hesaplanmaktadır.

$$\psi_{PV} = \frac{E_{maks,PV}}{E_{güneş,PV}} = \frac{P_{maks} - E_{xy,ısıt}}{E_{x,güneş,PV}} \quad (4.33)$$

4.3.3. Solar Güneş Kollektörünün Enerji Hesaplanması

Enerji analizi, enerji dengeleri ve enerji verimliliği ışığında termodinamiğin birinci yasası ile ilişkilidir. Güneş kollektöründeki faydalı enerji kazancı, kollektöre gelen enerji ve kollektörden emilen enerji dikkate alınarak vakum tüplü güneş kollektörünün verimliliği hesaplanmıştır. Genel enerji dengesi Denklem 4.34 ile ifade edilmektedir.

$$\sum E_{giren} = \sum E_{çıkan} \quad (4.34)$$

Bir sisteme giren enerji sistemden çıkan enerjiye eşittir. Güneş kollektörünün üzerine gelen enerji Eşitlik 4.35 ile hesaplanmaktadır.

$$E_{in} = A_{GK} G \quad (4.35)$$

Burada G , güneş kollektör yüzeyine gelen Işınım, A_{GK} güneş kollektör yüzey alanıdır. Vakumlu tüp güneş kollektörü tarafından elde edilen faydalı enerji Denklem 4.36 ile hesaplanmaktadır.

$$E_u = \alpha \tau I A_{SC} \quad (4.36)$$

Burada α kollektör cam soğurma katsayısı, τ kollektör cam geçirgenlik katsayısıdır. Vakumlu kollektörler içinde ki su tarafından emilen faydalı enerji Denklem 4.37 ile hesaplanmaktadır.

$$E_{out} = \dot{m} c_p \Delta T \quad (4.37)$$

Vakumlu güneş kollektörünün enerji verimi Denklem 4.38 ile hesaplanmaktadır.

$$\eta = \frac{\dot{m} c_p \Delta T}{A_{SC} I} \quad (4.38)$$

4.3.4. Güneş Kollektörünün Ekserji Analizi

Enerji analizi bir sistemi enerji kullanım yönlerini tek başına değerlendirmek için birçok zaman yeterli olmamıştır. Ayrıca niteliksel ve niceliksel olarak bir analiz sağlanamaz. Ekserji analizi termodinamiğin birinci ve ikinci yasalarını kullanarak sistemin verimliliğini anlamak ve artırmak için kullanılır. Genel ekserji denge eşitliği Denklem 4.39 ile ifade edilir.

$$\sum E_{x,in} - \sum E_{x,out} = \sum E_{dest} \quad (4.39)$$

Akışkanın ekserji çıktı oranı Denklem 4.40 ile hesaplanmaktadır.

$$E_{x,out} = \dot{m}C_p \left[(T_{out} - T_{in}) - T_a \ln\left(\frac{T_{out}}{T_{in}}\right) \right] \quad (4.40)$$

Cam tüpteki akışkanın ekserji girdi oranı Denklem 4.41 ile hesaplanmaktadır.

$$E_{x,in} = IA_{sc} \left(\frac{T_a}{T_{sun}} \right) \quad (4.41)$$

Sistemde kullanılan vakum tüplü güneş kollektörünün ekserji verimliliği Denklem 4.42 ile hesaplanmaktadır.

$$\psi = \frac{\dot{m}C_p [(T_{out} - T_{in}) - T_a \ln(\frac{T_{out}}{T_{in}})]}{GA_{sc} (1 - \frac{T_a}{T_s})} \quad (4.42)$$

4.3.5. Sistemin Karbondioksit Salınımının Hesaplanması

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı hibrit enerji sistemlerinde Jeneratör gibi fosil kaynaklarla çalışan ekipmanlar sistemde çalıştırılıyorsa, bu çalışan ekipmanların çalışma sonucunda atmosfere bırakacağı zararlı gazların miktarının bilinmesi gerekmektedir. Hesaplamaya hibrit ısıtma sisteminde kullanılan jeneratörün çalışma süresi içinde kullandığı yakıtın miktarının hesaplanması ile başlanılır.

Proje kapsamında kullanılan jeneratörün 1 saatlik çalışması durumunda 1,32 litre benzin yakıt tüketiminde bulunduğu teknik verilerden elde edilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda 1 litre benzinin (740gr) yanması sonucu 2,31 kg karbondioksit gazı meydana geldiği belirlenmiştir[76]. Bu hesaplama Denklem 4.43’de verilmiştir.

$$\text{Karbondioksit Gaz Miktarı (kg)} = \text{Yakıt miktarı (litre)} \times 2,31 \text{ kg/litre} \quad (4.43)$$

Örneğin jeneratör proje kapsamında 5 saat çalışmış ise bu süre içinde tüketmiş olduğu yakıt belirlenir.

Toplam Kullanılan Yakıt (litre) = 5saat x 1,32 litre/saat = 6,6 litre (toplam kullanılan yakıt)
Zararlı Gaz Miktarı (kg) = 6,6 litre x 2,31 kg/litre = 15,246 kg (zararlı gaz miktarı)

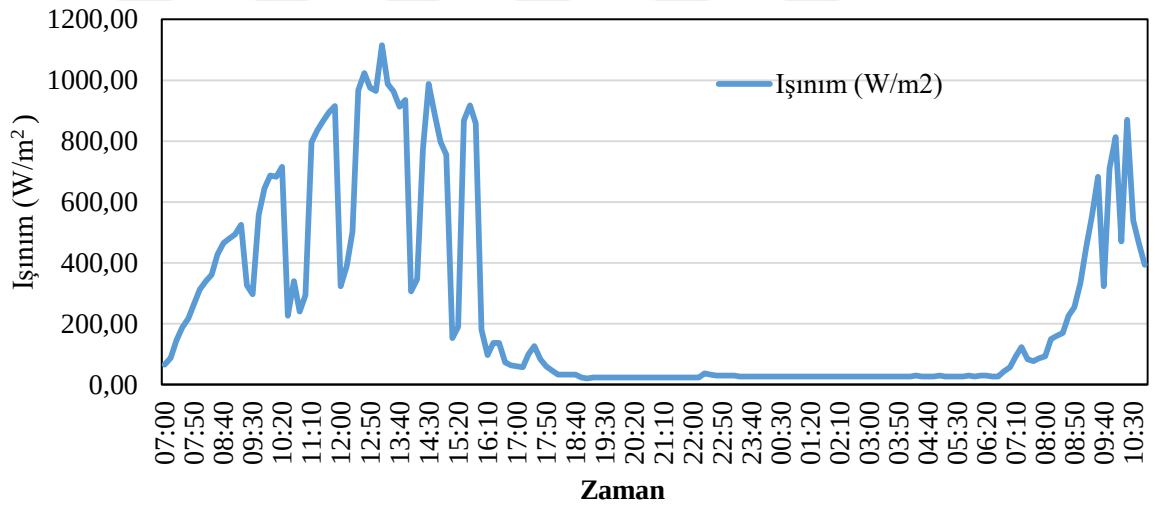
Hesaplama sonucunda ısıtılması düşünölen alan hibrit sistem olmadığı duruma göre değerdendirilirse atmosfere salınımı gerçekleşecek ne kadar karbondioksit miktarının önüne geçildiği anlaşılmaktadır.



5. BULGULAR VE TARTIŞMA

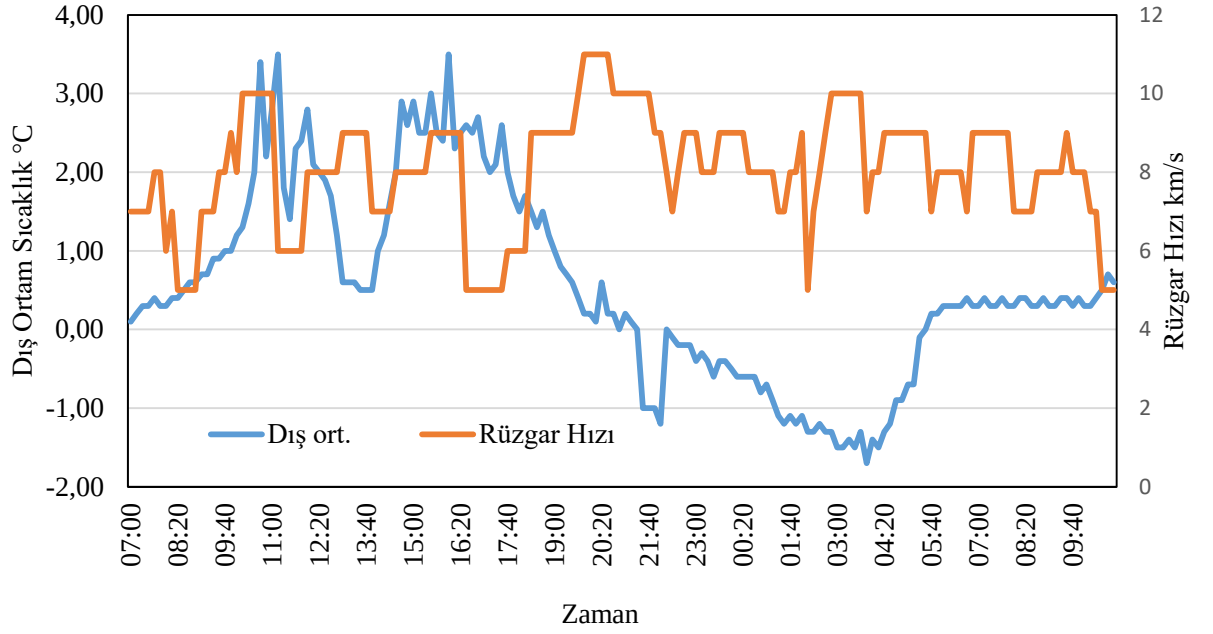
Elazığ merkez ilçesine bağlı Harput-Göllübağ mahallesinde bulunan yaşam alanına fotovoltaik panel sistemi, vakum tüp bileşenli güneş kollektörü sistemi, ısıl enerji depolu hibrit ısıtma sistemi deneysel olarak kurulmuştur. Deneysel çalışmalar 2023 yılının Mart, Nisan, Mayıs ve Kasım aylarında yapılmıştır. Yapılan deneylerde elde edilen ölçümler ışığında hesaplamalar yapıp grafikler halinde verilmiştir.

Hibrit ısıtma sistemi güneşten gelen ışınlam durumuna göre çalışmaktadır. 30 Mart 2023 tarihinde ışınlam şiddeti bulutlanma sebebiyle önemli ölçüde değişkenliğe sahip olmuştur. Bu nedenle gerek PV panelden gerekse vakumlu güneş kollektöründen elde edilecek enerji kazancını olumsuz yönde etkilenecektir. Şekil 5.1’de deney 30 Mart 2023 zamanına ait ışınlam bilgileri verilmiştir.



Şekil 5.1. Deney zamanına ait ışınlam bilgileri verileri

31/03/2023 tarihinde yapılan deneyin dış ortam sıcaklığı ve rüzgâr hızı gibi iklim verilerinin Şekil 5.2’de zamana göre değişimi verilmiştir. Rüzgâr hızının yüksek olması ve dış ortam sıcaklıklarının düşük seviyelerde ilerlemesi ısıtma için olumsuz bir durum oluşturmaktadır. Deneyin yapıldığı zaman Mart ayı olması nedeniyle dış ortam sıcaklığı 20:20 saatlerinde sıfır derecenin altında seyretmiş olup güneş ışınlamının başlaması ile dış ortam sıcaklığı sıfır derecenin üzerine çıkmıştır. Rüzgâr hızı değişken olmuştur.

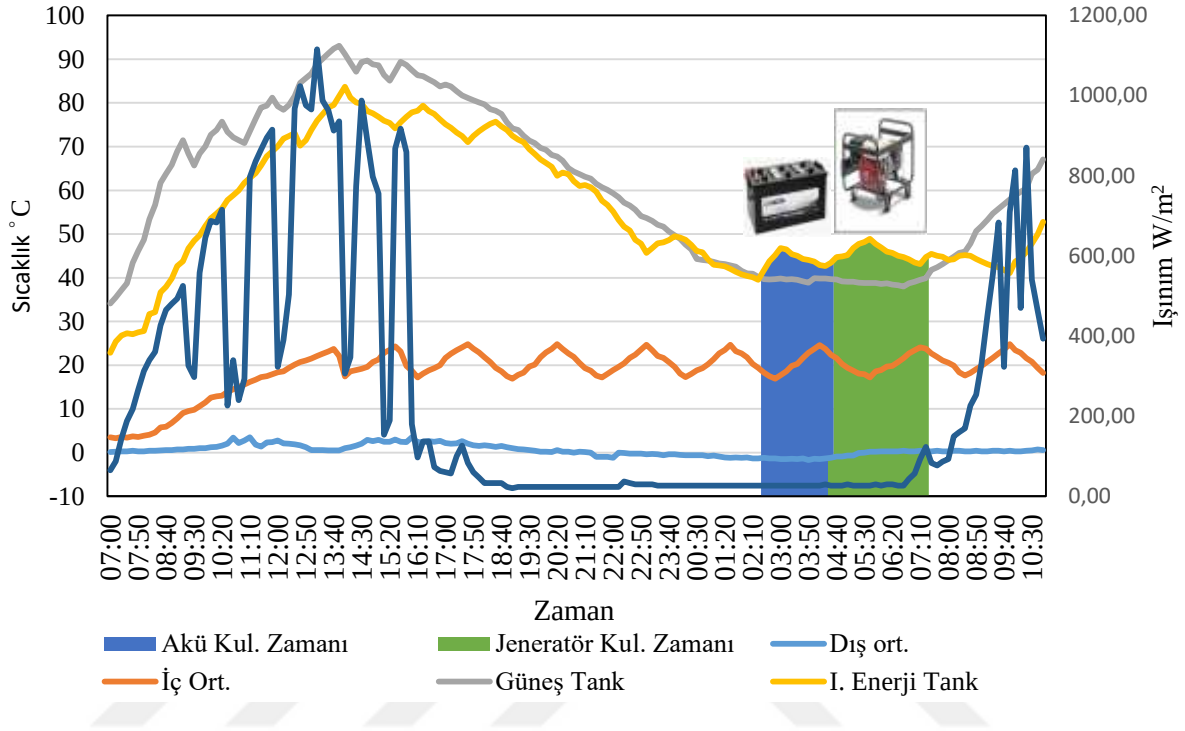


Şekil 5.2. 31/03/2023 tarihli deney zamanı ölçülen dış ortam sıcaklığı ve rüzgar hızı

Hibrit sistemle ısıtılan oda, istenilen ısı konfor şartlarına 13:00 saatlerinde ancak ulaşmıştır. Buna etki eden etkenlerin başında dış ortam sıcaklığının sıfır dereceye yakın ve altında olması, güneş ışınlam şiddetinin yüksek seviyelerde olmaması, güneş ışınlamının çok değişken olması, rüzgâr hızının yüksek olması gibi durumları sıralayabiliriz. Ayrıca dış ortam sıcaklığının düşük seviyelerde olması rüzgâr hızı ile odanın soğuması üzerinde önemli etkiye sahip olmuştur. Şekil 5.3'deki grafikte dış ortam sıcaklığı, iç ortam sıcaklığı, güneş tank sıcaklığı, ısıl enerji tank sıcaklığının değişimi ve sistemin akü-jeneratör çalışma zaman incelenmiştir. Güneş ışınlam şiddetinin düşmesi ile ısıl enerji tankındaki enerjide paralel olarak düşmüştür. Ortam sıcaklığı dijital termostat vasıtasıyla 18 ile 24 °C arasında değişiklik göstermektedir. Isıl enerji tankındaki enerji ısıtılan ortama transfer edildiği için ısıtma süresinde düşmüştür. Güneş kollektörünün tank sıcaklığı ışınlamın en yüksek olduğu 13:40'da deney çalışmasındaki en yüksek seviyeye olan 90 °C'ye ulaşmıştır.

Deney kapsamında 02:20'de güneş kollektörünün tankındaki iş akışkanının sıcaklığı 40°C'nin altına düşmesi ile termostat güneş kollektör ile ısıl enerji tankı arasındaki iş akışkanının dolaşımını sağlayan pompayı durdurup elektrik ısıtıcısını açmıştır. Buradaki elektrik enerjisi gün içerisinde güneşten elde edilen ışınlam ile şarj olan akülerden sağlanmıştır. Bu süre 120-130 dakika sürmüştür. Akülerde enerji % 50 seviyelerine geldiğinde ihtiyaç olunan elektrik enerjisi jeneratörle sağlanmıştır. Sistemin jeneratörden sağladığı enerji 04:40-07:20 saatleri arasında gerçekleşmiş olup 190 dakika sürmüştür. Güneş ışınlamının tekrar başlaması ile güneş kollektörünün tank sıcaklığı 40°C dereceyi geçip ihtiyaç olunan ısıl enerjini karşılanabileceği seviyeye gelmesi ile jeneratör durdurulup sistem tekrar yenilenebilir enerji kaynakları ile çalışmasına devam etmiştir. 31/03/2023 tarihli deney sırasında

fosil kaynaklı jeneratör'ün 190 dakika çalışmıştır. Hibrit enerji sisteminin olmadığı, sadece jeneratör olduğu durumda jeneratör yaklaşık 20 saat çalışacaktır. Bu duruma göre jeneratör 16,8 saat daha az çalışmış fosil kaynak yerine yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmıştır.

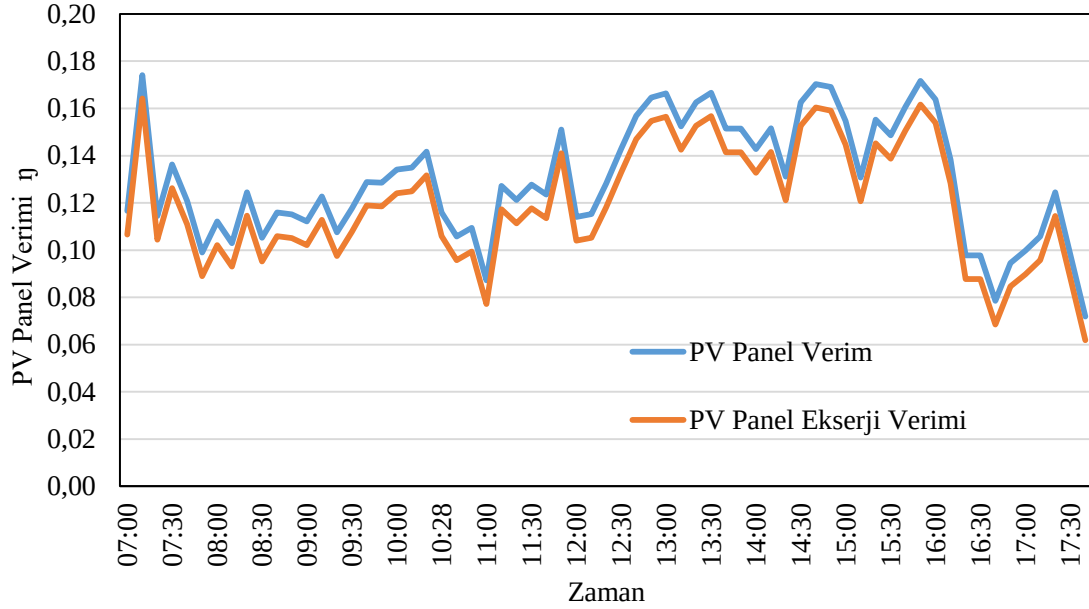


Şekil 5.3. Dış ortam, iç ortam, güneş kol. tank, ısıl enerji tank sıcaklıkları değişimi ve sistemin akü-jeneratör çalışma zamanı

Yapılan incelemeler sonucunda 1 litre benzinin (740gr) yanması sonucu 2,31 kg sera gazı kapsamında olan karbondioksit gazı meydana geldiği bildirilmiştir [76]. Deneyin yapıldığı Mart ayında jeneratör 190 dakika (3.16 saat) çalışmıştır. Sistemde kullanılan jeneratör saatlik çalışmasında 1.32 litre benzin tüketmektedir. Jeneratör 3,16 saat çalışması sonucunda 4,17 litre yakıt tüketimi olmuştur. Hibrit sistemin çalışmasında jeneratör 3,16 saat çalışmış, 9,63 kg karbondioksit gazı üretilmiştir. Hibrit sistemin olmadığı durumda jeneratör 2,5 saat çalıştırılıp 0,5 saat çalışmasına ara verilmektedir. Jeneratör toplamda yaklaşık 20 saat çalışıp 4 saat ara verilerek çalışmasında 26,4 litre yakıt tüketimi olmuş, yaklaşık 61 kg karbondioksit gazı açığa çıkmaktadır. Hibrit sistemin çalışması ile $61 - 9,63 = 51,37$ kg karbondioksit gazı Hibrit enerji sisteminin çalışması sonucu atmosfere salınımı olmamıştır. Bu % 84,25 oranında zararlı gaz salınımının azaltılması anlamına gelmektedir.

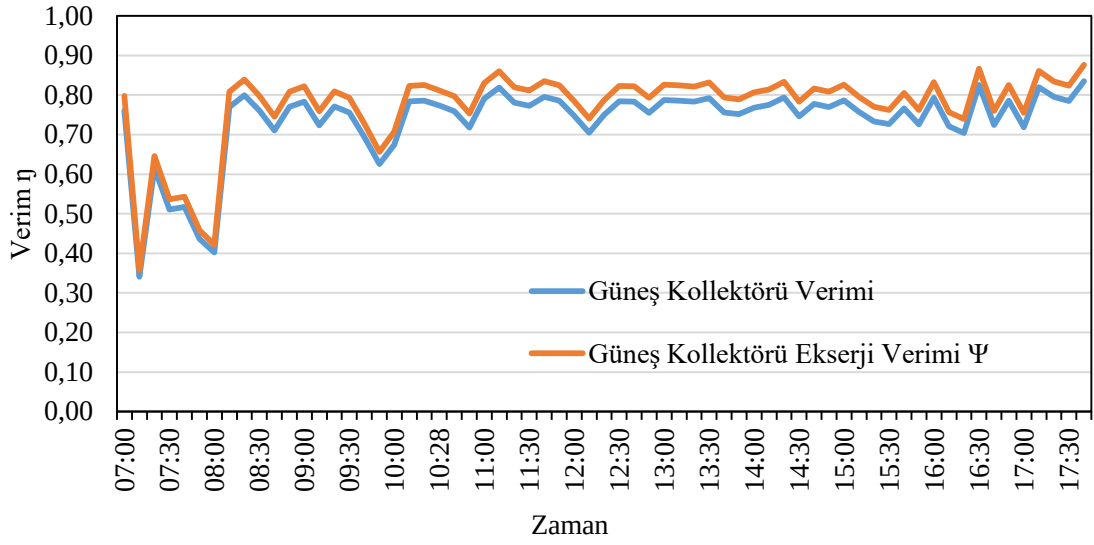
Hibrit ısıtma sisteminde kullanılan elektrik enerjisinin büyük bir kısmı PV panel ile karşılanmaktadır. Bu sebeple PV panellerin verimleri büyük önem kazanmaktadır. 03 Mart yapılan deneyde PV panelin verimi % 18 seviyelerine ulaşmış olup, ısıtım ve aç faktörü gibi sebeplerden

dolayı 17:30 da % 6 seviyelerine gerilemiştir. Şekil 5.4'deki PV panelin enerji ve ekserji verim değişimi verilmiştir.



Şekil 5.4. PV panelin enerji ve ekserji verim değişimi

Güneş destekli Hibrit kojenerasyon sisteminin bileşenlerinde olan vakum tüplü güneş kolektörünün enerji ekserji verimi Şekil 5.5’de verilmiştir. Güneş kolektörü ile elde edilen ısı enerji ilk olarak güneş enerjisi tankında depolanıp sonrada ısı enerji tankına aktarılmaktadır. Güneş kolektörünün enerji ve ekserji verimi genel olarak %70 ile %80 aralığında olmuştur. Güneş kolektörünün vakumlu tüp borulu olması nedeniyle ısı enerji kaybı fazla meydana gelmemiştir. Güneş kolektörünün verimi saat 08:10’dan sonra önemli ölçüde artmıştır. Buradaki artış ışınlam şiddetinin artması ve kolektör yüzeyine daha dik açıyla gelmesi ile kaynaklıdır. Tablo 5.1. 31 Mart 2023 tarihli deneye ait PV panel ve güneş kolektörünün saatlik enerjive ekserji değişimleri verilmiştir.

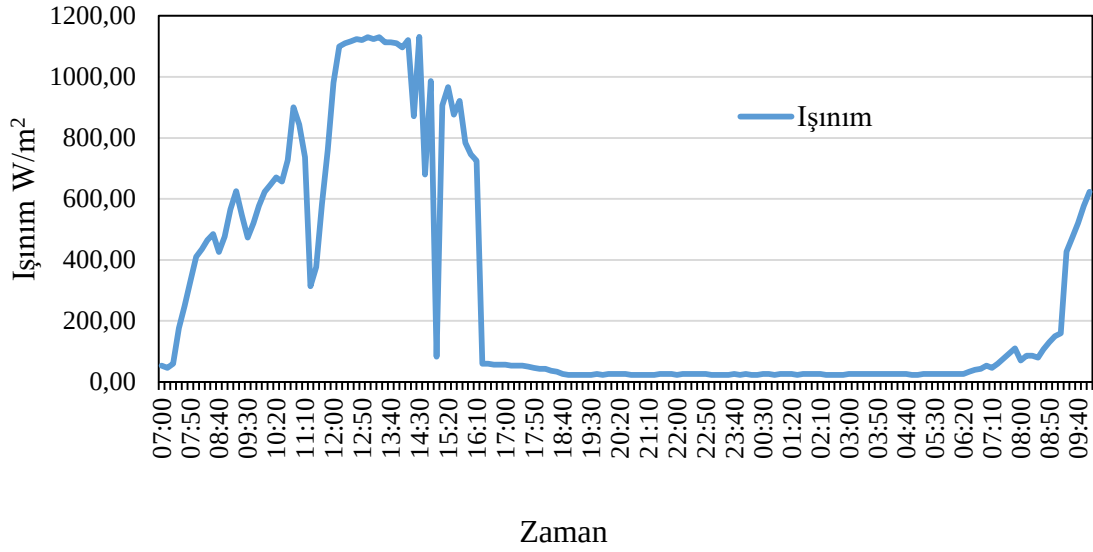


Şekil 5.5. Vakumlu güneş kolektörünün enerji ekserji verimi

Tablo 5.1. 31 Mart 2023 tarihli deneye ait PV panel ve güneş kolektörünün enerji ekserji

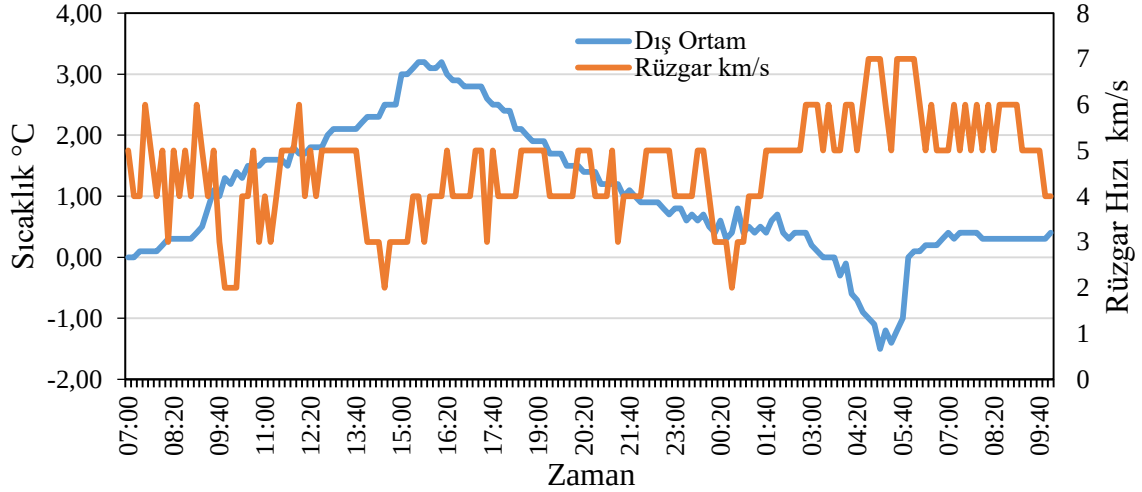
	PV panel		Güneş kolektörü	
	Enerji verimi	Ekserji verimi	Enerji verimi	Ekserji verimi
08:00	0,11	0,10	0,40	0,42
09:00	0,11	0,10	0,78	0,82
10:00	0,13	0,12	0,67	0,71
11:00	0,13	0,12	0,82	0,86
12:00	0,11	0,10	0,75	0,79
13:00	0,17	0,16	0,79	0,83
14:00	0,14	0,13	0,77	0,81
15:00	0,15	0,14	0,79	0,83

Hibrit ısıtma sistemi ile 02 Nisan 2023 tarihinde deney yapılmıştır. 02/04/2023 tarihinde yapılan deneyde ısıtım şiddeti, dış ortam sıcaklığı, iç ortam sıcaklığı, rüzgar hızı ve PV panel volt-akım gibi parametreler ölçülmüştür. Şekil 5.6'da deney zamanına ait ısıtım değişimi verilmiştir. Işıtım şiddetibulutlanma nedeniyle değişkenlik göstermiştir. Işıtım 1130 W/ m² ile en yüksek seviyelerine ulaşmıştır. Işıtım şiddeti saat 16:20'de 50 W/m² seviyelerine düşmüştür. Saat 19:00'da yaklaşık 20 W/m² seviyelerine gerileyerek tamamıyla etkisini yitirmiştir.



Şekil 5.6. 02/04/2023 tarihli deney zamanına ait ışıınım verileri

Şekil 5.7’de 02/04/2023 tarihli deney zamanına ait dış ortam sıcaklığı ve rüzgar hız değişimi verilmiştir. Dış ortam sıcaklığı saat 16:10’da maksimum seviye olan 3 °C’ye ulaşmış olup en düşük ise -1,5 °C’ye gerilemiştir. Rüzgâr hızı kırsal kesim olması nedeniyle çok değişken olmuştur.

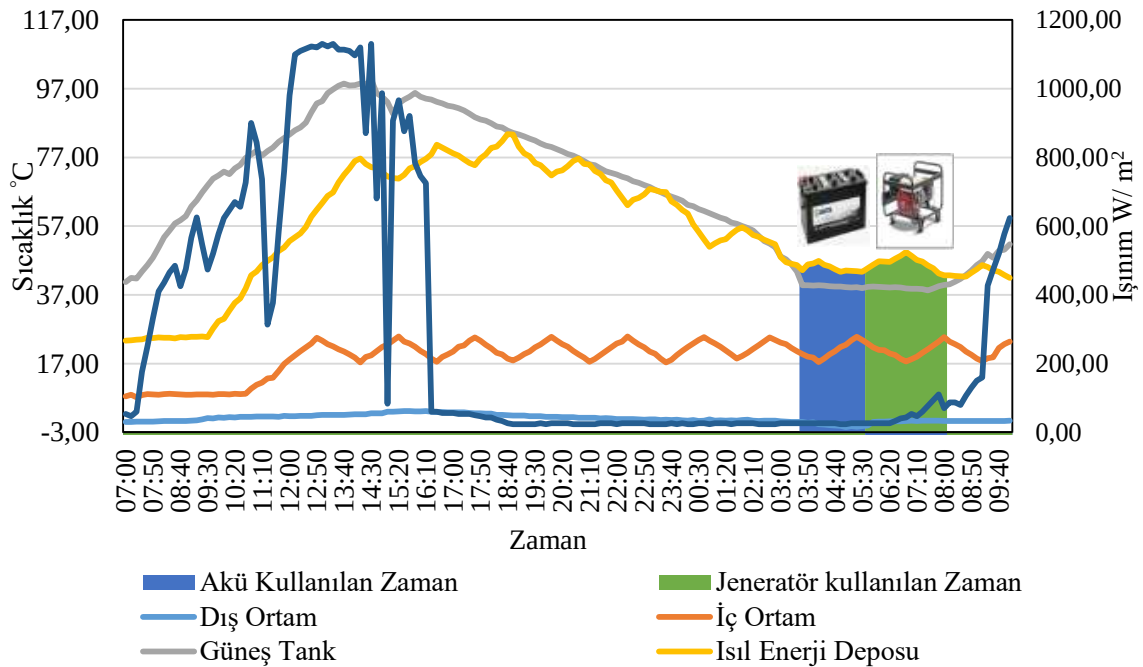


Şekil 5.7. 02/04/2023 tarihli deney zamanına ait dış ortam sıcaklığı ve rüzgar hız değişimi

Nisan ayında yapılmış olan deneyde istenilen oda ısı konfor şartlarına 12:50’de ulaşılmıştır. Dış ortam sıcaklığının genelde 2 °C’nin altında seyretmesi ve saat 03:00 civarında 0 °C’nin altına inmesi ısıtılan ortamın istenilen ısı şartları altında tutulmasını zorlaştırmıştır. Şekil 5.8’de dış ortam, iç ortam, güneş kolektör tank, ısı enerji deposu sıcaklık değişimleri ve ışıınının olmadığı zaman aralığında akü ve jeneratör çalışma zamanı verilmiştir. Saat 12:40’da güneş kolektör tank içindeki akışkanın sıcaklığı 97 °C’nin üzerine çıkmıştır. Işıınının enerjisinin fazla bulutlanma olmaması ve

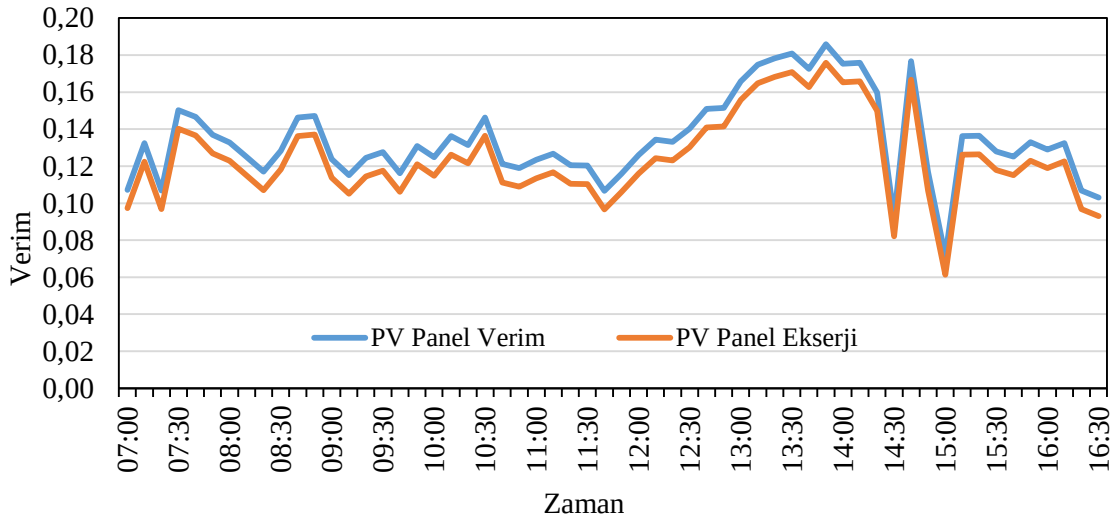
ışınım şiddetinin yüksek olması gibi şartlar nedeniyle güneş kolektörü ile ısı enerji deposu arasındaki ısı transferini sağlayan iş akışkanının sıcaklığı 95 °C'ye kadar gelmiştir ve ısı enerji deposunun sıcaklığını da buna bağlı olarak 60 ile 70 °C arasında kalmıştır. Isıtılan oda sıcaklık değişimi 18 ile 24 °C arasında değişkenlik göstermiştir. Işınım saat 16:20 'de etkisini yitirmiştir. Bununla birlikte güneş kolektör sıcaklığı da ısıtılan ortama enerji aktarımı sonucunda saat 03:30'da 40 °C'nin altına inmiştir.

Çalışma kapsamında güneş kolektör tank sıcaklığının 03:30'da 40 °C'nin altına düşmesi ile güneş kolektörü ile ısı enerji deposu arasındaki sirkülasyon pompası dijital termostat tarafından kapatılıp elektrikli ısıtıcı açılmıştır. Isıl enerji tankı ile ısıtılan oda arasındaki ısı transferini sağlayan iş akışkanı pompasının enerjisi ve elektrikli ısıtıcının enerjisi akülerden karşılanmıştır. Akülerden elektrik enerjisinin karşılandığı zaman yaklaşık 120 dakika olmuştur. Akıllı inverterin sistemi kapatıp elektronik ateşlemeli jeneratörün çalışması ile sistem 03:40 ile 08:00 arasında enerjisini fosil yakıt kullanıldığı jeneratörden karşılanmıştır. Bu süre yaklaşık 150 dakika olmuştur. Işınım şiddetini yüksek ve bulutlanmanın az olması sonucu jeneratörden 2,5 saat kullanımı yeterli olmuştur. Sistemde kullanılan 1 litre (740 gr) benzinin yanması ile atmosfere 2,31 kg sere gazı salınımı olmaktadır. Jeneratörün 2,5 saat çalışması ile toplamda 3,3 litre benzin tüketimi olmuştur. Jeneratörün 3,3 litre benzin tüketimi sonucunda 7,62 kg karbondioksit gazı meydana gelmiştir. Jeneratörün devamlı çalışması durumundaki 61 kg zararlı gaz sanımı ile karşılaştırıldığında % 87,5 oranında çevre üzerinde olumsuz etkiye sahip gaz salınımı azalmıştır.



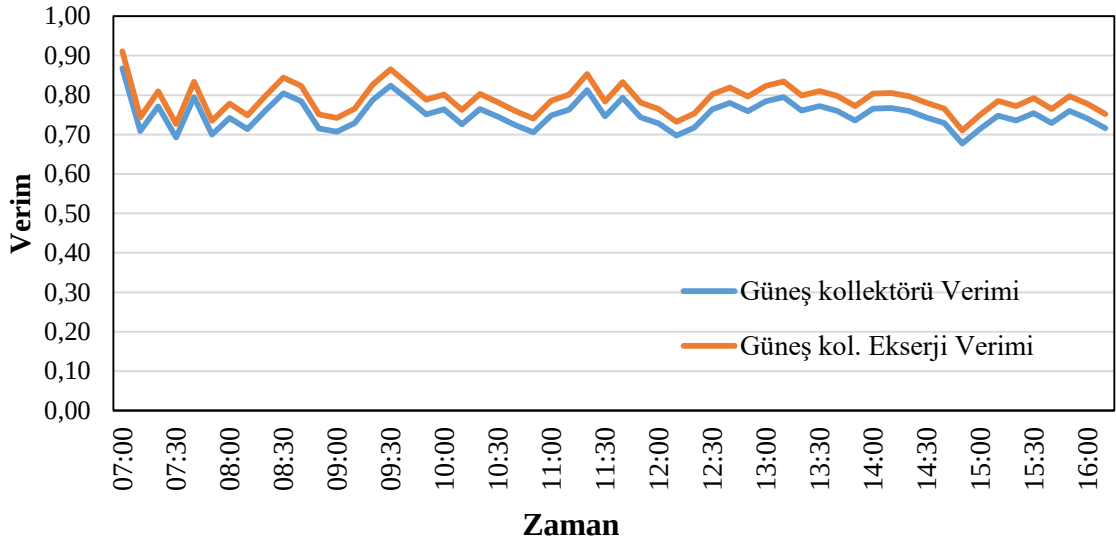
Şekil 5.8. Dış ortam, iç ortam, güneş kolektör tank, ısı enerji deposu sıcaklık değişimleri ve ışınımın olmadığı zaman aralığında akü ve jeneratör çalışma zamanı

Güneş enerjisi destekli hibritkojenerasyon sistemi genel olarak enerjisinin büyük bir kısmını güneş ışınımından almaktadır. Güneş ışınımının yüksek ve kesintisiz olması PV panelin enerji üretimini olumlu yönde etki etmektedir. Ayrıca ışınımın yüksek olması fosil kaynak ile çalışan sistemlerinde daha az çalışmasına sebebiyet vermektedir. Şekil 5.9’de PV panelin enerji ve ekserji verim değişimi incelenmiştir. Işınımın yüksek olduğu zaman dilimlerinde PV panelin enerji verimi %19 seviyelerine ulaşmıştır. Işınımındaki anlık düşüşler % 6 ile %8 seviyelerine düşmesine neden olmuştur. Deneyin yapıldığı zaman dilimlerinde PV panelin çalışma sıcaklığı dış ortam sıcaklığı 4 °C’yi geçmemesi nedeniyle ekserji yıkımı büyük oranda olmamıştır.



Şekil 5.9. PV panelin enerji ve ekserji verim değişimi

Proje kapsamında sistem bileşenlerinde vakum tüplü güneş kolektörünün enerji ekserji verimi incelenmiştir. Şekil 5.10’de vakum tüplü Güneş kolektörünün zamana göre enerji ekserji değişimi verilmiştir. Güneş kolektörünün verimi güneş ışınımı ile alakalıdır. Yapılan deney zamanında kolektörün ısı verimi % 82 seviyelerine ulaşmıştır. Deney süresinde enerji verimi % 68 ile en düşük seviyelerde olduğu görülmüştür. 2 Nisan 2023 tarihli deneye ait PV panel ve güneş kolektörünün saatlik enerji ve ekserji değişimleri Tablo 5.2’de verilmiştir.

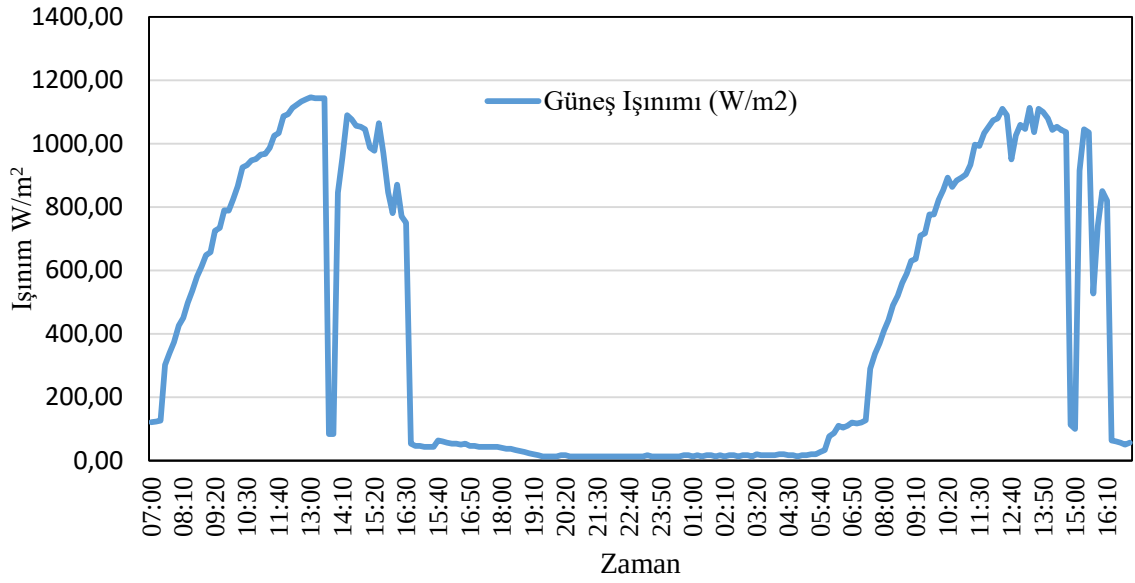


Şekil 5.10. 02/04/2023 deney zamanına ait güneş kolektörünün enerji ve ekserji değişimi

Tablo 5.2. 02 Nisan 2023 tarihli deneye ait PV panel ve güneş kolektörünün enerji ekserji değişimi

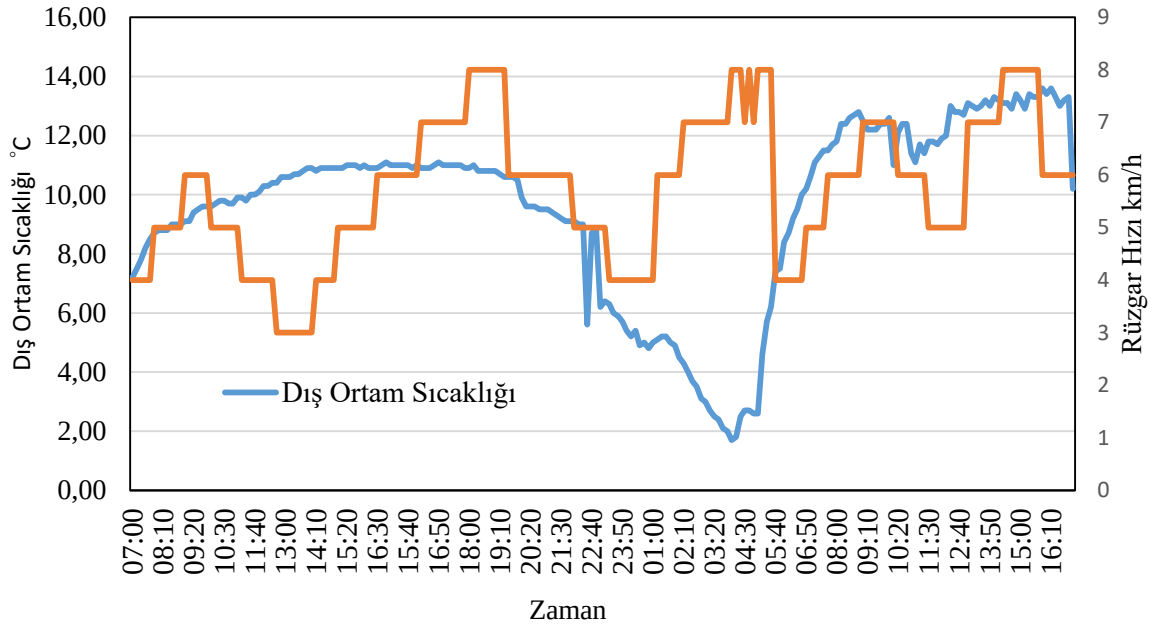
	PV panel		Güneş kolektörü	
	Enerji verimi	Ekserji verimi	Enerji verimi	Ekserji verimi
08:00	0,13	0,12	0,74	0,78
09:00	0,12	0,11	0,71	0,74
10:00	0,12	0,11	0,76	0,80
11:00	0,12	0,11	0,75	0,79
12:00	0,13	0,12	0,73	0,76
13:00	0,17	0,16	0,78	0,82
14:00	0,18	0,17	0,77	0,80
15:00	0,14	0,13	0,75	0,78

Güneş enerjisi destekli hibrit kojenerasyon sistemi 03/05/2023 tarihindeki iklim şartlarında da denenmiştir. 03/05/2023 tarihli deney zamanına ait ışıınım bilgileri Şekil 5.11’de verilmiştir. Deney tarihinin Mayıs ayı olması nedeniyle ışıınım şiddeti yüksek seviyede olmuştur. Bulutlanma çok yüksek seviyede olmamıştır.



Şekil 5.11. 03/05/2023 deney zamanına ışıınım değışimi

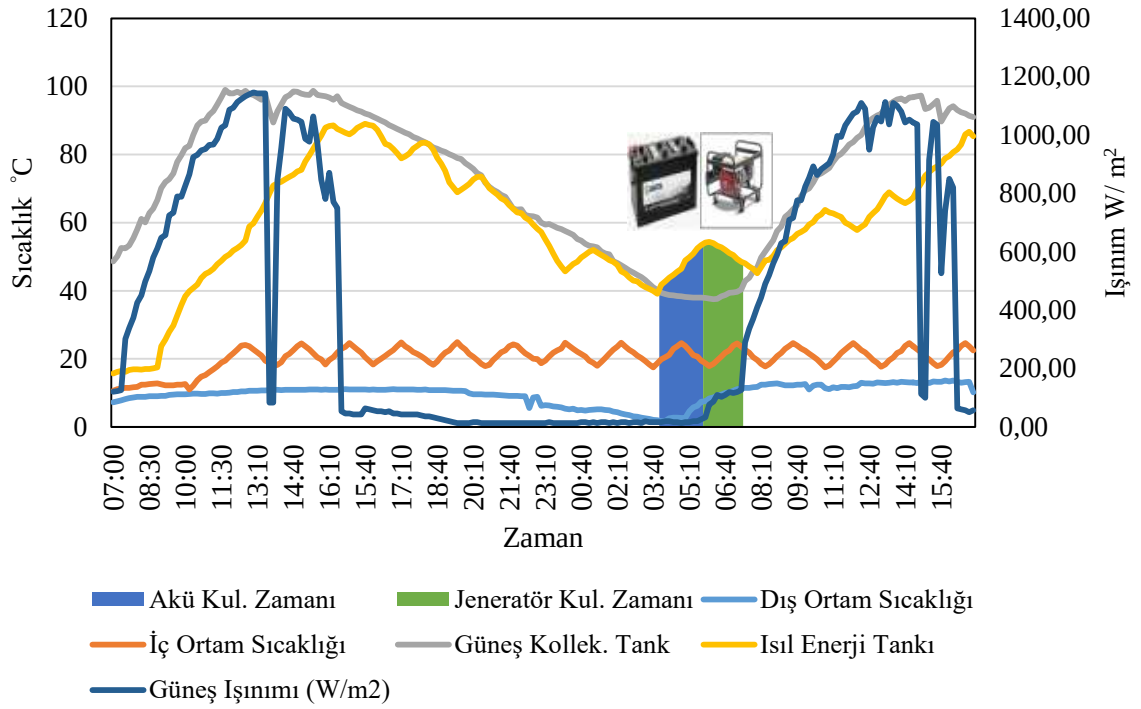
03 Mayıs 2023 tarihinde yapılan deney zamanında dış ortam sıcaklığı maksimum 13 °C'ye ulaşmış, saat 04:00'de minimum 1,70°C seviyelerine inmiştir. Rüzgâr hızı maksimum 8 km/saat seviyelerine ulaşmış, minimum ise 3 km/saat seviyelerine inmiştir. Şekil 5.12'de 03/05/2023 deney tarihine ait dış ortam sıcaklığı ve rüzgar hızı verilmiştir.



Şekil 5.12. 03/05/2023 deney zamanına ait rüzgar ve dış ortam sıcaklık değışimi

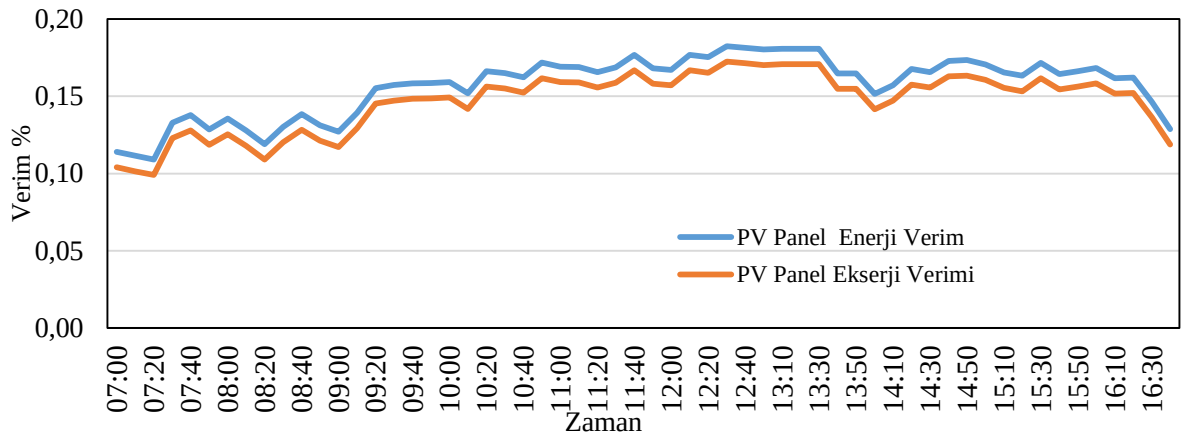
03/05/2023 tarihinde yapılan deneyde ısıtımın yüksek ve kesintisiz olması vakumlu güneş kolektöründe yüksek oranda ısı enerjisi kazanımına olanak sağlamıştır. Güneş kolektöründeki iş akışkanının sıcaklığı 98 °C 'ye ulaşmıştır. Isıtılan oda istenilen ısı konfor şartlarına dış ortam sıcaklıklarının yüksek olması nedeniyle 12:30 saatinde ulaşmıştır. Güneş kolektörünün tank sıcaklığının saat 03:50'de 40 °C'nin altına düşmesi ile ısı enerjisi deposundaki elektrikli ısıtıcı devreye girmiş iş akışkan sirkülasyon pompası durdurulmuştur. Gün içerisinde güneşten ısıtım ile şarj edilen aküler sisteme girmiştir. Akülerden yaklaşık 100 dakika bütün sistemin elektrik enerjisi sağlanmıştır. Saat 05:40'da inverter akülerdeki enerjinin % 50 seviyesinin altına düşmemesi için sistem kapatılmış ve jeneratör çalıştırılmıştır. Jeneratör yaklaşık 90 dakika (1,5 saat) çalışmıştır. Güneş ısıtımının yeniden etkili hale gelmesi ile güneş kolektör tank sıcaklığının yükselmesi ile jeneratör durdurulmuş sistemin ihtiyaç olunan enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılanmaya başlanmıştır. Isıtılan oda 17 ile 24°C arasında ölçümlenmiştir.

Sistemde kullanılan fosil yakıt olan benzinin 1 litresinin (740 gr) yanması ile 2,31 kg karbondioksit salınımı meydana gelmektedir. Sistemdeki jeneratörün 1,5 saat çalışması ile jeneratör yaklaşık 2 litre yakıt tüketmiştir. Jeneratörün 2 litre yakıt tüketimi ile yaklaşık 4,62 kg karbondioksit gazı salınımı olmuştur. Isıtma sisteminin güneş enerjisi destekli hibrit sistemin olmaması durumu ile karşılaştırıldığında jeneratör 20 saat çalışması yerine 1,5 saat çalışmıştır. Jeneratör 20 saat çalışması ile 26,4 litre benzin tüketiminde bulunacaktı. Kullanılacak yakıtın yanması sonucu yaklaşık 61 kg sera gazı salınımı olacaktı. $61 - 4,62 = 56,4$ kg karbondioksit salınımı yapılmamıştır. Hibrit ısıtma sisteminin kullanımı ile % 92,43 oranında zararlı gazın salınımı engellenmiştir. Şekil 5.13'de dış ortam, iç ortam, güneş kolektör, ısı enerjisi depo sıcaklıkları ve sistemin akü-jeneratör çalışma zamanları verilmiştir.



Şekil 5.13. 03/05/2023 deney zamanına ait dış ortam, iç ortam, güneş kolektör, ısıl enerji deposu sıcaklıkları, akü ve jeneratör çalışma zamanları

03/05/2023 tarihli deney zamanında güneş ışınımından elde edilen enerji ile PV panellerde elektrik enerjisi üretilmiştir. Deney zamanında ısıtım şiddetinin en yüksek olduğu zaman dilimleri olan 12:10 ile 13:40 zaman aralığında PV panellerin enerji verimi %18 olmuştur. Dış ortam sıcaklığının çok yüksek olmaması nedeniyle PV panellerde sıcaklık ile ekserji kaybı fazla olmamıştır. Şekil 5.14’de 03/05/2023 deney zamanına ait PV panelin enerji ve ekserji verimleri verilmiştir. Tablo 5.3. 03 Mayıs 2023 tarihli deneye ait PV panel ve güneş kolektörünün enerji ekserji değişimi verilmiştir.

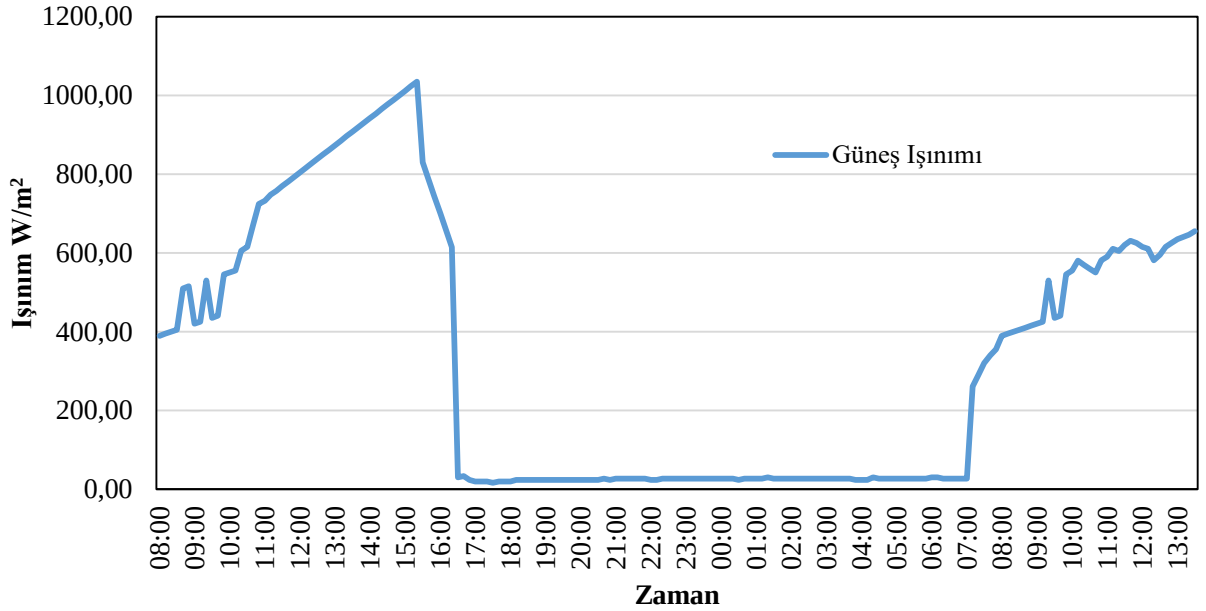


Şekil 5.14. 03/05/2023 deney zamanına ait PV panelin enerji ve ekserji verimleri

Tablo 5.3. 03 Mayıs 2023 tarihli deneye ait PV panel ve güneş kolektörünün enerji ekserji değişimi

	PV panel		Güneş kolektörü	
	Enerji verimi	Ekserji verimi	Enerji verimi	Ekserji verimi
08:00	0,14	0,13	0,70	0,73
09:00	0,13	0,12	0,80	0,84
10:00	0,16	0,15	0,75	0,78
11:00	0,17	0,16	0,78	0,82
12:00	0,17	0,16	0,77	0,82
13:00	0,18	0,17	0,79	0,83
14:00	0,15	0,14	0,76	0,80
15:00	0,17	0,16	0,77	0,81

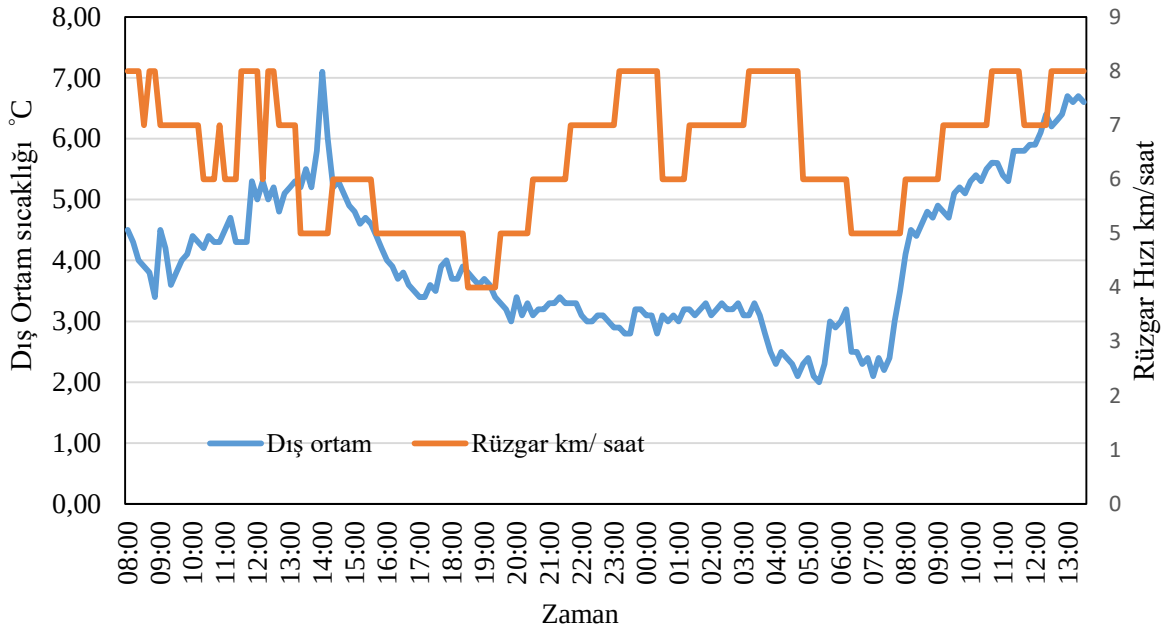
23 Kasım 2023 tarihli deney zamanına ait ışınlam bilgileri verilmiştir. Deney kapsamın yapılan ölçümler neticesinde saat 12:00'de 800 W/m^2 seviyelerine gelmiş, ışınlam şiddeti maksimum 1034 W/m^2 seviyesine ulaşmıştır. Saat 16:30'da ışınlam şiddeti 30 W/m^2 seviyesine gerileyerek etkisiz hale dönmüştür. Şekil 5.15'de 23/11/2023 deney zamanına ait ışınlam bilgileri verilmiştir.



Şekil 5.15. 23/11/2023 deney zamanına ait ışınlam bilgileri

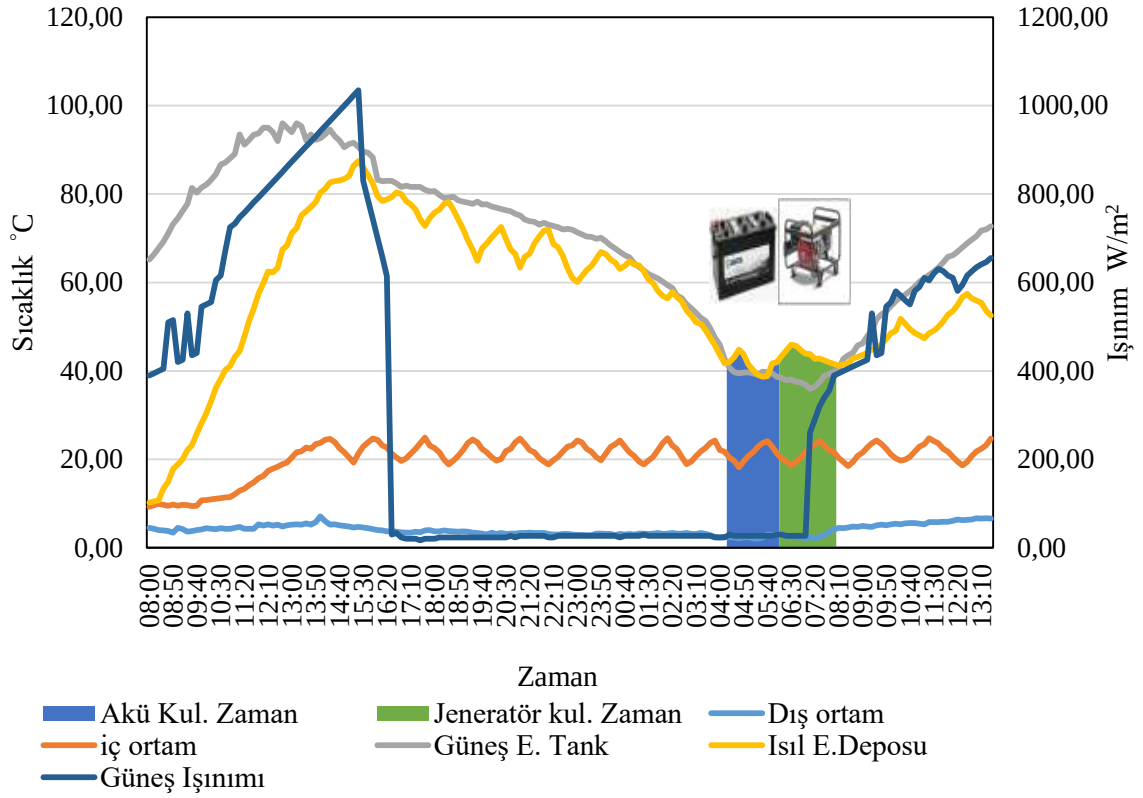
Şekil 5.16'da 23/11/2023 deney zamanına ait rüzgar ve dış ortam sıcaklığı değişimi verilmiştir. Dış ortam sıcaklığı 7°C ile maksimum seviyelerine ulaşmış, 2°C ile minimum

seviyelerine inmiştir. Rüzgâr hızı 8 km/ saat ile maksimum seviyelerine çıkmış, 4 km/saat ile minimum seviyelerine gerilemiştir.



Şekil 5.16. 23/11/2023 deney zamanına ait rüzgar ve dış ortam sıcaklığı değişimi

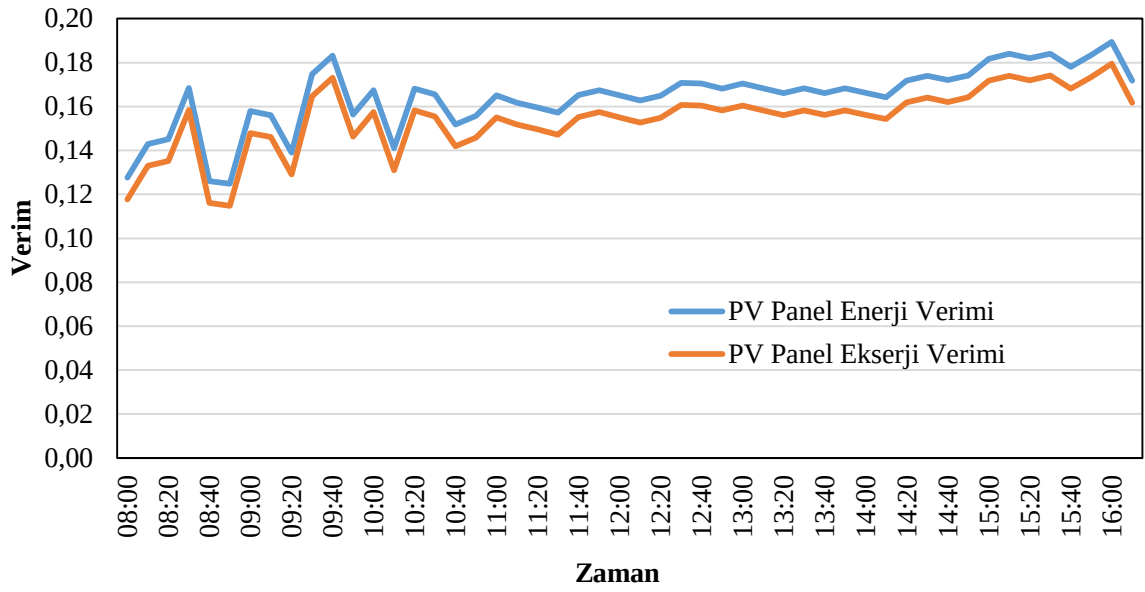
23 Kasım 2023 zamanında yapılan deneyde güneş kollektör tank sıcaklığı saat 08:30'da 70 °C seviyesine ulaşmış ve ısı enerji deposuna ısı transferini sağlayan iş akışkan pompası çalışmıştır. Isıl enerji depo sıcaklığı 40 °C'nin üzerine gelmesi ile ısıtılan alana iş akışkanının sirkülasyonunu sağlayan akışkan pompası çalıştırılmıştır. Saat 14:10'da ısıtılan alan ısı konfor şartlarına ulaşmıştır. Güneş kollektör tank sıcaklığı 95 °C ile maksimum seviyesine ulaşmıştır. 16:50'de güneş ışıınının 30 W/m² seviyesine gelmesi ile etkisini kaybetmiştir. Saat 04:20'de güneş kollektörünün tank sıcaklığı 40 °C'nin altına inmesi sonucu güneş kollektörü ile ısı enerji deposu arasındaki ısı transferini sağlayan pompa durdurulmuş elektrikli ısıtıcı güneş ışıınını ile şarj olunan akü grubu vasıtasıyla çalışmaya başlamıştır. Akü grubundan alınan enerji ile 100- 110 dakika sistemin enerjisi sağlanmıştır. Akülerin enerji seviyeleri % 50 seviyesine gelmesi ile jeneratör devreye girmiştir. 06:00 ile 08:00 arası jeneratör yaklaşık 120 dakika çalışmıştır. Şekil 5.17'de ışıının şiddeti, dış ortam, iç ortam, ısı enerji tankı, güneş kollektör tank sıcaklığı ve akü-jeneratör çalışma zamanları verilmiştir.



Şekil 5.17. 23/11/2023 deney zamanına ait dış ortam, iç ortam, güneş kolektör, ısıl enerji tank sıcaklıkları ve sistemin akü-jeneratör çalışma zamanları

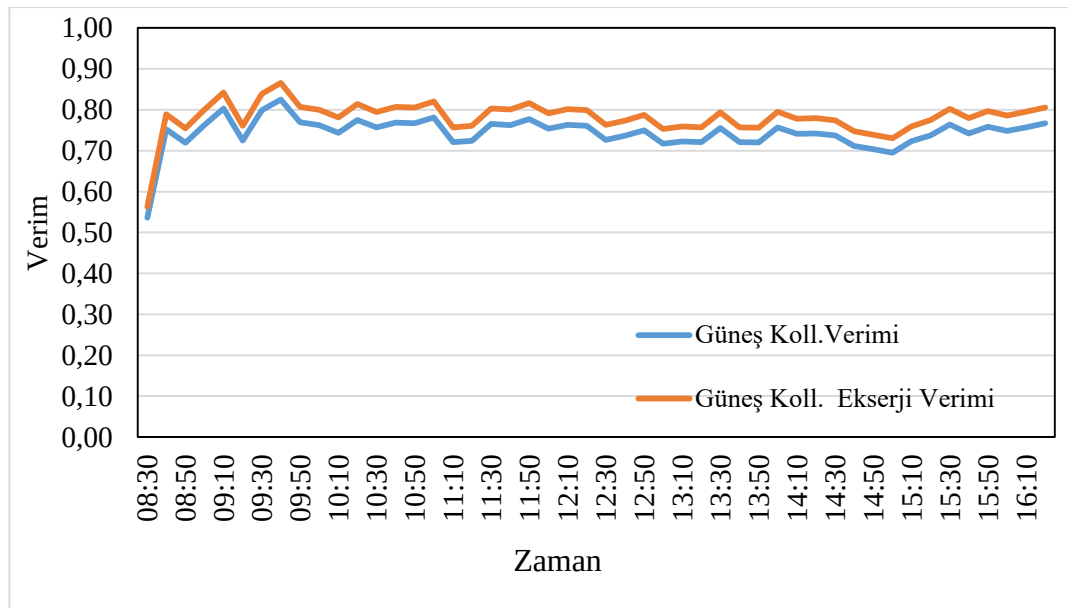
23/11/2023 zamanında yapılan deneyde jeneratör yaklaşık 2 saat (120 dakika) çalışmıştır. Jeneratörün bir saat çalışması ile 1,32 litre benzin tüketimi gerçekleşmektedir. 2 saat çalışması ile 2,64 litre yakıt tüketimi olmaktadır. 1 litre yakıt tüketimi ile 2.31 kg karbondioksit gazı açığa çıkmaktadır. 2,64 litre benzinin yanması ile 6,1 kg zararlı gaz açığa çıkmaktadır. Jeneratörün devamlı çalışması durumunda 20 saat çalışması düşünülmektedir. Jeneratörün 20 saat çalışması ile teknik veriler ışığında 26,4 litre yakıt tüketimi olmaktadır. 26,4 litre yakıt tüketimi ile 61 kg karbondioksit gazı salınımı meydana gelmektedir. Güneş enerjisi destekli kojenerasyon sisteminin çalışması ile 54,9 kg zararlı gazın atmosfere salınımının önüne geçilmiştir. Çalışma sonucunda ısıtılması düşünülen odanın ısıl konfor şartlarına hibrit ısıtma sistemi ile gerçekleşmesi ile %90 oranında zararlı gaz emisyonunun önüne geçilmiştir.

23/11/2023 zamanında yapılan deneyde ısıtım şiddetinin yüksek olması sonucunda sistemde kullanılan PV panellerin enerji verimleri %19 seviyesi ile maksimum noktaya gelmiştir. Deney kapsamında PV panellerin enerji ve ekserji analizi 08:00 ile 16:00 saatleri arasındaki değerler incelenmiştir. Işıtımın dalgalanması ile PV panellerde enerji verimi % 13'ün altına inmiştir. Genel olarak enerji ve ekserji verimleri % 16 olmuştur. Şekil 5.18'de 23/11/2023 tarihinde yapılan deneye ait PV panellerin enerji ve ekserji verim değişimleri verilmiştir.



Şekil 5.18. 23/11/2023 tarihinde yapılan deneyde PV panellerin enerji ve ekserji verim değişimleri

Güneş enerjisi destekli hibrit ısıtma sisteminin bileşenlerinde olan vakumlu güneş kollektörünün 23/11/2023 deney tarihinde yapılan deneyde enerji ekserji analizi yapılmıştır. İnceleme güneş ışıının olduğu zaman dilimini kapsamaktadır. Güneş kollektörünün enerji verimliliği maksimum % 83 olmuştur. Ekserji verimliliği ise % 84 olmuştur. Güneş ışıının ilk başladığı zamanda ışıının şiddetinin 400 W/m^2 olduğu durumda kollektörün enerji verimi %54, ekserji verimi ise %56 olmuştur. Şekil 5.19’da 23/11/2023 tarihinde deney zamanına ait güneş kollektörün enerji ekserji verimleri verilmiştir.



Şekil 5.19. 23/11/2023 tarihli deney zamanına ait güneş kollektörün enerji ekserji verimleri

Tablo 5.4 23 Kasım 2023 tarihli deneye ait PV panel ve güneş kolektörünün enerji ekserji değişimi verilmiştir.

Tablo 5.4.23 Kasım 2023 tarihli deney çalışmasına ait PV panel ve güneş kolektörün enerji-ekserji verimleri

	PV panel		Güneş kolektörü	
	Enerji verimi	Ekserji verimi	Enerji verimi	Ekserji verimi
08:00	0,17	0,16	0,54	0,56
09:00	0,16	0,14	0,76	0,80
10:00	0,17	0,16	0,76	0,80
11:00	0,17	0,15	0,78	0,82
12:00	0,17	0,16	0,75	0,79
13:00	0,17	0,16	0,72	0,75
14:00	0,17	0,16	0,76	0,80
15:00	0,18	0,17	0,70	0,73

6. SONUÇLAR

Güneş enerjisi destekli hibrit kojenerasyon sistemi ile Harput-Göllübağ mahallesinde bulunan bir evin odasının ısıtılması deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Deney kapsamında ısıtılması düşünülen alanın ısı yükü hesaplanmış, belirlenen ısı yükünün karşılanması adına sistem bileşenleri boyutlandırılması yapılmıştır. 2023 yılında dört farklı zaman diliminde deneyler yapılmıştır.

30 Mart 2023 tarihli deney zamanında dalgalı ışıınım gözlemlenmiştir. Maksimum ışıınım 1100 W/m^2 seviyelerinde olmuştur. Dış ortam sıcaklığı maksimum $3,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ belirlenmiş minimum sıcaklık yaklaşık $-2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak ölçülmüştür. Isıtılan oda istenilen ısı konfor şartlarına 13:00'da ulaşılmıştır. Isıtılan alan sıcaklığı $18-24 \text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında değişmiştir. Sistemde kullanılan güneş kolektör sıcaklığı maksimum 90°C 'ye ulaşmıştır. Güneş kolektöründeki iş akışkan sıcaklığı saat 02:20'de 40°C 'nin altına düşmesi ile sistem aküler ve jeneratör ile güneş ışıınımından istenilen enerji elde edilene kadar çalıştırılmıştır. Sistem akülerle 120-130 dakika çalışmıştır. Deney kapsamında jeneratör 190 dakika çalışmıştır. Toplamda jeneratör 4,17 litre yakıt tüketiminde bulunmuştur. Bu tüketim sonucunda 9,63 kg karbondioksit gaz salınımı olmuştur. Hibrit sistemin kullanılması ile hibrit sistemin olmadığı duruma göre %84,25 daha az zararlı gaz salınımında bulunulmuştur. Sistemde kullanılan PV panelin verimi % 17 seviyelerinde olmuştur. Güneş kolektörünün enerji verimi % 80 olmuştur.

Yapılan diğer deney 02/04/2023 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Işıınım şiddeti bulutlanmanın yanında 1130 W/m^2 ile deney süresinde en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Saat 16:20'de ışıınım şiddeti etkisini kaybetmiştir. Dış ortam sıcaklığı maksimum 3°C , minimum $-1,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak ölçülmüştür. Deney süresinde maksimum rüzgâr hızı 7 km/saat olarak ölçülmüştür. Işıınım şiddetinin en yüksek olduğu zaman aralığında güneş kolektör sıcaklığı 90°C 'nin üzerine çıkmıştır. Güneş kolektör tank sıcaklığı saat 03:30'da 40°C 'nin altına inmiştir. Sistem akü grubu ile yaklaşık 120 dakika çalışmıştır. Akülerin enerjisini % 50'nin altına inmesi ile jeneratör devreye girmiş yaklaşık 150 dakika çalışmıştır. Jeneratörün 2,5 saat çalışması ile 3,3 litre benzin kullanmış, kullanılan bu yakıt ile 7,62 kg karbondioksit gaz salınımı meydana gelmiştir. Hibrit sistemin olmadığı duruma göre %87,5 oranında zararlı gaz salınımı azaltılmıştır. Sistemde kullanılan PV panelin enerji verimi % 19 seviyelerinde olmuştur. Sistemde kullanılan güneş kolektörünün enerji verimi maksimum %82 oranında hesaplanmıştır.

03/05/2023 tarihinde yapılan diğer bir deneyde ölçümlenen maksimum ışıınım şiddeti 1100 W/m^2 seviyelerini geçmiştir. Deney gününde diğer günlere nazaran daha bulutlanma fazla olmamıştır. Saat 16:30'da ışıınım şiddeti 50 W/m^2 seviyelerine gerileyerek etkisiz hale gelmiştir. Deneyde dış ortam sıcaklığı maksimum 13°C 'ye minimum $1,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye ulaşmıştır. Rüzgâr hızı maksimum 8 km/saat olarak ölçümlenmiştir. Deney gerçekleştirildiği Mayıs ayı olması nedeniyle

dış ortam sıcaklığı ve ışıının yüksek olması hibrit ısıtma sisteminin daha rahat çalışmasına sebebiyet vermiştir. Güneş kollektöründeki tank sıcaklığı 98°C'ye ulaşmıştır. Güneş kollektör tank sıcaklığının 03:50'de 40°C'ye düşmesi ile ısı enerji deposundaki ısıtıcı akü grubu ve jeneratör ile güneş ışıınının yeterli düzeye gelmesine kadar çalıştırmıştır. Pozitif dış ortam şartları nedeniyle jeneratör yaklaşık 90 dakika çalışmış 2 litre yakıt tüketmiştir. Tüketilen yakıttan 4,62 kg karbondioksit gaz salınımı meydana gelmiştir. Jeneratörün olmadığı zamana göre % 92,43 oranında zararlı gaz salınımının önüne geçilmiştir. Sistemde kullanılan PV panelin enerji verimi %18 olmuştur.

23/11/2023 tarihinde hibrit ısıtma sistemi ile deney yapılmıştır. Deney zamanında maksimum ışıının şiddeti 1034 W/m² olmuştur. Işıının şiddetinin çok yüksek seviyelerde olmamasına karşın bulutlanma fazla olmamıştır. Işıının şiddeti saat 16:50'da etkisini kaybetmiş, saat 07:00'de güneş doğarak ışıının şiddeti 200 W/m² seviyelerine gelerek artarak devam etmiştir. Deney zamanında dış ortam sıcaklığı anlık olarak 7°C'ye ulaşmış, minimum 2°C olmuştur. Güneş kollektör sıcaklığı 08:30'da 70°C'ye gelmiştir. Isıtılan yaşam alanı saat 14:10'da istenilen ısı konfor şartlarına ulaşmıştır. Güneş kollektör tank sıcaklığı maksimum 95°C'ye ulaşmıştır. 04:20'de güneş kollektör tank sıcaklığı 40°C'nin altına düşmesi ile sistem akü grubu ve jeneratör ile çalışması desteklenmiştir. Güneş ışıınının enerjisi istenilen seviyeye gelmesi ile sistem tekrar yenilenebilir enerji kaynağı ile çalışmaya başlamıştır. Hibrit ısıtma sistemi 100-110 dakika akü grubu ile çalışmıştır. Saat 06:00-08:00 aralığında hibrit ısıtma sistemi 120 dakika (2 saat) jeneratör ile çalıştırılmıştır. Jeneratörün 2 saat çalışması ile 2,64 litre yakıt tüketimi yapmış, bu tüketim neticesinde 6,1 kg karbondioksit gaz salınımı meydana gelmiştir. Isıtılan yaşam alanında hibrit ısıtma sistemi kullanılması ile %90 oranında zararlı gaz emisyonunun önüne geçilmiştir. Sistemde kullanılan PV panellerin enerji verimi maksimum %19 minimum %13 olmuştur. Sistemde kullanılan vakum tüplü güneş kollektörünün enerji verimi % 54 olmuştur.

Hibrit enerji sistemleri, elektriğin olmadığı veya güvenilir bir şebeke bağlantısının bulunmadığı bölgelerde sürdürülebilir ve kesintisiz enerji sağlamak için ideal bir çözümdür. Bu sistemler, güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir kaynakları dizel veya benzin jeneratörleriyle birleştirerek enerji arzını optimize eder, böylece uzak bölgelerde, kırsal alanlarda, adalarda ve afet bölgelerinde elektrik ihtiyacını karşılayarak yaşam kalitesini artırır ve enerjiye erişimi mümkün kılar.

7. ÖNERİLER

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde hızlı nüfus artışı sonucu ve teknolojik olanakların ilerlemesiyle enerji kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Özellikle gıda sektöründe yaşanan maliyet artışları ve fosil kaynakların çevreye zararları nedeniyle kırsal bölgedeki üreticiler yenilenebilir enerji kaynakları kullanımına yönelmişlerdir. Böylelikle enerji nakil hatlarına uzak özellikle kırsal bölgelerde tarımsal ve hayvansal üretim olanakları da kolaylaşmaktadır.

Bu çalışmada PV panel, güneş kollektörü, akü-inverter sistemi, ısıl enerji deposu ve jeneratör bileşenlerinden oluşan güneş enerjisi destekli hibrit enerji sisteminin enerji hatlarına uzak bölgelerde kullanımı amaçlı deneyler yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda ısıtma amaçlı enerji kullanımının büyük bir kısmı güneşten elde edilen enerji ile gerçekleşmiştir. Sistemin sürekliliği açısından jeneratör gerek elektrik enerjisi gerekse ısıl enerji ihtiyacının karşılanması açısından desteği olmuştur.

İleriki çalışmalarda daha büyük bir alanın ısıl veya elektrik enerjisi karşılanması için daha büyük güneş kollektörü ve PV panel kullanılabilir. Ayrıca sistemin ısıl verimini artırmak için daha geniş ısıl enerji tankı tasarlanıp ısı pompası ile entegrasyonu sağlanabilir. İleriki çalışmalarda biyokütlenin yakılıp ısıl enerjisinden faydalanılarak daha büyük alanların ısıl enerji ihtiyacı karşılanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Kalt, G., Wiedenhofer, D., Görg, C., Haberi, H., (2019). Conceptualizing Energy Services: A Review of Energy and Well-Being Along The Energy Service Cascade, *Energy Research & Social Science*, volume 53, pages 47-58.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629618311757?via%3Dihub>
- [2] Vahidi, A., Sciarretta, A., (2018). Energy Saving Potentials of Connected and Automated Vehicles, *Transportation Research Part C : Emerging Technologies*, volume 95, pages 822-843.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0968090X18305199?via%3Dihub>
- [3] Cai, W., Wen, X., Li, C., Shao, J., Xu, J. (2023). Predicting the Energy Consumption in Buildings Using the Optimized Support Vector Regression Model, *Energy*. Volume 273, 127188.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544223005820>
- [4] Lidicker, W.,Z., (2020). A Scientist's Warning to humanity on human populationGrowth, *Global Ecology and Conservation*. Volume 24, e01232.<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351989420307733>
- [5] Yildirim, N., Bilir, L., (2018). Modeling and Performance Analysis of a Hybrid System For a Residential Application, *Energy*, volume 163, pages 555-569. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544218316256>
- [6] Babajide, A., Brito, M., C., (2021). Solar PV Systems to Eliminate or Reduce the Use of Diesel Generators at no Additional Cost : A Case Study of Lagos, Nigeria, *Renewable Energy*, volume 172, pages 209-218. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148121002639>
- [7] Sanni, S., O., Oricha, J., Y., Oyewole, T., O., Bawonda, F., I., (2021). Analysis of Backup Power Supply for Unreliable Grid Using Hybrid Solar PV/diesel/biogas system, *Energy*, volume 227, 120506. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544221007556>
- [8] Kumar, P., Pal, N., Sharma, H., (2022). Optimization and Techno-Economic Analysis of a Solar Photo-voltaic/Biomass/Diesel/Battery Hybrid off-grid Power Generation System for Rural Remote Electrification in Eastern India, *Energy*, volume 247, 123560.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544222004637>
- [9] Almutairi, K., Dehshiri, S.,S.,H., Dehshiri, S.,J., H., Mostafaeipour, A., Issakkhov A., Techato, K., (2021). Use of a Hybrid Wind—Solar—Diesel—Battery Energy System to Power Buildings in Remote Areas: A Case Study, *Sustainability*, 13(16), 8764. <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/16/8764>
- [10] Oladigbolu, J.,O., Ramil, M.,A.,M., Al-Turki,, Y., (2020). Optimal Design of a Hybrid PV Solar/Micro-Hydro/Diesel/Battery Energy System for a Remote Rural Village under Tropical Climate Conditions, *Electronics*, 9(9), 1491. <https://www.mdpi.com/2079-9292/9/9/1491>
- [11] Mulenga, E., Kabanshi, A., Mupeta, H., Nadiaaye, M., Nyirenda, E., Mulenga, K., (2023). Techno-Economic Analysis of Off-grid PV-Diesel Power Generation System for Rural Electrification: A Case Study of Chilubi District in Zambia, *Renewable Energy*, volume 203, pages 601-611.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148122019085>

- [12] Abnavi, M.,D., Mohammadshafie, N., Rosen, M.,A., Dabbaghian, A., Fazelpour, F., (2019). Techno-Economic Feasibility Analysis of Stand-Alone Hybrid Wind/Photovoltaic/Diesel/Battery System for the Electrification of Remote Rural Areas: Case Study Persian Gulf Coast-Iran, *Environmental Progress& Sustainable Energy*, volume 38, issue 5. <https://aiche.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ep.13172>
- [13] Das, B., Zaman, F., (2019). Performance Analysis of a PV/Diesel Hybrid System for a Remote Area in Bangladesh: Effects of Dispatch Strategies, Batteries, and Generator Selection, *Energy*, volume 169, pages 263-276. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544218323806>
- [14] Aberilla, J.,M., Gallego-Schmid, A., Stamford, L., (2020). Design and Environmental Sustainability Assessment of Small-Scale Off-grid Energy Systems for Remote Rural Communities, *Applied Energy*, volume 258, 114004. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261919316915>
- [15] Mohammadi, H., Mohammadi, M., (2021). A Multi-Criteria Logical Based Approach for Optimal Planning and Assessment of Rule-Based Hybrid Load Following Micro Combined Heat and Power Systems, *Energy Conversion and Management*, volume 243, 114338. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890421005148>
- [16] Khan, M., A., Darabkhani, H.,G., (2024). Micro Combined Heat and Power (micro-CHP) Systems for Household Applications: Techno-economic and Risk Assessment of The Main Prime Movers, *International Journal of Green Energy*, volume 21, issue7, pages 1463-1475. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15435075.2023.2258177>
- [17] IEA (2022a) A 10-point plan to reduce the European Union’s Reliance on Russian Natural Gas, IEA, Paris. <https://www.iea.org/reports/a-10-point-plan-to-reduce-the-european-unions-reliance-on-russian-natural-gas>
- [18] Bahrampour, H., Marnani, A.,K.,B., Askari, M.,B., Bahrampour, M.,R., (2020). Evaluation of renewable energies production potential in the Middle East: confronting the world’s energy crisis, *Frontiers in Energy*, Springer. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11708-017-0486-2>
- [19] Ayan., O., Turkay.,B.,E., (2023). Techno-Economic Comparative Analysis of Grid-Connected and Islanded Hybrid RenewableEnergy Systems in 7 Climate Regions, Turkey, *IEEE*, volume 11, 48797-48825. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10128107>
- [20] Pimentel M.,Pimentel D., (2006). Global Environmental Resources Versus Worl Population Growth, *Ecological Economics*, volume 59, issue 2, pages 195-198. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092180090600053X>
- [21] Birleşmiş Milletlerin Nüfus Tahmini Çalışması erişim tarihi: 2.12.2024 <https://populationmatters.org/news/2024/04/the-world-of-population-projections/>
- [22] Akikur, R.K., Saidur, R., Ping, H.,W., Ullah, K.,R., (2013). Comparative Study of Stand-Slone and Hybrid Solar Energy Systems Suitable for off-grid Rural Electrification: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, volume 27, pages 738-752. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032113004346>

- [23] Javed, M.,S., Song, A., Ma, T., (2019). Techno-Economic Assessment of a Stand-Alone Hybrid Solar-Wind-Battery System for a Remote Island Using Genetic Algorithm, *Energy*, volume 176, pages 704-717. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036054421930547X>
- [24] Ghenai, C., Bettayeb, M., (2019). Modelling and Performance Analysis of a Stand-Alone Hybrid Solar PV/Fuel Cell/Diesel Generator Power System for University Building, *Energy*, volume 171, pages 180-189. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544219300210>
- [25] Al-Ghussain, L., Ahmad A., D, Abubaker, A.,M., Mohamed, M., A., (2021). An Integrated Photovoltaic/Wind/Biomass and Hybrid Energy Storage Systems Towards 100% Renewable Energy Microgrids in University Campuses, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, volume 46, 101273. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213138821002836>
- [26] Suresh, V., Muralidhar, M., Kiranmayi, R., (2020). Modelling and Optimization of an Off-grid Hybrid Renewable Energy System for Electrification in a Rural Areas, *Energy Reports*, volume 6, pages 594-604. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484718304499>
- [27] Chow T.T., He W., Ji j., (2006). Hybrid photovoltaic-thermosyphon water heating system for residential application. *Solar Energy*, volume 80, pages 298-306. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X05000745>
- [28] Rahimi, I., Nikoo, M.,R., Gandomi, A.,H., (2023). Techno-Economic Analysis for Using Hybrid Wind and Solar Energies in Australia, *Energy Strategy Reviews*, volume 47, 101092. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X23000421>
- [29] Senjyu, T., Nakaji, T., Uezato, K., Funabashi, T., (2005). A hybrid power system using alternative energy facilities in isolated island, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, volume 20, no 2. <https://ieeexplore.ieee.org/document/1432855/authors#authors>
- [30] Hidalgo, J.,A., A., Cardona, M.,S., Rodriguez, F.,A., (2021). Performance and CO2 emissions assessment of a novel combined solar photovoltaic and thermal, with a Stirling engine micro-CHP system for domestic environments, *Energy Conversion and Management*, volume 230, 113793 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890420313169>
- [31] Bagherian, M.,A., Mehranzamir, K., (2020). A Comprehensive Review on Renewable Energy Integration for Combined Heat and Power Production, *Energy Conversion and Management*, volume 224, 113454. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890420309882>
- [32] S. Martinez, G. Michaux, P. Salagnac, J.-L. Bouvier. (2017). Micro-combined heat and power systems (micro-CHP) based on renewable energy sources, *energy conversion and management*, C 154, 262-285. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S019689041730969X>
- [33] Riffat, S.B., Zhao, X., (2004). A Novel Hybrid Heat Pipe Solar Collector/CHP System—Part 1: System Design and Construction, *Renewable Energy*, volume 29, issue 15, pages 2217-2233. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096014810400151X>
- [34] Riffat, S.,B., Zhao, X., (2004). A Novel Hybrid Heat-pipe Solar Collector/CHP system—Part II: theoretical and experimental investigations, *Renewable Energy*, volume 29, issue 12, pages 1965-1990.

- <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148104001521>
- [35] Çengel, Y.,A., Boles M.A., (2008). Termodinamik, Güven Bilimsel Kitabevi, İzmir.
- [36] El-Emam R.S., Dincer I., (2013). Exergy and Exergoeconomic Analyses and Optimization of Geothermal Organic Rankine Cycle, Applied Thermal Engineering, volume 59, Issues 1-2, Pages 435-444. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359431113004195>
- [37] Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve iklim değişikliği bakanlığının resmi internet sitesinden alıntı. (15.11.2024).
<https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/sektorlere-gore-toplam-enerji-tuketimi-i-85800>
- [38] Drake, F., (2014). Global Warming. 2 Park Square, Milton Park, Abingdon, Oxon OX14 4RN 711 Third Avenue, New York, NY 10017
- [39] Hoel, M., Kverndokk, S., (1996). Depletion of Fossil Fuels and The Impacts of Global Warming. Resource and Energy Economics, Volume 18, page 115-136. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/092876559600005X>
- [40] Franta B., (2021), Early Oil Industry Disinformation on Global Warming. Environmental Politics, pages 663-668. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09644016.2020.1863703>
- [41] Rad K.A., Zarei M., Pourghasemi R., Tiefenbacher J.P., (2022). Chapter 27 - The COVID-19 crisis and its consequences for global warming and climate change. Computers in Earth and Environmental Sciences, page 377-385. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323898614000063>
- [42] Spellman, F.,R., (2019). The Science of Renewable Energy (Second Edition). CRC Press, Boca Raton, New York.
https://www.google.com.tr/books/edition/The_Science_of_Renewable_Energy/UlazDAAAQBAJ?hl=tr&gbpv=1&dq=The+Science+of+Renewable+Energy&pg=PA1990&printsec=frontcover
- [43] Aydın, İ., (2013). Balıkesir’de Rüzgar Enerjisi. Eastern Geographical Review, Cilt:18, Sayı:29, ss:29-50. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/27006>
- [44] Esteban, M.,D.,Diez, J.,J.,Lopez, J.,S., Negro, V., (2011). Why Offshore Wind Energy ?, Renewable Energy, volume 36, pages 44-450.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148110003332>
- [45] Ghassemi, M., Cota,A., Foster, R., (2009). Solar Energy Renewable Energy and The Environment, CRC Press, Boca Raton, New York. https://www.google.com.tr/books/edition/Solar_Energy/DiNr-G4eawIC?hl=en&gbpv=1&dq=sun+power++renewable+energy&printsec=frontcover
- [46] Suman, S., Khan, M., K., Pathak M., (2015). Performance enhancement of solar collectors- A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, volume 49, pages 192-210
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032115003573>
- [47] <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/europe> Erişim: 12/12/2024
- [48] <https://gepa.enerji.gov.tr/> Erişim: 12/12/2024
- [49] <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes> Erişim: 12/12/2024

- [50] Sakhaei, S.,A., Valipour, M.S., (2019). Performance Enhancement Analysis of The Flat Plate Collectors: A Comprehensive review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, volume 102, pages 186-204. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032118307597>
- [51] Saraf, G.,R., Hamad, F.,A.,W., (1988). Optimum tilt Angle for a Flat Plate Solar Collector, *Energy Conversion and Management*, volume 28, pages 185-191. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0196890488900441>
- [52] Wang, D., Mo, Z., Liu Y., Ren Y., Fan J., (2022). Thermal performance analysis of large-scale flat plate solar collectors and regional applicability in China, *Energy*, volume 238, pages 121931. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544221021794>
- [53] Ghazi S., Sayigh A., Ip,K., (2014). Dust effect on flat surfaces – A review paper, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, volume 33, pages 742-751. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032114001270>
- [54] Huang, K., Su, B., Li, T., Ke, H., Lin, M., Wang, Q., (2022). Numerical simulation of The Mixing Behaviour of Hot and Cold Fluids in The Rectangular T-junction with/without an Impeller, *Applied Thermal Engineering*, volume 204, 117942. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359431121013636>
- [55] Chang, H., Han, Z., Li, X., Ma, T., Wang, Q., (2022). Experimental Study on Heat Transfer Performance of sCO₂ Near Pseudo-Critical Point in Airfoil-fin PCHE from Viewpoint of Average Thermal- Resistance Ratio, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, volume 196, 123257. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S001793102200727X>
- [56] Uniyal, A., Prajapati, Y.,K., Ranakoti, L., Bhandari, P., Singh, T., Gangil, B., Sharma, S., Upadhyay, V.,V., Eldin, S.,M., (2022). Recent Advancements in Evacuated Tube Solar Water Heaters: A Critical Review of the Integration of Phase Change Materials and Nanofluids with ETCs, *Energies*, volume 15, 8999. <https://doi.org/10.3390/en15238999>
- [57] Gulaliyev, M., G., Mustafayev, E.,R., Mehdiyev, G., Y., (2020). Assessment of Solar Energy Potential and Its Ecological-Economic Efficiency: Azerbaijan Case, *Sustainability*, 12(3), 1116. <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/3/1116>
- [58] Chesnutt, J.,K.,W., Guo, B., Wu, C., (2019). Numerical Analysis of The Effects of Particle-Particle Interactions and Particle Size On The Performance of An Electrodynamic Dust Shield, *Journal of Electrostatics*, volume 98, pages 58-68. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304388618303139>
- [59] Kawamoto, H., (2020). Improved Detachable Electrodynamic Cleaning System for Dust Removal from Soiled Photovoltaic Panels, *Journal of Electrostatics*, volume 107, 103481. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304388620300656>
- [60] Kumar, S., Kaur, T., (2014). Solar PV Performance Issues and Challenges, *International Journal of Innovative Research in Elektrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering*, volume 2, issue 11. <https://ijireeice.com/wp-content/uploads/2014/12/IJIREEICE10-subhash-Solar-PV-Performance-Issues-and-Challenges.pdf>

- [61] Kawamoto, H., Guo, B., (2018). Improvement of an Electrostatic Cleaning System for Removal of Dust from Solar Panels, *Journal of Electrostatics*, volume 91, pages 28-33.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304388617303169>
- [62] Zouaghi, A., Zouzou, N., (2021). Numerical Modeling of Particle Motion in Traveling Wave Solar Panels Cleaning Device, *Journal of Electrostatics*, volume 110, 103552.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304388621000036>
- [63] www.mmo.org.tr/sites/default/files/gonderi_dosya_ekleri/ba5492f3bc2f401_ek_2.pdf
Erişim Tarihi:11/12/2024
- [64] Duyan, F., Bayrakdarlar, K.,P., (2022). Enerji Etkin Bina Tasarımında Yapı Elemanı Olarak Fotovoltaik Sistemler, *Mimarlık ve Yaşam Dergisi*, volume 7(3), pages 965-980.
<https://dergipark.org.tr/en/pub/my/article/1197319>
- [65] URL <https://muhendis.web.tr/gunes-pili-calisma-prensibi-ve-verim-hesabi/#>8/12/2024 erişim tarihi
- [66] Green, M.,A., (2019). Photovoltaic Technology and Visions for The Future, *Progress in Energy*, 013001. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2516-1083/ab0fa8/meta>
- [67] URL- Blomberg News erişim tarihi 9.12.2024
[https://about.bnef.com/blog/clean-energy-investment-exceeded-300-billion-2018/#:~:text=London%20and%20New%20York%2C%20January,research%20company%20BlombergNEF%20\(BNEF\)](https://about.bnef.com/blog/clean-energy-investment-exceeded-300-billion-2018/#:~:text=London%20and%20New%20York%2C%20January,research%20company%20BlombergNEF%20(BNEF))
- [68] Peters et al 2015; Global Carbon Budget 2015
- [69] Al-Ezzi, A.,S., Ansari, M.,N.,M., (2022).Photovoltaic Solar Cells : Review, *Applied System Innovation*, 5(4), 67. <https://doi.org/10.3390/asi5040067>
- [70] Ramrakhiniani, M., (2017). Recent Advances in Photovoltaic, *Materials Research Forum LLC*, Millersville, PA, page 13.
https://www.google.com.tr/books/edition/Recent_Advances_in_Photovoltaics/rpVLDwAAQBAJ?hl=tr&gbpv=1&dq=photovoltaic+cell+types&pg=PA1&printsec=frontcover
- [71] Charfi, W., Chaabane, M., Mhiri, H., Bournot, P., (2018). Performance Evaluation of a Solar Photovoltaic System, *Energy Reports*, Volume 4, pages 400-406.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484717303323>
- [72] Mokhtara C., Negrou., B., Settou N., Settou, B., Samy, M.,M., (2021). Design Optimization of Off-Grid Hybrid Renewable Energy Systems Considering the Effects of Building Energy Performance and Climate Change: Case study of Algeria, *Energy*, volume 219, 119605.<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544220327122>
- [73] Suresh V., Muralidhar M., Kiranmayi, R., (2020). Modelling and Optimization of an Off-Grid Hybrid Renewable Energy System for Electrification in a Rural Areas, *Energy Report*, volume 6, pages 594-604. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484718304499>
- [74] Ngouleu, C.,A.,W., Kohole, Y.,W., Fohagui, F.,C.,V., Tchuen, G., (2025). Optimum Design and Scheduling Strategy of an Off-Grid Hybrid Photovoltaic-Wind-Diesel System With an Electrochemical, Mechanical, Chemical and Thermal Energy Storage Systems: A comparative scrutiny, *Applied Energy*, volume 377 part c, 124646.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261924020294>

- [75] Çalışkan H., (2020). Güneş kolektörlerinin Enerji, Ekserji, Termoeekolojik, Sürdürülebilirlik, Termoeekonomik ve Eksergoekonomik Analizleri, Mühendis ve Makine, cild 61, sayı 700, sayfa 228-240.
- [76] Yakıt Yanma Bilgileri <https://www.driverknowledgetests.com/resources/why-does-burning-1-litre-of-fuel-create-over-2kg-of-carbon-dioxide/> Erişim Tarihi : 05/01/2025.



EKLER

Ek- Tablo 1 Direkt Radyasyon Açı Faktörleri (DİRAF)

Kollektör eğim açısı =Enlem derecesi-15° (Yaz uygulamaları)												
Enlem	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
36	1,648	1,436	1,230	1,068	0,962	0,920	0,940	1,024	1,164	1,360	1,592	1,728
37	1,706	1,472	1,250	1,076	0,964	0,920	0,940	1,028	1,178	1,390	1,644	1,796
38	1,764	1,508	1,270	1,084	0,966	0,920	0,940	1,032	1,192	1,420	1,696	1,864
39	1,822	1,544	1,290	1,092	0,968	0,920	0,940	1,036	1,206	1,450	1,742	1,932
40	1,880	1,580	1,310	1,100	0,970	0,920	0,940	1,040	1,220	1,480	1,800	2,000
41	1,938	1,616	1,330	1,108	0,972	0,920	0,940	1,044	1,234	1,510	1,852	2,068
42	1,996	1,652	1,350	1,116	0,974	0,920	0,940	1,048	1,248	1,540	1,904	2,136

Kollektör eğim açısı =Enlem derecesi												
Enlem	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
36	1,970	1,622	1,300	1,028	0,872	0,808	0,832	0,964	1,184	1,498	1,880	2,100
37	2,046	1,664	1,320	1,036	0,874	0,806	0,834	0,968	1,198	1,536	1,940	2,180
38	2,114	1,706	1,340	1,044	0,876	0,804	0,836	0,972	1,212	1,574	2,000	2,260
39	2,186	1,748	1,360	1,052	0,878	0,802	0,838	0,976	1,226	1,612	2,060	2,340
40	2,250	1,790	1,380	1,060	0,880	0,800	0,840	0,980	1,240	1,650	2,120	2,420
41	2,318	1,832	1,400	1,068	0,882	0,798	0,842	0,984	1,254	1,688	2,180	2,500
42	2,386	1,874	1,420	1,076	0,884	0,796	0,844	0,988	1,268	1,726	2,240	2,580

Kollektör eğim açısı =Enlem derecesi +15° (Kış uygulamaları)												
Enlem	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
36	2,174	1,702	1,270	0,926	0,722	0,640	0,680	0,831	1,320	1,554	2,044	2,338
37	2,248	1,744	1,290	0,932	0,724	0,640	0,680	0,838	1,144	1,588	2,108	2,426
38	2,322	1,786	1,310	0,938	0,726	0,640	0,680	0,842	1,156	1,622	2,172	2,514
39	2,396	1,828	1,330	0,944	0,728	0,640	0,680	0,846	1,168	1,656	2,236	2,602
40	2,470	1,870	1,350	0,950	0,730	0,640	0,680	0,850	1,180	1,690	2,300	2,690
41	2,544	1,912	1,370	0,956	0,732	0,640	0,680	0,854	1,192	1,724	2,364	2,778
42	2,618	1,954	1,390	0,962	0,734	0,640	0,680	0,858	1,204	1,758	2,428	2,866

Ek-Tablo 2 Difüz ve Yansıtılmış Radyasyon Açı Faktörleri

Kollektör Eğim Açısı	Difüz Radyasyon aç Faktörü (DİFAF)	Yansıtılmış Aç Faktörü (YAF)
0	1.00	0.00
10	0.99	0.01
20	0.97	0.03
30	0.93	0.07
40	0.88	0.12
50	0.82	0.18
60	0.75	0.25
70	0.67	0.33
80	0.59	0.41
90	0.50	0.50

Ek-Tablo 3 Yeryüzünde yatay bir düzlemin birim alanına gelen günlük güneş ışınlamı (kJ/m² - gün)

Enlem	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ankara (φ=39,97°)	6084	8892	13500	17064	21636	22860	22752	20556	16920	11736	7092	5292
Bingöl (φ=38,88°)	6588	9396	14544	18468	23148	24696	24480	21636	18252	13176	8136	5940
Diyarbakır (φ=37,91°)	6084	8892	13500	17064	21636	22860	22752	20556	16920	11736	7092	5292
Elazığ (φ=38,61°)	6588	8892	14760	18432	22788	24624	24336	21564	18216	13428	8280	6156
Malatya (φ=38,35°)	6768	9072	14904	468	22896	24624	24552	21636	18324	13428	8388	6264
Tunceli (φ=39,11°)	6552	9108	14580	18432	22932	24552	24048	21600	18180	13032	8064	5868

Ek-Tablo 4 Bazı yüzeylerin yansıtma oranları

Yüzey	Ortalama Yansıtma Oranı
Taze kar	0.75
Su yüzeyi	0.07
Toprak	0.14
Karayolu	0.04
Kozalaklı orman (kış ayı için)	0.07
Sonbahar ormanı	0.26
Asfalt kaplı zemin	0.10
Beton kaplı zemin	0.22
Ölü yapraklar	0.30
Kuru çim	0.20
Yeşil taze çim	0.26
Bitümlü kumlu çatı	0.13
Kırılmış taş yüzeyler	0.20
Bina yüzeyleri (koyu)	0.27
Bina yüzeyleri (açık)	0.60

Ek- Tablo 5 Atmosfer dışında yatay bir düzlemin birim alanına gelen günlük güneş ışınlamı (kJ/m² - gün)

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ankara	15080	20310	27180	34270	39300	41340	40260	36190	29690	22320	16300	13640
Bingöl	15750	20930	27670	34560	39380	41310	40280	36390	30100	22890	16950	14300
Diyarbakır	16340	21470	28100	34800	39440	41280	40340	36560	30460	23400	17530	14890
Elazığ	15910	21080	27790	34620	39390	41300	40340	36440	30200	23030	17110	14470
Malatya	16070	21220	27910	34690	39410	41290	40340	36480	30300	23170	17260	14630
Tunceli	15610	20800	27570	34500	39360	41320	40330	36350	30010	22770	16810	14160

Ek-Tablo 6 Aylık ortalama gnellenme süreleri (saat)

	Oca k	uba t	Mar t	Nisa n	Mayı s	Hazira n	Temmu z	Austo s	Eyl l	Eki m	Kası m	Aralı k
Ankara	3.73	4.89	6.16	7.21	8.76	10.21	11.06	10.45	8.83	6.48	4.73	3.36
Bingöl	4.08	4.93	6.02	7.18	9.08	11.01	11.51	10.87	9.54	6.87	4.89	3.45
Diyarbakı r	3.73	4.89	6.16	7.21	8.76	10.21	11.06	10.45	8.83	6.48	4.73	3.36
Elazığ	4.13	5.14	6.37	7.56	9.39	11.45	12.01	11.33	9.86	7.14	5.12	3.56
Malatya	4.23	5.3	6.59	7.86	9.41	11.43	12.09	11.44	9.96	7.28	5.26	3.64
Tunceli	4.02	4.99	6.25	7.27	9	10.88	11.43	10.86	9.49	6.85	4.88	3.41