



GÜNEŞ ENERJİSİNDEN SICAK SU VE ELEKTRİK ÜRETİMİ İLE BİNA
ISITMASI VE SICAK SU SAĞLANMASI

Zafer Ahmet GÖK

Yüksek Lisans Tezi

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs – 2019

GÜNEŞ ENERJİSİNDEN SICAK SU VE ELEKTRİK ÜRETİMİ İLE BİNA
ISITMASI VE SICAK SU SAĞLANMASI

Zafer Ahmet GÖK

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca

Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Prof. Dr. Mehmet Ali EBEOĞLU

Mayıs-2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Zafer Ahmet GÖK'ün YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "GÜNEŞ ENERJİSİNDEN SICAK SU VE ELEKTRİK ÜRETİMİ İLE BİNA ISITMASI VE SICAK SU SAĞLANMASI" başlıklı bu çalışma, jürimizce Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

21/05/ 2019

Prof. Dr. Önder UYSAL

Enstitü Müdürü, Fen Bilimleri Enstitüsü

Prof. Dr. Mehmet Ali EBEOĞLU

Bölüm Başkanı, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

Prof. Dr. Mehmet Ali EBEOĞLU

Danışman, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

Sınav Komitesi Üyeleri

Prof. Dr. Mehmet Ali EBEOĞLU

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

Doç. Dr. Ahmet ÖZMEN

Sakarya Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

Dr. Öğr. Üyesi Bahadır HIÇDURMAZ

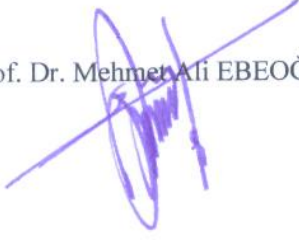
Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tezin hazırlanmasında Akademik kurallara riayet ettiğimizi, özgün bir çalışma olduğunu ve yapılan tez çalışmasının bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olduğunu, çalışma kapsamında teze ait olmayan veriler için kaynak gösterildiğini ve kaynaklar dizininde belirtildiğini, Yüksek Öğretim Kurulu tarafından kullanılmak üzere önerilen ve Kütahya Dumlupınar Üniversitesi tarafından kullanılan İntihal Programı ile tarandığını ve benzerlik oranının %15 çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumuzu taahhüt ederiz.

Prof. Dr. Mehmet Ali EBEOĞLU



Zafer Ahmet GÖK



GÜNEŞ ENERJİSİNDEN SICAK SU VE ELEKTRİK ÜRETİMİ İLE BİNA ISITMASI VE SICAK SU SAĞLANMASI

Zafer Ahmet GÖK

Elektrik Elektronik Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2019

Tez Danışman: Prof. Dr. Mehmet Ali EBEOĞLU

ÖZET

Yenilenebilir enerji kaynaklarından ülkemizde potansiyeli oldukça yüksek olan güneş enerjisi geçmişten bugüne evsel kullanım suyu ısıtılması ve son yıllarda özellikle elektrik enerjisi üretimi amacıyla kullanılmaktadır.

Bu çalışmada Kütahya İlinin güneş radyasyon değerleri ele alınmıştır. Piyasada bulunan güneş kolektörü ve fotovoltaik panel çeşitleri için Kütahya'da aylara göre metrekareye ortalama güneş ışınım ve verim grafikleri elde edilmiştir. Bu grafikler kullanılarak bir binanın güneşli saatler için ısıtılması ve kullanım sıcak suyu elde edilmesi tasarımı yapılmıştır. Kütahya İli için yapılan tasarım İzmir İline de aynen uygulanarak iki farklı bölgenin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu tasarım yapılırken en önemli rol suyun devir daimine düşmektedir ve pompalar güneşten elde edilen elektrik ile çalıştırılacağından pompaların verimli bir şekilde çalıştırılması, kontrol yazılımı ve bu yazılımın düzgün çalışmasını sağlayacak sensörlerin kullanılması ile mümkündür. Kontrol paneli devresi tasarlanarak yazılan bir programla pompaların belirli parametreler dâhilinde çalışması sağlanmıştır.

Sonuç olarak bir binanın enerji ihtiyacı olarak elektrik, su ısıtılması ve ortam ısıtması sayılabilir. Ülkemizdeki güneş enerjisi potansiyeli düşünüldüğünde binaların tasarımı güneş ışınlarını en iyi alacak şekilde yapıldığında güneşli saatlerde enerji ihtiyacını güneşten sağlayabileceği sonucuna varılabilir. Ülkemizin ılıman ve aylık ortalama radyasyon değerleri daha yüksek olan bölgelerinde tüm yıl içinde bina ısıtılması ve sıcak su elde edilmesi için gerekli yıllık enerji ihtiyacının karşılanabileceği düşünülebilir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik Paneller, Güneş Enerjisi, Güneş Kolektörleri

BUILDING HEATING AND SUPPLY HOT WATER WITH SOLAR HEATING AND ELECTRICITY GENERATION

Zafer Ahmet GÖK

Electrical and Electronics Engineering, M.S. Thesis, 2019

Thesis Supervisor: Prof. Dr. Mehmet Ali EBEOĞLU

SUMMARY

Solar energy as an important and reliable kind of renewable energy source which has a very high potential in our country and extensively has been used to heat domestic water and to generate electrical energy especially in recent years.

In this study, solar radiation data of Kütahya province are discussed. Monthly average solar radiation and efficiency graphs per square meter in Kütahya were obtained for solar collectors and photovoltaic panels in the market. By using these graphs, the indoor heating and domestic hot water requirements of a building have been realized for the sunny hours of the day. The design for Kütahya province was also applied to the province of İzmir and two different regions were compared. The most important role in this design of the system is the circulation of the water. The pumps which provide the circulation of the hot water can be operated by electricity from the sun, using the pumps efficiently. This is possible with the control software and the use of sensors to ensure the software works properly. The control panel circuit is designed and programmed to operate the pumps within certain parameters and limits.

As a result, energy needs of a building including electricity, water heating and ambient heating have been calculated. When the potential of solar energy in our country is considered, the design of the buildings can be realized to receive the sun rays best. As a result, the energy demand of these buildings can be provided from sun in sunny hours. It can be considered that the annual energy requirement for heating the building and obtaining hot water in the whole year can be supplied in the regions where our country has a milder and higher monthly average radiation values.

Keywords: Photovoltaic Panels, Sun collectors, Sun Power

TEŞEKKÜR

Bu çalışma boyunca beni yönlendiren ve desteğinden sürekli yararlandığım çok değerli Danışmanım ve Hocam Prof. Dr. Mehmet Ali EBEOĞLU'na, çalışmam süresince ısıtma konularında bilgilerini esirgemeyen özellikle ısı hesaplarının gerçekleştirilmesi sürecinde destek olan ağabeyim Makine Mühendisi Musa Ali GÖK'e, bütün hayatım boyunca olduğu gibi eğitim hayatım boyunca da bana maddi ve manevi her türlü desteklerini veren, anlayış ve sabırları tükenmeyen annem Halime Mübeccel GÖK'e ve babam Mehmet GÖK'e, çalışmam boyunca beni hoş gören ve destek olan hayat arkadaşım biricik eşim Songül GÖK'e ve canım oğlum Mehmet Batu'ya teşekkürü bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	v
SUMMARY	vi
İÇİNDEKİLER	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. DAHA ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	9
3. MATERYAL VE YÖNTEM	18
3.1. Materyal	18
3.1.1. Güneş kolektörleri	19
3.1.2. Fotovoltaik piller	24
3.1.3. Sıcaklık sensörleri.....	33
3.1.4. AC Sirkülasyon pompası	35
3.1.5. Kontrol paneli.....	36
3.1.6. İnverter	37
3.1.7. Maksimum güç noktası izleyici (MPPT)	38
3.2. Yöntem.....	42
4. TASARIMIN YAPILMASI	45
4.1. Kütahya İli Meteorolojik Verilerinin Derlenmesi ve Bu Veriler Kullanılarak Enerji Grafiklerinin Elde Edilmesi	45
4.1.1. Güneş kolektörleri için enerji grafikleri hazırlanması	46
4.1.2. Fotovoltaik paneller için enerji grafikleri hazırlanması	50
4.2. Kütahya İli İçin Güneş Enerjisinden Sıcak Su ve Elektrik Üretimi ile Bina Isıtması ve Sıcak Su Sağlanması İçin Tasarım.....	56
4.3. Kütahya İli İçin Yapılan Tasarımın İzmir İli Meteorolojik Verilerine Göre Değerlendirilmesi ve İki İl Verilerinin Karşılaştırılması	63

İÇİNDEKİLER (devam)**Sayfa**

4.4. Kontrol Paneli Tasarımı	70
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	73
KAYNAKLAR DİZİNİ	77

EKLER

Ek 1: Kütahya İli İçin 2016 – 2017 Yılları Günlük Güneşlenme Süreleri	
Ek 2: İzmir İli İçin 2016 – 2017 Yılları Günlük Güneşlenme Süreleri	
Ek 3: Kütahya İli İçin Isı Kaybı Hesapları	
Ek 4: İzmir İli İçin Isı Kaybı Hesapları	
Ek 5: Eziç Firması Düzlemsel Yüzeyle Güneş Kolektörü Kataloğu	
Ek 6: Anages Firması Çift Serpantinli Boyler Kataloğu	
Ek 7: Nova Pompa Firması Sirkülasyon Pompası Kataloğu	
Ek 8: Tommatech Firması Polikristal Silikon Fotovoltaik Panel Kataloğu	
Ek 9: Pompalar İçin Kontrol Yazılımı	
Ek 10: Kontrol Paneli Çalıştırılması ve Sıcaklık Ayarlamaları ile Yapılan Denemeler	

ÖZGEÇMİŞ

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Fotovoltaik panel ve güneş kolektörülü su ısıtma sistemi şematik gösterimi.....	9
2.2. Fotovoltaik/termal panel uygulamasının gösterimi.....	11
2.3. Tek çatıda fotovoltaik/termal kolektörler ve aynı alana termal kolektörler ve fotovoltaik panellerin ayrı ayrı yerleşiminin verimleri.....	12
2.4. Panellerin ve ısı sistemlerinin yerleşimi	14
2.5. HRV sistemi ile fotovoltaik/termal havalı kolektörün birlikte kullanıldığı sistemin şeması.....	17
3.1. Güneş enerjisinden sıcak su ve elektrik üretimi ile bina ısıtması ve sıcak su sağlanması şematik gösterimi.	18
3.2. Düzlemsel yüzeyli güneş kolektörü kesit görünüşü.....	20
3.3. İntegral güneş kolektör depolu sistem kesit görünüşü.	22
3.4. a) Vakum tüplü güneş kolektörü enine kesit ve b) Gösterimi.	23
3.5. Vakum tüpe gün içinde çeşitli zamanlarda gelen güneş ışınımı.....	24
3.6. p-n yapısı gösterimi.....	25
3.7. Fotovoltaik pilin tek diyot eşdeğer devresi.....	27
3.8. Fotovoltaik pilin iki diyot eşdeğer devresi	27
3.9. Fotovoltaik pilin I-V eğrisi.....	28
3.10. Maksimum güç alanı.	29
3.11. Isıl çift çalışma prensibi.	34
3.12. Tam aralık LM35 santigrat sıcaklık sensörü uygulaması.....	35
3.13. Tam köprü evirici devresi.....	37
3.14. I-V ve P-V eğrisi	39
4.1. Kütahya İli için 2016-2017 yılları aylık ortalama güneşlenme süresi (saat).	46
4.2. Kütahya İli için 2004-2016 yılları aylık ortalama radyasyon.....	47
4.3. Düzlemsel yüzeyli ve vakum tüplü güneş kolektörü sıcaklığa göre verim değişimi.....	47
4.4. Düzlemsel yüzeyli güneş kolektörleri için aylara göre metrekareye ortalama güneş ışınımı ve verimi.....	49
4.5. Vakum tüplü güneş kolektörleri için aylara göre metrekareye ortalama güneş ışınımı ve verimi.	50
4.6. Amorf-silikon (a-Si) ince film fotovoltaik panel için metrekare başına elde edilen aylık ortalama güneş ışınımı.....	52

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.7. CdTe ince film fotovoltaik panel için metrekare başına elde edilen aylık ortalama güneş ışınımı.....	53
4.8. (CIS) ince film fotovoltaik panel için aylara göre metrekareye ortalama güneş ışınımı.	54
4.9. Monokristal silikon fotovoltaik panel için aylara göre metrekareye ortalama güneş ışınımı.....	55
4.10. Polikristal silikon fotovoltaik panel için aylara göre metrekareye ortalama güneş ışınımı.....	56
4.11. Güneş enerjisinden sıcak su ve elektrik üretimi ile bina ısıtması ve sıcak su sağlanması için yapılan tasarım şematik gösterimi.	61
4.12. Yıllık güneş kolektörlerinden üretilebilecek aylara göre enerji miktarları ve yapının ısıtılabilmesi ve sıcak su sağlanması için gerekli ısı enerjisi miktarı.	62
4.13. Yıllık fotovoltaik panellerden üretilebilecek aylara göre enerji miktarları ve pompaların çalıştırılabilmesi için gerekli elektrik enerjisi miktarları.....	62
4.14. İzmir İli için 2004-2016 yılları aylık ortalama radyasyon.	63
4.15. İzmir için Düzlemsel yüzeyli güneş kolektörleri için aylara göre metrekareye ortalama güneş ışınımı ve verimi.	65
4.16. Polikristal silikon fotovoltaik panel için aylara göre metrekareye ortalama güneş ışınımı.....	66
4.17. İzmir yıllık güneş kolektörlerinden üretilebilecek aylara göre enerji miktarları ve yapının ısıtılabilmesi ve sıcak su sağlanması için gerekli ısı enerjisi miktarı.	68
4.18. İzmir yıllık fotovoltaik panellerden üretilebilecek aylara göre enerji miktarları ve pompaların çalıştırılabilmesi için gerekli elektrik enerjisi miktarları.....	68
4.19. İzmir ve Kütahya için yıllık güneş kolektörlerinden üretilebilecek aylara göre enerji miktarları ve yapının ısıtılabilmesi ve sıcak su sağlanması için güneşli saatlerde gerekli ısı enerjisi miktarı.....	69
4.20. İzmir ve Kütahya için yıllık fotovoltaik panellerden üretilebilecek aylara göre enerji miktarları ve pompaların çalıştırılabilmesi için güneşli saatlerde gerekli elektrik enerjisi miktarları.	70
4.21. P1 ve P2 pompaları kontrol algoritması.	71
4.22. Kontrol paneli devre şeması.	72

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Isıl çift yapımında kullanılan metaller ve ısıl çift çeşitleri.....	34
4.1. Kütahya İli için 2016-2017 yılları için aylık ortalama güneşlenme süreleri (saat).....	45
4.2. Kütahya ili aylara göre ortalama ve ortalama en düşük sıcaklıklar.....	48
4.3. Kütahya ili aylara göre ($T_{in} - T_a$) değerleri.....	48
4.4. Kütahya İli aylara göre düzlemsel yüzeyli güneş kolektörleri için metrekareye ortalama güneş ışıınımı (kWh/m^2).....	49
4.5. Kütahya İli aylara göre vakum tüplü güneş kolektörleri için metrekareye ortalama güneş ışıınımı (kWh/m^2).....	50
4.6. Fotovoltaik panel verimleri (Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, 2018a; Jäger vd., 2014).	51
4.7. Kütahya İli aylara göre (a-Si) ince film fotovoltaik panel için metrekareye ortalama güneş ışıınımı (kWh/m^2).....	51
4.8. Kütahya İli aylara göre (CdTe) ince film fotovoltaik panel için metrekareye ortalama güneş ışıınımı (kWh/m^2).....	52
4.9. Kütahya İli aylara göre (CIS) ince film fotovoltaik panel için metrekareye ortalama güneş ışıınımı (kWh/m^2).....	53
4.10. Kütahya İli aylara göre Monokristal silikon fotovoltaik panel için metrekareye ortalama güneş ışıınımı (kWh/m^2).....	54
4.11. Kütahya İli aylara göre polikristal silikon fotovoltaik panel için metrekareye ortalama güneş ışıınımı (kWh/m^2).....	55
4.12. Aylara göre şebeke suyu sıcaklıkları ($^{\circ}C$) (Abuşka, 2018).....	56
4.13. Güneşli saatler ortalama elektrik ihtiyacı ve panel alanı.....	60
4.14. İzmir İli 2016-2017 yılları için aylık ortalama güneşlenme süreleri (saat).	63
4.15. İzmir İli aylara göre ortalama ve ortalama en düşük sıcaklıklar.	64
4.16. İzmir İli aylara göre ($T_{in} - T_a$) değerleri.	64
4.17. İzmir İli aylara göre düzlemsel yüzeyli güneş kolektörleri için metrekareye ortalama güneş ışıınımı (kWh/m^2).....	65
4.18. İzmir İli aylara göre polikristal silikon fotovoltaik panel için metrekareye ortalama güneş ışıınımı (kWh/m^2).....	66
4.19. Aylara göre şebeke suyu sıcaklıkları ($^{\circ}C$) (Abuşka, 2018).....	67
4.20. İzmir İli aylara göre saatlik sıcak su enerji ihtiyacı (W).	67

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
MW	Güç (Megawatt)
W	Güç (Watt)
kW	Güç (Kilowatt)
kWh	Enerji (Kilowatt saat)
MWh	Enerji (Megawatt saat)
m	Uzunluk (Metre)
°C	Sıcaklık (Santigrat)
m ²	Alan (Metrekare)
kWp	Enerji (Kilowatt.peak)
W/m ²	Isı akısı (Watt/metrekare)
A	Kolektör yüzey alanı
Q_i	Absorbe edilen güneş ışınımı
τ	Camın iletim katsayısı
α	Düzlemin iletim katsayısı
Q_o	Isı kaybı oranı
U_L	Isı transfer katsayısı
T	Sıcaklık
Q_u	Ekstraksiyon oranı
m	Kütle
c_p	Öz ısı
F_R	Toplayıcı ısı çıkarma faktörü
η	Verim
Si	Silisyum
Ge	Germanyum
Se	Selenyum
GaAs	Galyum arsenik
InP	İndiyum fosfat
PbS	Kurşun sülfür
mm	Uzunluk (milimetre)
I_{ph}	Foto akım

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
I_D	Diyot akımı
I_S	Doyma akımı
I_p	Paralel dirençten geçen akım
R_S	Seri direnç
q	Elektron yükü ($1.602 \cdot 10^{-19}$ coulomb)
A_i	İdealite katsayısı
k_B	Boltzmann sabiti ($1.380658 \cdot 10^{-23}$ j/K)
R_p	Paralel direnç
$\alpha, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$	Sabit sayılar
E	Güneş ışınımı
E_{ref}	Referans güneş ışınımı
T_j	Kavşak (kesişme noktası) sıcaklığı
T_{ref}	Referans sıcaklık (298° K)
I_S	Doyma akımı
K	Sabit sayı
I_{d1}, I_{d2}	Diyot akımı
I	Akım (amper)
V	Gerilim (volt)
I_{SC}	Kısa devre akımı
V_{OC}	Açık devre gerilimi
W_m	Maksimum güç noktası
P_m	Çıkış gücü
I_m	Maksimum güç noktası akımı
V_p	Maksimum güç noktası gerilimi
FF	Doyma noktası
SiO_2	Silikon dioksit
C	Karbon
CO	Karbon monoksit
HCl	Hidrojen klorit

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
HSiCl_3	Triklorosilan
H	Hidrojen
CuInSe_2 (CIS)	Bakır indium-diselenoid
B_2H_6	Polisilikon diboran
PH_3	Fosfin
a-Si	Amorf silikom
CdTe	Kadmiyum tellür
mV	Gerilim (miliVolt)
Q_m	Debi
H_m	Basma yüksekliği
nm	Pompa devir sayısı
V_{mpp}	Mpp noktası gerilimi
I_{mpp}	Mpp noktası akımı
D	Görev döngüsü
T_{in}	Kolektör ortalama sıvı sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
T_a	Ortam sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
η_{dk}	Düzlemsel yüzeyli güneş kolektörü verimi
η_{vt}	Vakum tüplü güneş kolektörü verimi
E_{kort}	Kolektör aylık ortalama güneş ışıınımı (kWh/m^2)
E_{ort}	Aylık ortalama güneş ışıınımı (kWh/m^2)
E_{dkort}	Düzlemsel yüzeyli güneş kolektörü ortalama güneş ışıınımı (kWh/m^2)
E_{vtort}	Akum tüplü güneş kolektörü güneş ışıınımı (kWh/m^2)
E_{aort}	Amorf-silikon(a-Si) fotovoltaik panel ortalama güneş ışıınımı (kWh/m^2)
E_{cdort}	(CdTe) fotovoltaik panel ortalama güneş ışıınımı (kWh/m^2)
E_{cisort}	(CIS) fotovoltaik panel ortalama güneş ışıınımı (kWh/m^2)
E_{mort}	Monokristal silikon fotovoltaik panel ortalama güneş ışıınımı (kWh/m^2)
E_{plyort}	Polikristal silikon fotovoltaik panel ortalama güneş ışıınımı (kWh/m^2)
Q_{is}	Toplam ısı kaybı, Güç, (W)
Q_{ss}	Evsel sıcak su elde edilmesi için gerekli ısı ihtiyacı, Güç, (W)
Q_T	Toplam ısı ihtiyacı, Güç, (W)

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
$t_{ş}$	Şebeke suyu sıcaklığı
P_{It}	Toplam enerji ihtiyacı (kWh)
A_{dk}	Toplam güneş kolektörü alanı (m ²)
V_b	Boyer hacmi
V_{es}	Sıcak su hacmi
t_k	Kullanım suyu sıcaklığı
$t_{ü}$	Suyun boylerde yükseldiği üst sıcaklık
N	Pompa gücü (W)
Q_p	Pompa debisi (l/s)
l/s	Litre / saniye
g	Yerçekimi ivmesi
N_{elk}	Elektrik gücü ihtiyacı (W)
P_{elk}	Elektrik enerjisi ihtiyacı (Wh)
A_{ply}	Polikristal silikon fotovoltaik panel alanı
P_{PV}	Fotovoltaik jeneratörün çıkışındaki güç
V_{PV}	Fotovoltaik jeneratörün çıkışındaki gerilim
I_{PV}	Fotovoltaik jeneratörün çıkışındaki akım
<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
HRV	Isı geri kazanımlı havalandırma sistemleri
AC	Alternatif akım
DC	Doğru akım
EMK	Elektromotor kuvvet
MPPT	Maximum peak power tracker (Maksimum güç noktası izleyici)
MPP	Maximum peak power (Maksimum güç noktası)
PV	Photovoltaic (Fotovoltaik)

1. GİRİŞ

Dünya enerji ihtiyacı gelişen teknolojinin enerjiye olan bağımlılığının artması, dünya nüfusunun artması ve hane halkı ekonomik gelirlerinin artmasının sonucu olarak yaşam standardını artıran teknolojik cihazların fiyatlarının azalmasından dolayı bu tip cihazlara ulaşımın kolaylaşması ile orantılı olarak yıllar geçtikçe artmaktadır. Günümüzde dünya enerji ihtiyacının büyük bölümü fosil yakıtlar ve yenilenemez enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. 2015 yılı dünya brüt elektrik üretimine bakıldığında elektrik üretiminin %39,3'ü kömürden, %4,1'i petrolden, %22,9'u doğalgazdan, %10,6'sı nükleer enerjiden olmak üzere %76,9'u fosil yakıtlar ve yenilenemez enerji kaynaklarından sağlanmıştır (International Energy Agency [IEA], 2017).

İnsanlık tarihinin temel enerji kaynağı olan fosil yakıtlara duyulan ihtiyaç sanayi devriminden sonra katlanarak artmıştır. İnsanlığın gerekli enerji ihtiyacını karşılayabilmek için fosil yakıtlara olan ihtiyacı yıllar geçtikçe artarken fosil yakıt rezervleri ise hızla erimektedir. Günümüzde ise enerji hayati öneme sahiptir ve enerjinin olmadığı yerlerde ya da zamanda hayatın durma noktasına geldiği görülmektedir. Artık insanlık enerjinin önemini daha fazla anlamıştır. 70'lerde ve 90'ların başında meydana gelen petrol krizleri özellikle Türkiye gibi petrol ve doğalgaz gibi kaynaklar bakımından fakir olan ülkelere enerjinin verimli kullanılmasını ve kaynakların çeşitlendirilmesi gereğini mümkünse de yenilenebilir enerji kaynaklarına geçilmesi gereğini göstermiştir. Yeni politikalar senaryosuna göre dünyanın brüt enerji ihtiyacının geçmiş yıllara göre daha yavaş artmasına karşın 2040 yılına kadar %30 artması beklenmektedir (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 2017). Bu beklentide göstermektedir ki fosil yakıtlar beklenenden daha yakın zamanda tükenebilir.

Dünyada kullanılan enerji kaynakları, oluşumlarına göre yenilenemez ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak ikiye ayrılırlar. Enerji kaynakları oluşumlarına göre aşağıdaki gibi gruplanabilir;

1. Yenilenemez Enerji Kaynakları
 - a. Fosil Kaynaklar
 - i. Kömür
 - ii. Doğalgaz
 - iii. Petrol ve Türevleri
 - b. Nükleer Enerji

2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

- a. Rüzgâr Enerjisi
- b. Biyokütle Enerjisi
- c. Hidroelektrik Enerjisi
- d. Jeotermal Enerji
- e. Gelgit Enerjisi
- f. Dalga Enerjisi
- g. Güneş Enerjisi

Yenilenemez enerji kaynakları ya madensel uranyum, toryum gibi dünya üzerinde hali hazırda var olan ya da dünyanın milyonlarca yıllık tarihi boyunca çürüyen bitki ve hayvan kalıntılarında oluşan günümüz kullanımı göz önüne alındığında tekrar oluşması ihmal edilebilecek derecede yavaş olan kaynaklardır.

Yenilenebilir enerji kaynakları ise doğada var olan, güneş enerjisi ve güneşin doğal etkisi olan rüzgâr enerjisi, biyolojik doğal değişim süreçleri sonucu oluşan enerji, jeotermal olaylar sonucu oluşan jeotermal enerji, hidroelektrik gibi kaynaklardır. Yenilenebilir enerjinin literatürdeki tariflerine bakarsak; gerçek yenilenebilir enerji kaynakları, doğal süreçlerle en azından bizim onları kullandığımız hızda kendini doldurabilen enerji kaynaklarıdır (Virginia Department of Mines, Minerals and Energy, 2018) ya da yenilenebilir enerji, sürekli veya döngüsel olarak doğadan ulaşılan kaynaklardan elde edilen enerji çeşididir veya Yenilenebilir enerji kaynakları, doğal yollardan elde edilebilen ve sürekliliği olan enerjiler olarak da tarif edilmektedir (Ege Üniversitesi, 2018).

Enerji denilince akla ilk gelen kaynaklar fosil kaynaklardır, ancak fosil kaynaklar kullanıldıklarında atmosfere yüksek miktarda sera gazı yaymakta ve buda küresel ısınmanın başlıca sebeplerinden bir tanesini oluşturmaktadır. Ayrıca bütün ülkeler fosil kaynaklar bakımından zengin ülkeler değillerdir ve bu tip kaynaklar bakımından diğer ülkelere muhtaçtırlar. Küresel ısınmayla mücadele edebilmek için sera gazı emisyonunun azaltılması çok önemlidir. Sera gazı emisyonunun azaltılması için 1997 yılında dünya çapında ülkeleri bağlayan sonuçları olan “Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi’ ne ilişkin Kyoto Protokolü” imzalanmıştır. Kyoto Protokolünün 3’üncü maddesinin 2’nci bendinde; “Ek-I’ de yer alan Taraflar, 2008-2012 yıllarını kapsayan taahhüt döneminde, Ek-A’da sıralanan insan faaliyetlerinin neden olduğu karbondioksit eşdeğeri sera gazlarının emisyon toplamını, 1990 yılı seviyelerinin en az %5 aşağısına indirmek için, Ek-B’de kayıtlı sayısallaştırılmış salım

sınırlandırma ve azaltım taahhütlerine uygun olarak ve işbu Madde'nin hükümleri gereğince hesaplanarak tayin edilmiş olan miktarları aşmamasını, bireysel ya da müştereken sağlayacaklardır.” demektedir. Sera gazı emisyonunun azaltılmasının en etkili yollarından biri de kullanılmaları durumunda yüksek miktarda CO₂ üreten fosil yakıtların yerini yenilenebilir enerjiyi kaynaklarının alması ya da fosil yakıt kullanımını en alt seviyeye indirmek ve fosil yakıtları zorunluluk durumlarında kullanmaktır.

Avrupa Birliği ülkelerinde sera gazı emisyonunu azaltmak için yaklaşık sıfır enerjili binalara geçilmesi kararlaştırılmıştır. Yaklaşık sıfır enerjili binalar, yüksek enerji performansına sahip binalardır, bunların neredeyse sıfır ya da çok düşük miktarda enerji ihtiyaçları fosil kaynaklardan karşılanırken, enerjilerinin tamamına yakını yerinde ya da yakınındaki yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılarlar (Directive 2010/31/Eu of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast), 2010). Avrupa Birliği Binaların Enerji Performansı Direktifine göre 2020 yılı sonu itibarıyla Avrupa Birliği ülkelerinde tüm yeni binaların yaklaşık sıfır enerjili binalar olması sağlanacaktır. Buna göre Avrupa Birliğinde binaların bütün ısınma, soğutma ve elektrik gibi enerji ihtiyaçlarının yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanabilmesi yani sıfır enerjili binalar yakın zamanda zorunlu hale gelebilir. Sıfır enerjili bina, binanın yıllık toplam elektrik enerjisi ihtiyacını yıl içinde dağıtım şebekesinden alınan çok az miktardaki enerjiyi, yenilenebilir kaynaklarla yerinde üretilen enerjiyi satarak karşılayan ve sene sonu toplam enerji bilançosunu sıfır yapabilen yüksek enerji verimli binalardır (Lijnen, 2011).

Yenilenebilir enerji kaynakları

Rüzgâr enerjisi

Rüzgârdan enerji elde etmek aslında yeni bir teknoloji değil çok eskiden beri kullanılan bir yöntemdir. Bilindiği üzere özellikle Hollanda, Danimarka gibi ülkelerde ve ülkemizde Ayvalık, Bodrum, Datça gibi yörelerimizde yel değirmenleri yüz yıllardır tarımsal amaçlı buğday öğütmek ve su pompalamak amacıyla kullanılmaktadır. Rüzgâr enerjisi; doğal, yenilenebilir, temiz ve sonsuz bir güç olup asıl kaynağı güneştir. Güneşin dünyaya gönderdiği enerjinin % 1-2 gibi küçük bir miktarı rüzgâr enerjisine dönüşmektedir Güneşin, yer yüzeyini ve atmosferi homojen ısıtmamasının bir sonucu olarak ortaya çıkan sıcaklık ve basınç farkından dolayı hava akımı oluşur. Rüzgâr; birbirine komşu bulunan iki basınç bölgesi arasındaki basınç farklarından dolayı meydana gelen ve yüksek basınç merkezinden alçak basınç merkezine doğru

hareket eden hava akımıdır. Rüzgarlar yüksek basınç alanlarından alçak basınç alanlarına akarken; dünyanın kendi eksenini etrafında dönmesi, yüzey sürtünmeleri, yerel ısı yayılımı, rüzgâr önündeki farklı atmosferik olaylar ve arazinin topografik yapısı gibi nedenlerden dolayı şekillenir. Rüzgârın özellikleri, yerel coğrafi farklılıklar ve yeryüzünün homojen olmayan ısınmasına bağlı olarak, zamansal ve yöresel değişiklik gösterir. Rüzgâr hız ve yön olmak üzere iki parametre ile ifade edilir. Rüzgâr hızı yükseklikle artar ve teorik gücü de hızının küpü ile orantılı olarak değişir. Rüzgâr enerjisi uygulamalarının ilk yatırım maliyetinin yüksek, kapasite faktörlerinin düşük oluşu ve değişken enerji üretimi gibi dezavantajları yanında üstünlükleri genel olarak şöyle sıralanabilir; atmosferde bol ve serbest olarak bulunur, yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağıdır, çevre dostudur, kaynağı güvenilirdir, tükenme ve zamanla fiyatının artma riski yoktur. Maliyeti günümüz güç santralleriyle rekabet edebilecek düzeye gelmiştir. Bakım ve işletme maliyetleri düşüktür. Hammaddesi tamamıyla yerlidir, dışa bağımlılık yaratmaz. Teknolojisinin tesisi ve işletilmesi göreceli olarak basittir. İşletmeye alınması kısa bir sürede gerçekleştirilebilir (Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, 2018c). Ülkemizde son yıllarda rüzgâr enerjisine yatırım oldukça artmıştır, Dinar, Banaz, Çeşme, Alaçatı, Soma, Kangal gibi birçok yerde 50 MW üstü kurulu güce sahip rüzgâr santralleri kurulmuştur.

Biyokütle enerjisi

Biyokütle, yeryüzünde ve biyosferde organik üretimde bulunmak için karbondioksit, su ve güneş enerjisi kullanan bitkilerin toplamıdır. Biyoenerji, sıvı biyoyakıt (genellikle enerji zengini ürünlerden elde edilen), atık (evsel atıklar dâhil), katı biyokütle (odun, odun kömürü ve diğer biyokütle maddeleri) veya gaz (biyokütle çürümelerinden elde edilen) formlarında biyokütleden elde edilir. Teorik olarak enerji üretimi için kullanılan bitkilerin yeniden yetiştirilmesi mümkündür. Bu nedenle biyokütle yenilenebilir bir enerji kaynağıdır (WWF–Türkiye, 2018). Biyokütle enerjisinin avantajları; hemen her yerde yetiştirilebilmesi, üretim ve çevrim teknolojilerinin iyi bilinmesi, düşük ışık şiddetlerinin yeterli olması depolanabilir olması, çevre kirliliği oluşturmaması, sera etkisi oluşturmaması, asit yağmurlarına yol açmamasıdır. Ülkemizde biyokütle enerjisi kullanılarak yerinde üretim yapılarak enterkonnekte sistemden uzakta kırsal alanlara enerji götürmek için yapılacak iletim hattı tesis ve bakım masraflarından kaçınılabılır.

Hidroelektrik enerjisi

Aslında suyun enerjisinin ilk kullanımı da çok eski çağlara, buğdayın öğütülmesi için kurulan su değirmenlerine dayanmaktadır. İlk hidroelektrik sistemler ise 1900'lerin başlarında, Niyagara Şelalelerinde geliştirilmiştir. Hidroelektrik, o zamandan beri düzenli bir gelişim göstermiştir ve 1930'larda Amerika, elektriğinin %40'ı hidroelektrik santrallerinden karşılamaktaydı (Doğan, 2011: s15-16.). Türkiye'de ise ilk hidroelektrik santrali 1902 yılında Tarsus'ta bir su değirmeninden yararlanılarak kurulan 2 kW kurulu gücündeki santraldir. Hidroelektrik santraller akan suyun gücünü elektriğe dönüştürürler. Akan su içindeki enerji miktarını suyun akış veya düşüş hızı tayin eder. Büyük bir nehirde akan su büyük miktarda enerji taşımaktadır. Ya da su çok yüksek bir noktadan düşürüldüğünde de yine yüksek miktarda enerji elde edilir. Her iki yolla da kanal ya da borular içine alınan su, türbinlere doğru akar, elektrik üretimi için türbinlerin dönmesini sağlar. Türbinler jeneratörlere bağlıdır ve mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürürler (Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, 2018b).

Büyük akarsulara kurulan hidroelektrik santrallerinden elde edilen enerji ile büyük fabrikalar ve küçük şehirler beslenebilirken, küçük akarsulara kurulan küçük ve mikro hidroelektrik santralleri ile dağınık ve yerinde üretim ile mezra, köy gibi kırsal bölgelerin enerji ihtiyaçları doğal ve temiz yollarla karşılanabilir.

Hidroelektrik santraller; yenilenebilir kaynak olan sudan enerji elde etmeleri, sera gazı emisyonu yaratmamaları, inşaatın yerli imkânlarla yapılabilmesi, teknik ömrünün uzun olması ve yakıt giderlerinin olmaması, işletme bakım giderlerinin düşük olması, istihdam imkânı yaratmaları, kırsal kesimlerde ekonomik ve sosyal yapıyı canlandırmaları yönünden en önemli yenilenebilir enerji kaynağıdır (Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, 2018b).

Jeotermal enerji

Jeotermal enerji eski çağlardan beri sağlık amaçlı kullanıla gelen enerji çeşididir. Günümüzde sağlık amaçlı kullanımı dünyanın birçok yerinde ve ülkemizde devam etmektedir, ülkemizde Kütahya, Yoncalı Köyünde kurulan fizik tedavi ve rehabilitasyon hastanesi ülkemizdeki kullanımına bir örnektir. Bunun yanında İtalya'da asit borik elde edilmesi amacıyla da jeotermal enerjiden yararlanılmıştır.

Jeotermal enerji, yerkürenin merkezinden yüzeyine doğru yayılan yerkürenin içindeki ısıdan dolayı oluşmaktadır. Yerküre kabuğunun altındaki ilk 10km kabuk yapısının homojen

olmamasından dolayı değişiklik göstermektedir. Sıcaklığı kayalar tarafından emilerek depo edilen, yüzeyin altında, sıcaklığın beklenen değerden daha yüksek olduğu yerler vardır. Bu tür yüzeylere yapılacak bir kazı, sıcak buharın yüzeyden çıkmasını sağlar ve bu buhar elektriğe ya da başka bir tür enerjiye dönüştürülebilir (Doğan, 2011: 17.). Kaymakçıoğlu ve Kayabaşına göre, ilk jeotermal enerji üretimi İtalya'da Lardello sahasında 1920'ler de kızgın kuru buhar üretimiyle başlatılmıştır ve ilk montajı yapılan turbo jeneratör ile 250kWh elektrik enerjisi elde edilmiştir. 1930'larda ısıtma amaçlı olarak İzlanda'nın Reykjavik kentinde kullanılmıştır. 1950'de Yeni Zelanda'da ki Wairakei yerleşiminde otel ısıtma amacıyla başlayan sondaj ve çalışmalar daha sonra elektrik enerjisi elde etmek için artarak devam etmiştir. 1954 yılında 200MWh kapasiteli bir enerji santrali kurulmuş, 1960'da ABD, 1961'de Meksika ve 1966'da Japonya da jeotermal kaynaklı santraller tesis edilmiştir. Hâlihazırda Türkiye'de Simav ve Sandıklı'da jeotermal ısıtma; Afyonkarahisar'da jeotermal kaynaklı elektrik üretimi ve şehrin bir kısmının ısıtılması sağlanmaktadır.

Gelgit enerjisi

Gelgit enerjisi kısaca ayın çekim gücü ile denizlerdeki dalgalanma hareketine denir. Gelgit olayı ay, güneş ve dünyanın çekim gücü ile merkezkaç kuvvetleri arasındaki etkileşim sonucunda meydana gelir. Gelgit ile oluşan gücün büyüklüğünün %68'i ay, %32'si ise güneşin dünyaya olan uzaklığına bağlıdır. Gelgit hareketi suyun günde 2 kez yükselmesi ve 2 kez alçalması ile oluşur. Genellikle 12 saat veya 24 saatlik periyotlar ile yükselme ve alçalma hareketi gerçekleşir. Gelgit genliği, yerin coğrafik konumuna göre değişmektedir. Maksimum genlik okyanus ortalarında 1m civarında olmakla birlikte; bu genlik, bazı kıyısal yerlerde 16m'ye kadar ulaşmaktadır. Gelgit enerji sisteminde, suyun gelmesi ile birlikte yatay havuzlara doldurulmaktadır. Daha sonra ise sular çekildikten sonra bu su türbinler üzerine bırakılmaktadır ve bu şekilde türbinler yardımı ile elektrik enerjisi elde edilmektedir (Doğan, 2011: 18). Bir başka yöntemde ise gelgit enerjisi ile oluşan dalgaların önüne türbinler konulur. Dalgalar yükselip alçalırken bu türbinleri döndürür. Türbinler de bağlı olduğu jeneratörler vasıtasıyla elektrik üretir. Ancak bu yöntem çok yaygın değildir. Çünkü bu yöntemle gelgit enerjisinden elektrik üretmek için çok büyük türbinlere ihtiyaç vardır.

Dünyanın çeşitli yerlerinde kurulmuş gelgit enerji santralleri vardır. Gelgit enerji santrallerine ilk örnek Rance gelgit Enerjisi Santralidir. Fransa'nın Rance Nehri'nin ağzında 1966'da kurulmuş olan santral 240MW'lık kurulu güce sahiptir. Dünyanın en önemli gelgit santrallerinde biride 254MW Kurulu gücüyle Güney Kore'de Sihwa Gölü'nde 2011'de

tamamlanmış olan dünyanın en büyük Gel-git enerji santrali olan Sihwa Gel-git Enerji Santrali'dir. Bunun yanında Kuzey Amerika'nın Fundy Körfezi'nde, Çin'de ve eski S.S.C.B'de kurulmuş gelgit santralleri vardır.

Dalga enerjisi

Dalga enerjisi, dünya yüzeyinin bölgesel olarak ısınma farkı sonucu oluşan rüzgarların deniz yüzeyinde esmesi ile meydana gelen deniz dalgalarındaki gücün kullanılması prensibine dayanır. Dalga enerjisi, okyanus ve deniz yüzeyindeki suyun hareketleri sonucunda oluşmaktadır. Kullanılabilir enerji miktarı dalgaların genliğine ve sıklığına bağlıdır (Doğan, 2011: 18).

Dalga enerjisinin, fosil yakıtlara bağımlılığı, küresel ısınmayı, asit yağmurlarını, her türlü kirliliği dolaylı olarak azaltması, güç kaynağının sonsuz ve bol olması, iş sahası açması, elektrik şebekesinin olmadığı uzak alanlara elektrik sağlaması, deniz ortamında yapılacak diğer çalışmalarda potansiyel teknolojinin kullanımına olanak tanınması, deniz dibi zenginliklerinin yüzeye pompalanması ve kıyıların korunması gibi önemli olumlu yönleri bulunmaktadır (Sağlam ve Uyar, 2005). Dalga enerjisi ülkemiz gibi üç tarafı denizlerle çevrili ülkeler için çok önemli bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Ülkemizde bu enerji türüne yapılacak yatırımlar ne yazık ki sadece proje aşamasında olup devrede olan bu tip santraller yoktur. Ülkemizin enerjide dışa bağımlılığın azaltabilmesi amacıyla elinde kaynağı bol olan dalga enerjisine yatırım yapılması ve üzerinde araştırmalar yapılması gereklidir.

Güneş enerjisi

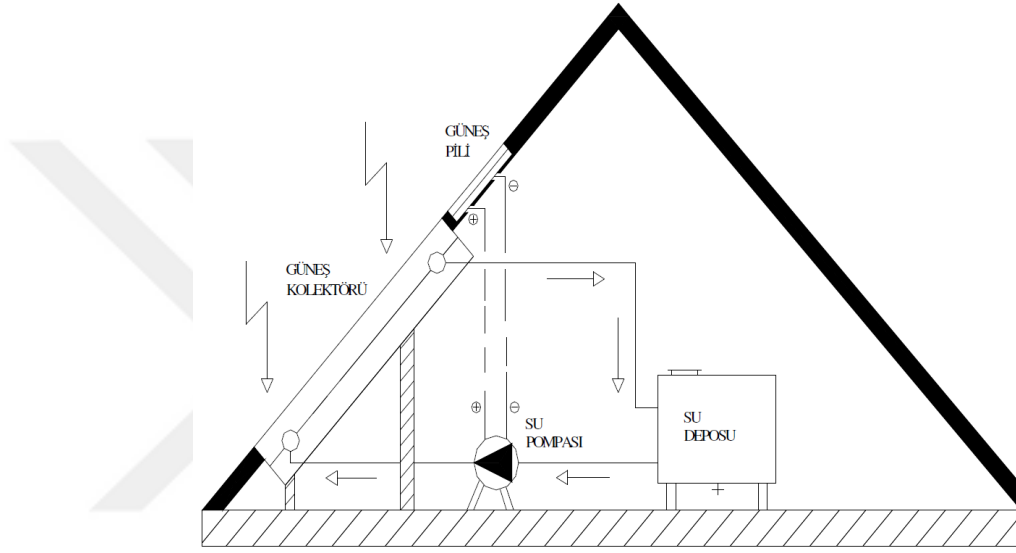
Güneş enerjisi aslında bütün yenilenebilir enerji çeşitlerinin ana kaynağı sayılabilecek ve sonsuz olarak değerlendirilebilecek yaşamın temel enerji kaynağıdır. Güneş enerjisinin kullanımı çok eskiye yerleşik hayata geçişe kadar dayandırılabilir. Evlerin ısıtılabilmesi için güneş cepheye bakacak şekilde inşa edilmelerini belki de ilk uygulama olarak görebiliriz. Bunun yanında Arşimet tarafından iç bükey aynalar kullanılarak güneş ışınlarının odaklanarak Sirakuza'yı kuşatan gemilerin yakılması tarihte bilinen ilk uygulama örneği olabilir.

Günümüzde güneş enerjisinden ısınma ve elektrik üretimi olarak oldukça faydalanılmakta ve bu alanda dünya çapında ses getirecek çalışmalar yapılmaktadır. Güneş enerjisi yani yaşam enerjisi belki de fosil kaynakların karşısında bunların yerini alabilecek yegâne yenilenebilir enerji kaynağıdır. Ülkemizde de güneş enerjisi uygulamaları yıllardır su

ısıtılması amacıyla yaygın bir şekilde kullanılmakla beraber son yıllarda çıkarılan yeni yasa ve yönetmeliklerle elektrik üretimi amacıyla da kullanımı oldukça artmıştır. Güneş enerjisinin dezavantajı olarak güneşin olduğu saatlerde üretim yapıp olmadığı zamanlar üretimin durması görülebilir. Ancak şebekeye bağlı çalışan sistemlerde yıllık toplam enerji tüketimi göz önüne alındığında yapının kendi ürettiği şebekeye verdiği kadar yanında şebekeden toplam alınan enerjinin birbirini dengelemesi sağlanabilir. Güneş enerjisi bunun yanında; dünyanın temel enerji kaynağı olarak yaşamla birlikte sürmesi beklenen yenilenebilir enerji kaynağı olması, hem ısıtma hem de elektrik üretimi için kullanılabilir olması, özellikle ülkemizde ulaşılması çok kolay olması, sera gazı emisyonu yaratmaması, yakıt masrafları olmaması, işletme masraflarının ise çok az olması, kırsal yerlerde uygulanabilirliklerinin yanında şehir merkezlerinde evlerin çatılarında da çok rahat uygulanabilir olmalarından dolayı tam anlamıyla yerinde üretim santralleri olmaları, şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız çalışabilmeleri gibi azımsanamayacak avantajları vardır.

2. DAHA ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Güneş kolektörü ve fotovoltaik panel kullanılan bu çalışmada güneş kolektörü su ısıtma amacıyla, fotovoltaik panel ise ısınan suyu devir daim etmek için kullanılan sirkülasyon pompasını beslemek amacıyla kullanılmıştır. Şekil 2.1 de sistemin çatıya entegrasyonu şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Fotovoltaik panel ve güneş kolektörülü su ısıtma sistemi şematik gösterimi (Dike, 2007).

Bu çalışmada $0,5\text{m}^2$ güneş kolektörü 25°C açı ile yerleştirilmiştir. Fotovoltaik paneller 18W gücünde $0,25\text{m}^2$ alanlı kullanılmıştır. Su sıcaklığı altıncı ve son deney gününde $26,8^\circ\text{C}$ den $54,4^\circ\text{C}$ 'ye çıkmış. $54,4^\circ\text{C}$ su sıcaklığının çıktığı en yüksek derecedir ve bu derece çalışmanın amacı açısından yeterli görülerek deneye son verilmiştir. Çalışma sonucuna göre gelişmiş kolektörler kullanıldığında su sıcaklığının daha yüksek derecelere çıkabileceği görülmüştür. Deneyler sonucunda, tasarlanan bu sistem yalnız kullanım sıcak suyu ihtiyacını karşılamak için değil, güneşten başka hiçbir enerji kaynağı olmadan daha gelişmiş kolektörler kullanarak, küçük çaptaki binaların ısınma ihtiyaçlarını da karşılayabilmek içinde kullanılabilceği görülmüştür. Bu tasarımın fotovoltaik panel kullanmadan yapılan sıcak su ısıtma sistemlerine göre tek kusuru fotovoltaik panelden dolayı ilk kurulum masrafıdır. Ancak bu sistemin kullanıcıları kurulumdan sonraki süreçte ilk kurulum masrafı haricinde su ısıtması için ek herhangi bir masrafta

bulunmayacakları düşünüldüğünde bu sistemin uzun vadede karlı olduğu görülebileceği değerlendirilmiştir (Dike, 2007).

Güneş pillerinden elde edilen elektrik enerjisi kullanılan çalışmada; gücü 5kW olan bir meskenin elektrik ihtiyacı için 20 adet 150W panel kullanılması gerekmektedir. Bunun için 25m² çatı alanının gerektiği belirtilmiştir.

Sıcak su ihtiyacını 3kW'lık rezistansla sağlanması düşünülmüş ve bunun için fotovoltaik panel sayısı 8 olarak alınmıştır. Bu çalışmada kurulmak istenen sistemin gücü 183W'tır. Uygulama için kullanılan fotovoltaik panellerin gücü 63W olduğundan sistem akümülatör yardımıyla beslenmiştir. Fotovoltaik panelleri ile aynı kararda çalışacak şekilde su ısıtmak için 132W'lık rezistans ile depoda bulunan 4 litre su ısıtılmış, 15W'lık lamba yakılmış ve zaman ayarlı sürücü devresiyle kontrol edilen 36W'lık bir motor aracılığıyla güneş takip sistemi döndürülmüştür. Bunun içinde 1 adet verimi %15, gücü 63,85W, alanı 0,4257m² olan fotovoltaik panel kullanılmıştır.

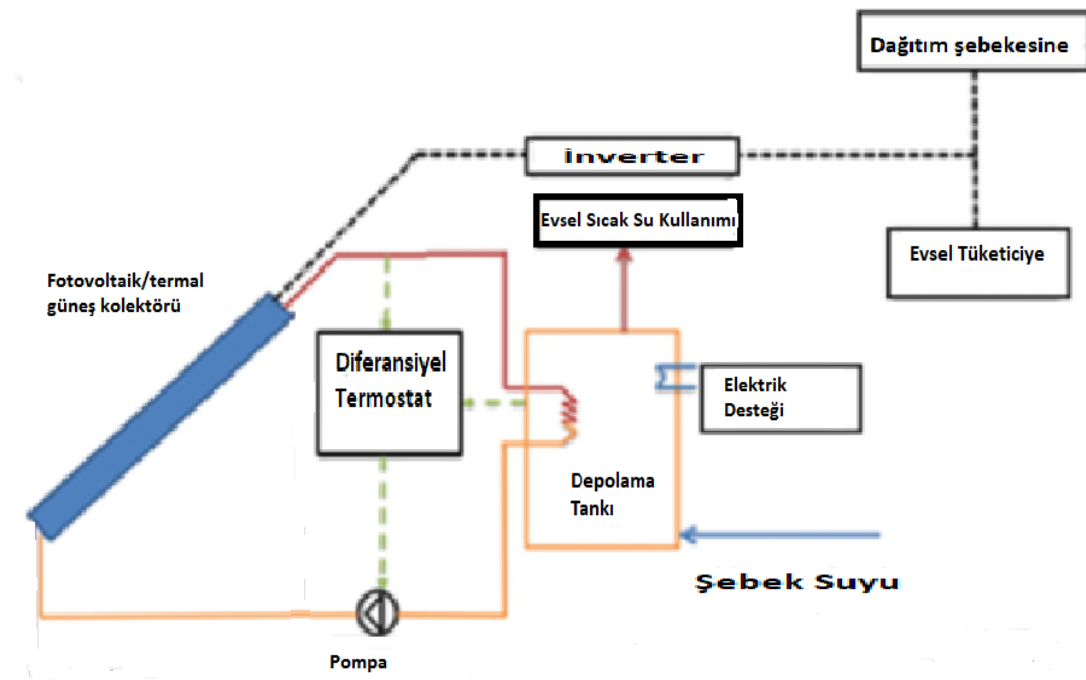
Fotovoltaik paneller ile sıcak su üretme ile sokak lambası yakma karşılaştırılmıştır. Fotovoltaik panel ve 132W rezistans yardımı ile 4 litrelik depodaki su 1 saat sonunda 11°C lik artış sağlanmış. Dolayısıyla rezistansların büyük enerji harcadıkları anlaşılmış ve fotovoltaik panel ile sıcak su elde etme sisteminin zorunluluk dışında kullanılmaması gerektiği bunun yerine güneş kolektörü kullanımının daha doğru bir yaklaşım olacağı değerlendirilmiştir.

Tasarlanan güneş takip sistemi modülü 45°'lik açıyla ve tek eksenli olarak güneş takibinde döndürülmüş bu sayede güç bazında %29,02'lik bir kazanç elde edilmiştir (Dinçadam, 2008).

Fotovoltaik/termal kolektörler ve sistemleri uygulamalarının daha iyi geliştirilmesi amacıyla fotovoltaik/termal kolektörler ve sistemlerinin performansları ve karakteristikleri üzerine daha fazla araştırma yapılmıştır. Fotovoltaik/termal kolektörlerin ve sistemlerinin performans değerleri ve uygulamaları gösterilmiştir. Fotovoltaik/termal havalı kolektörlerin ve fotovoltaik/termal sulu kolektörlerin performansları analiz edilerek tartışılmıştır. Binaya bütünleşmiş fotovoltaik/termal sistemlerin, konsantre fotovoltaik/termal sistemlerin ve fotovoltaik/termal ısı pompası sistemlerinin uygulamaları gösterilmiştir. Malezya'nın sıcak ve nemli ikliminde yapılan çalışma sonucunda; polikristal-silikon hücreli fotovoltaik/termal kolektörlerin termal verimleri %50,12 ve elektrik verimleri %11,98; amorf silikon hücreli fotovoltaik/termal kolektörlerin termal verimleri %72 ve elektrik verimleri %5 olarak elde

edilmiştir. Hibrit fotovoltaik/termal kolektörler standart fotovoltaik modüllere göre solar radyasyonu yüksek oranda absorbe etmeyi eş zamanlı ısısal ve elektriksel olarak başarmışlardır. Binaya bütünleşmiş fotovoltaik/termal kolektörlerin başlıca yenilenebilir enerji kaynağı olma potansiyeli olduğu sonucuna varılmıştır (Shan vd., 2014).

Hibrit güneş paneli ile Cezayir Ouargla da termal ihtiyaçlar için su ısıtma; elektriksel ihtiyaçlar için aydınlatma, günlük kullanılan cihazlar, pompa ve klima sistemi enerjilerini karşılamak için tasarım yapılmıştır.



Şekil 2.2. Fotovoltaik/termal panel uygulamasının gösterimi (Sotehi vd., 2016).

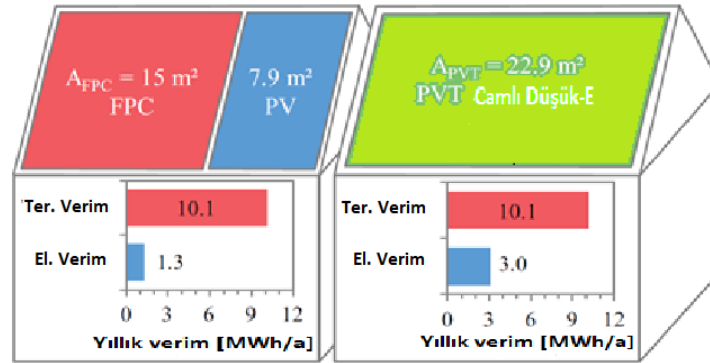
Şekil 2.2 de fotovoltaik/termal panelin gerek ısı gerekse de elektrik enerjisi için kullanımı şematik olarak gösterilmiştir. Burada klima ısıtma ve soğutma olarak kullanılmış. Sıcak su sistemi 5 kişi için günlük 45 litre sıcak su ihtiyacından hesaplanmış, depodaki su sıcaklığı 60°C ye ayarlanmıştır. Hibrit panelin 6m² alan için ürettiği elektrik ve ısı miktarlarını ve gerekli enerjileri karşılamaları gösterilmiştir.

Yıllık toplam termal ve elektrik enerji ihtiyaçlarının fotovoltaik/termal kolektörler ile karşılanabileceği sonucuna varılmıştır. Ev sıcak suyu ihtiyacının güneş enerjisi ile karşılanması sayesinde toplam enerji ihtiyacının önemli derecede düştüğü belirlenmiştir. Yıllık gerekli

toplam elektrik ihtiyacı 6754,89kWh. Prototipin gerekli enerjiyi karşılaması için gerekli alan ve panel sayısı 17,2m² ve 18 fotovoltaik panel. Üretilen elektrik haziran-temmuz-ağustos-eylül ayları haricinde ihtiyaçtan fazla olduğundan şebekeyle bağlı çalışan sistem olduğunda yıllık toplam üretilen ve şebekeden alınan elektrik birbirini sıfırlayabileceği belirtilmiştir (Sotehi vd., 2016).

Camlı, camsız ve düşük emisyonlu kaplamalı fotovoltaik/termal kolektörlerin sistematik karşılaştırılması yapılan bu çalışmada fotovoltaik/termal teknolojilerin verimleri dört Avrupa ülkesinde değerlendirilmiştir. Bu amaç için deneysel fotovoltaik/termal performans gösterilmiş, TRNSYS programında doğrulanmış ve uygulanmıştır. Simülasyon sonuçları analiz edildiğinde, fotovoltaik/termal teknolojiler ya yüksek elektriksel verime ya da yüksek termal verime ulaşmıştır. Termal olarak optimize edilmiş düşük emisyonlu kaplamalı camlı fotovoltaik/termal kolektörler en yüksek toplam verimi ve kolektör alanında enerjiden en iyi verimi elde etmişlerdir.

Şekil 2.3 de 22,9m²'lik çatı alanının 15m²'sine güneş kolektörlerinin ve 7,9m²'sine fotovoltaik panellerin ayrı ayrı yerleştirilmesi ve 22,9m²'lik tüm çatı alanına sadece fotovoltaik/termal kolektörlerin yerleştirilmesi sonucu elde edilen termal ve elektriksel verimler görülmektedir. Her iki sistemde de termal verimler aynı iken düşük emisyonlu kaplamalı camlı fotovoltaik/termal kolektörlerin elektriksel verimlerinin %134 fazla olduğu belirtilmiştir.



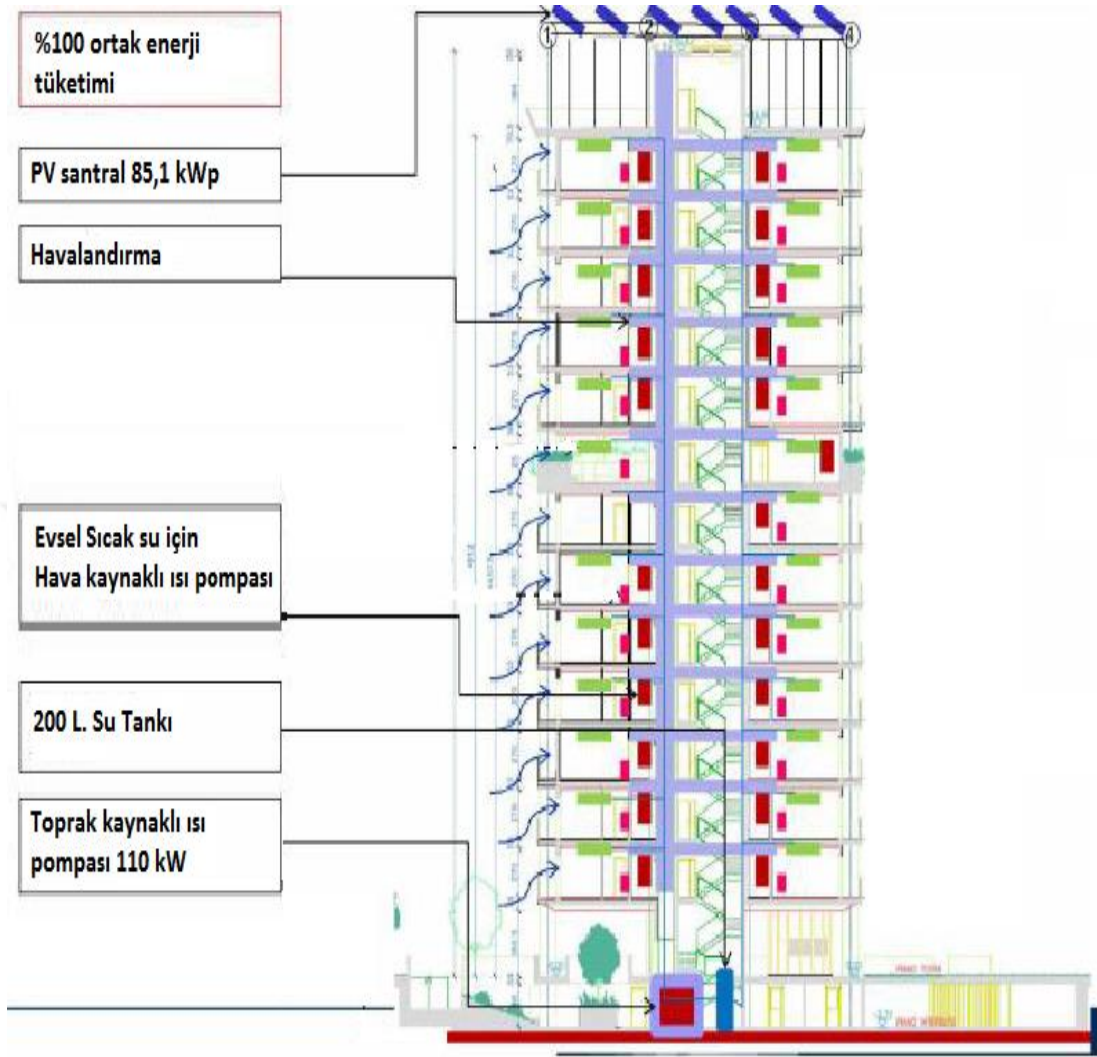
Şekil 2.3. Tek çatıda fotovoltaik/termal kolektörler ve aynı alana termal kolektörler ve fotovoltaik panellerin ayrı ayrı yerleşiminin verimleri (Lämmle vd., 2017).

Yüksek işletme sıcaklıklarının hem elektriksel hem de termal verim açısından fotovoltaik/termal kolektörler için uygun olmadığı sonucuna varılmıştır (Lämmle vd., 2017).

Irak'ta seçilen iki farklı yerin durum değerlendirmesi için tipik fotovoltaik/termal havalı kolektörlerin elektriksel ve termal performanslarının modellendiği, simule ve analiz edildiği çalışma yapılmıştır. Fotovoltaik/termal kolektörlerin; kolektör akışı ve ısı elde etme faktörü, fotovoltaik maksimum güç noktası ve bunun sıcaklık faktörü ve toplam güç ve verimlilik gibi önemli karakteristiklerini değerlendirmek için tasarım, işletme ve iklimsel parametrelerinin matematiksel termo-elektriksel modeli geliştirilmiştir. Geliştirilmiş olan matematiksel termo-elektriksel model Bağdat şehrinde kış günü için ve Felluce şehrinde yaz günü için uygulanmıştır. Elektriksel, termal ve toplam kolektör verimleri kış ayları için %12,3; %19,4; ve %53,6; yaz ayları içinse %9, %22,8 ve %47,8 olarak sonuçlanmıştır. Günün verimli saatlerinde, termal kazanım ve verimlilik, elektriksel çıkış gücünden ve veriminden sırasıyla kış ve yaz aylarında daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Fakat, kolektörlerdeki yüksek ısı kaybından dolayı termal güç dönüşüm faktörü göz önüne alındığında çıkarılan sonucun tersinin doğru olduğu anlaşılmıştır. Göreceli elektrik-termal eşdeğer güç ve verimi, çalışma yapılan şehirler için kış aylarında yaz mevsiminden daha yüksek olduğu sonucu elde edilmiştir (Amori ve Al-Najjar, 2012).

İtalya'da net sıfır enerjili bina uygulaması için bir gökdelenin projelendirme çalışması yapılmış, yapının çatısına 95,3MWh/yıl enerji üretecek fotovoltaik elektrik santrali kurulması tasarlanmıştır. Kurulması planlanan bu santralin, bütün havalandırma – klima enerji ihtiyacını, ortak kullanım elektrik ihtiyacını ve sıcak su ihtiyacının %45'ini karşılayacağı belirtilmiştir.

Şekil 2.4'de fotovoltaik panellerin, ısı kaynaklı hava pompasının, toprak kaynaklı ısı pompasının, su tankının ve havalandırma sisteminin tasarlanan gökdelende yerleşim planı gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Panellerin ve ısı sistemlerinin yerleşimi (Tagliabue vd., 2012).

2012 senaryosuna göre kurulacak fotovoltaik sistemin amorti süresinin 9 yıl, 2017 senaryosuna göre ise 4 yıldan az olacağı değerlendirilmiştir. Konut binaları için net sıfır enerji dengesi, güneş ile ısıtma ve klima için gerekli enerjinin sağlanması stratejisi, termal sistem olarak toprak altı ısı pompalarının fotovoltaik sistemlerden beslenebilmesi ile ilişkili olduğu belirtilmiştir. Kurulacak fotovoltaik sistemlerin maliyetlerinin düşürülmesi yasalarla desteklenmesi gereği belirtilmiştir (Tagliabue vd., 2012).

Solar ısı pompalarının son birkaç yıldır araştırılmakta olduğu, evsel ısıtma sistemlerinde elektrik enerjisi ihtiyacını düşürdükleri ve yenilenebilir enerji kullanımını artırdıkları ispatlanmıştır. Solar ısı pompalarının farklı sistem sınırlarında ve temel performans göstergeleri

kullanarak enerji ve ekonomik performans değerlendirmeleri derlenmiş. Literatürdeki tekno-ekonomik çalışmalar derlenmiş ve hangi çalışmaların yeterli bilgi verdiği ve ekonomik karşılaştırma yapmak için yeterli olduğu belirlenmiştir. Fotovoltaikler ve solar ısı pompalarının ekonomik değerlendirmeleri hakkında yeterli çalışma olmadığı sonucuna varılmıştır. Çalışılan yapılar için tutarlı sınırlar veya yaklaşımlar olmamasından dolayı sistemler arası karşılaştırma yapmanın zor olduğu sonucuna varılmıştır.

Avrupa birliği binaların enerji performansı direktifine göre 2020 yılında binalarda sıfır dış enerji ihtiyacı olması beklendiğinden dolayı hibrit yenilenebilir enerji uygulamalarının yaygınlaşacağı belirtilmiştir. Solar termal ısı pompaları, marjinal solar ısı pompaları, sıfır enerjili binalar ve ekonomik verilerle ilgili derlemeler yapılmıştır.

Binaların ısıtılmasının ısı pompası vasıtası ile düşünülebileceği, kurulacak sistemlerde fotovoltaik paneller tüm elektrik ihtiyacına ilk etapta cevap vermeye bileceği ancak sadece ısı pompası için düşünülürse bunun tüm ihtiyacını karşılayabileceği görüşüne yer verilmiştir (Poppi vd., 2018).

Son 40 yılda fotovoltaik/termal sistemlerin, tek başına fotovoltaik veya güneş termal sistemleri ile karşılaştırıldığında avantajlarından dolayı fotovoltaik/termal sistemlere daha fazla dikkat verildiği belirtilmiştir.

Fotovoltaik/termal sistemler için gelecekteki çalışmalar gibi kilit noktaları vurgulamak ve bu tür sistemler için kullanılan farklı teknikleri göstermek amacıyla, mevcut literatür aracılığıyla Fotovoltaik/termal sistemlerin çeşitli yönlerinin incelenmesi yapılmıştır.

Fotovoltaik panellerin verimlerinin sıcaklıkla azaldığı, verimi azaltan sıcaklığı su ya da hava ısıtmada kullanarak fotovoltaik panelin soğutulabileceği ve bu sayede normal fotovoltaik panellerden %20 ye kadar fazla enerji üretilebileceği ve ekstradan suyun ya da havasında ısıtılabilmesi düşünülmüştür. Nano akışkanların ve suyun akışkan olarak kullanılması toplam sistem verimini artırdığından dolayı bu tür sistemlerin kullanılması önerilmiştir. Maliyeti azaltmak ve bu sistemlerin etkinliğini ve teknik tasarımını geliştirmek için daha fazla araştırma yapılması gerektiği belirtilmiştir (Al-Waeli vd., 2017).

Fotovoltaik/termal sistemlerin ısı bölümlerinin çeşitleri; havalı kolektörlü olanlar, sulu kolektörlü olanlar, soğutucu temelli olanlar, ısı borusu temelli olanlar, konsantre fotovoltaik/termal kolektörler anlatılmıştır. Fotovoltaik/termal sistemler üzerine yapılan çeşitli

çalışmalardan örnekler verilmiş. Binalar için en uygun olanın konsantre fotovoltaik/termal kolektörler olduğu belirtilmiştir.

Binaya entegre edilebilecek güneş kolektör çeşitleri; hava ısıtılmalı güneş kolektörleri, su ısıtma için güneş kolektörleri, çatıya entegre mini parabolik güneş kolektörleri, seramik güneş kolektörleri, polimer güneş kolektörleri, panjur güneş kolektörleri hakkında bilgi verilmiştir.

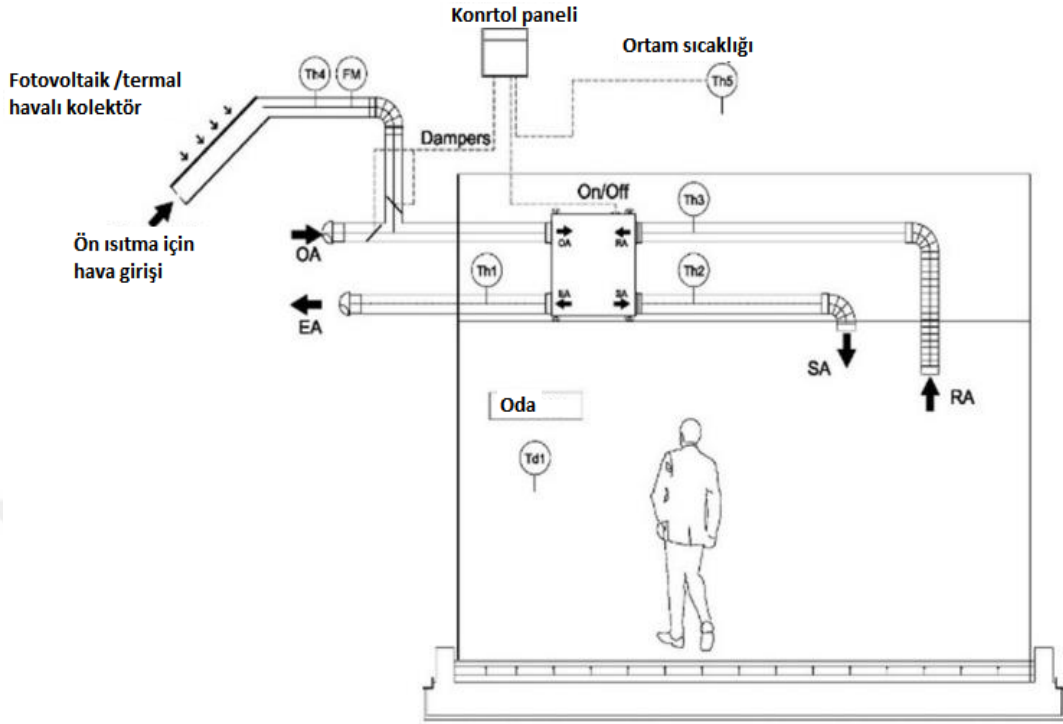
Güneş termal enerjisinin ileride binaların tüm ısıtma ve soğutma enerjilerini sağlayabileceği ve 20-30 yıllık kullanım ömrünün yanında kurulum maliyetinin ihmal edilebileceği belirtilmiştir. Kanat verimliliği, laminasyon, termal iletkenlik ve verimliliğin güneş kolektörleri ve fotovoltaik paneller üzerine önemli etkileri olduğu belirtilmiştir.

Fotovoltaik/termal hava kolektörlerin, fotovoltaik tarafında monokristalin panellerin daha uygun olduğu savunulmuştur.

Su temelli olan fotovoltaik/termal sistemler suyun ısı taşıma kapasitesinden dolayı hava kolektörlü olanlara göre daha verimli iken ısı borulu sistemlerin gelecek vaat ediyor olmasına rağmen fiyat ve tüplerin etkin kontrolü geliştirilmesi gereken durumlar olduğu sonucuna varılmıştır.

Soğutucu temelli fotovoltaik/termal panellerin ileride sulu kolektörlü ve havalı kolektörlü fotovoltaik/termal panellerin yerini alabileceği belirtilmiştir (Buker ve Riffat, 2015).

Dışarıdan gelen hava ile içerideki atık havadaki ısının değiştirilmesiyle ısı kaybını önlemeye yönelik çözümler sunan ısı geri kazanımlı havalandırma sistemleri (HRV) ile fotovoltaik/termal havalı kolektör sistemlerinin akuple çalışması ile dışarıdan alınan havanın ön ısıtması için kullanmak amacıyla deneysel çalışma yapılmıştır. Fotovoltaik/termal havalı kolektörde ısıtılan hava ile geleneksel HRV sistemlerinde kış aylarında düşük sıcaklığın neden olduğu donma ve çığlenme gibi sorunlar çözülerek havalandırma veriminin artırılacağı düşünülmüştür.



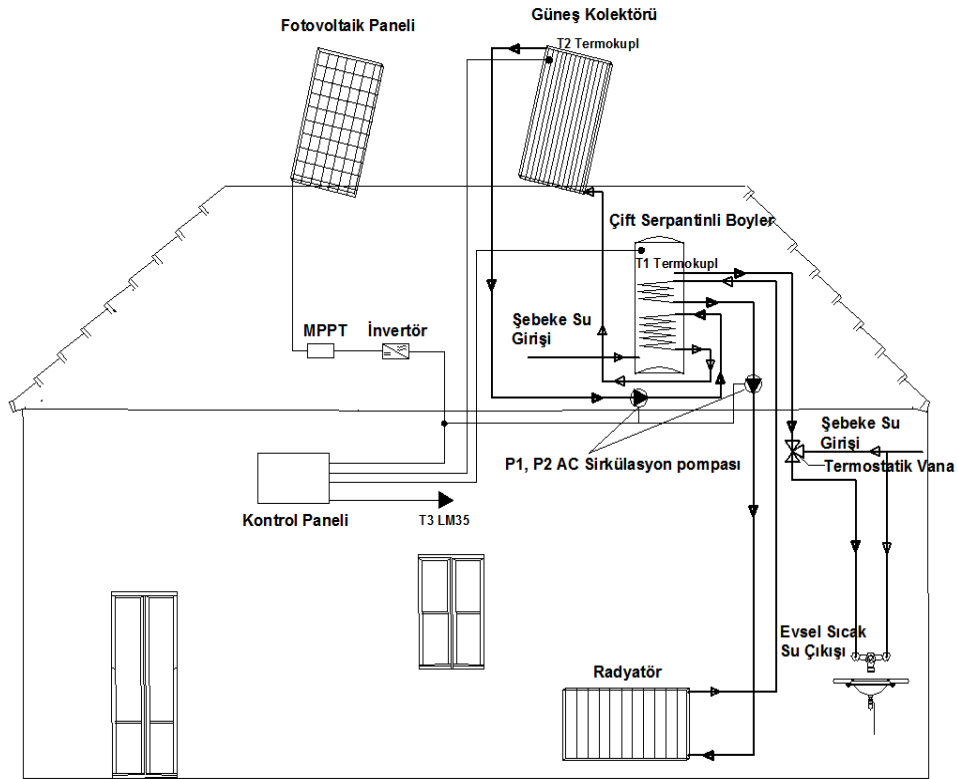
Şekil 2.5. HRV sistemi ile fotovoltaik/termal havalı kolektörün birlikte kullanıldığı sistemin şeması (Ahn vd., 2015).

Şekil 2.5 de HRV sistemi ile fotovoltaik/termal havalı kolektörün birlikte kullanıldığı sistemdeki hava akışı şematik olarak gösterilmiştir. Burada kullanılan HRV %80 ısı transfer verimine sahiptir. Dışarıdan gelen hava girişi, fotovoltaik/termal havalı kolektörden gelen sıcak hava girişine bağlanarak HRV ye giren dış havanın ısıtılması sağlanmıştır. 27 Şubat'ta saat 13:55–14:55 arası HRV ile fotovoltaik/termal kolektör birlikte çalıştığında ısı transfer verimi yaklaşık %100 olurken HRV tek başına çalıştığında %79 olmuştur. Fotovoltaik/termal kolektörler ile kış aylarında belirli periyotlarda ki çalışmalarda havalandırmanın ısı kaybı olmadan verimli bir şekilde olması sağlanmıştır. Elektriksel verimi %15 olan fotovoltaik/termal kolektörün, çalışma süresinde elektriksel veriminde havalandırmadan kaynaklanan kayda değer bir değişim gözlemlenmemiştir. Sonuç olarak kullanılan fotovoltaik/termal havalı kolektörün sırasıyla ısı verimi, elektriksel verimi ve toplam verimi %23, %15 ve %38 dir. HRV sistemi ile fotovoltaik/termal havalı kolektörün birlikte kullanıldığı sistemdeki HRV verimi ise geleneksel HRV sistemlerine göre %20 artmaktadır (Ahn vd., 2015).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışmada Kütahya İlinde bir binanın çatısına güneş kolektörleri ve fotovoltaik paneller yerleştirilerek güneşli saatlerde binanın ek enerji kaynağı kullanılmadan ısıtılabilmesi ve kullanım sıcak suyunun elde edilebilmesi amacıyla meteorolojiden alınan güneşlenme verileri kullanılarak teorik çalışma yapılmıştır. Teorik olarak gerçekleştirilecek bu çalışmada hangi elemanların kullanılması gerektiği ve sistemin temel şematik ifadesi Şekil 3.1’de gösterilmiş olup bu bölümde binanın güneşli zamanlarda ek enerji kaynağı kullanılmadan ısıtılabilmesi ve kullanım sıcak suyunun elde edilebilmesi için gerekli elemanlar hakkında bilgi verilmiştir.



Şekil 3.1. Güneş enerjisinden sıcak su ve elektrik üretimi ile bina ısıtması ve sıcak su sağlanması şematik gösterimi.

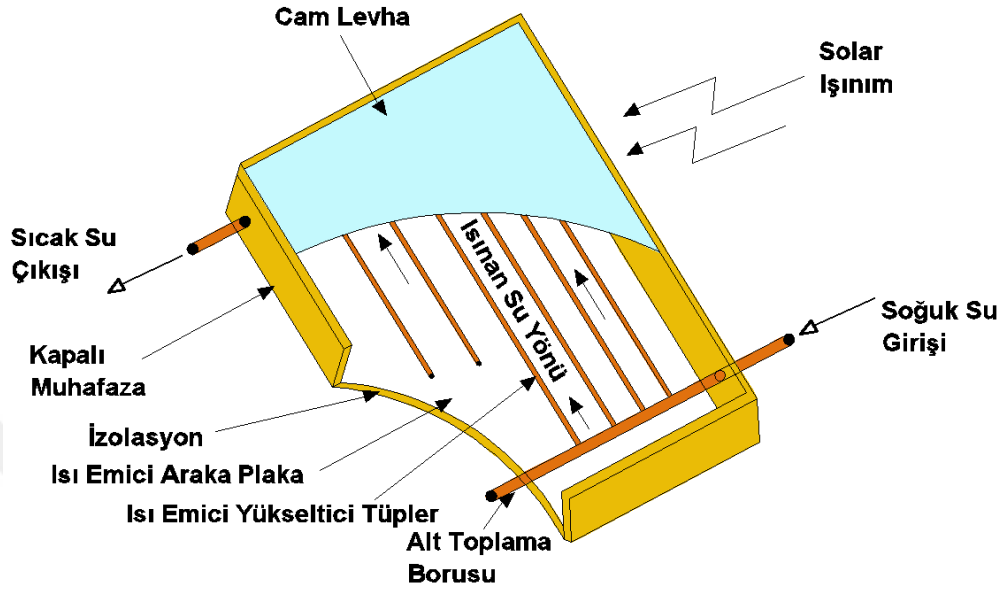
3.1.1. Güneş kolektörleri

Genellikle düzlemsel yüzeyli güneş kolektörleri, integral güneş kolektör depolu sistemleri ve vakum tüplü güneş kolektörleri olmak üzere üç çeşit güneş kolektörü tipi evsel uygulamalar için kullanılmaktadır.

Düzlemsel yüzeyli güneş kolektörleri

Düzlemsel yüzeyli güneş kolektörleri, güneşten gelen ışımaya enerjisini ısı enerjisine çeviren ısı değiştiricilerdir. Güneş kolektörlerinin geleneksel ısı değiştiricilerden bazı farkları vardır. Geleneksel ısı değiştiriciler akışkandan akışkana ısı değişimini ışınım önemli bir faktör olmadan yüksek oranda gerçekleştirebilirler. Güneş kolektörlerinde ise enerji transferi uzak bir kaynaktan ışınım yolu ile akışkana aktarılarak yapılır. Güneş kolektörlerinde anlık ışımaya akısı optik yönlendirici kullanmadan değişken olarak en iyi durumda 1100W/m^2 'dir. Düzlemsel yüzeyli güneş kolektörleri ortam sıcaklığının 100°C üzerine çıkacak şekilde, ılıman sıcaklıklarda enerji dağıtımı gerektiren uygulamalar için tasarlanabilirler (Duffie ve Beckman, 2013: 236). Düzlemsel yüzeyli güneş kolektörlerinin sıcaklığının 100°C civarına çıkabilmesi, bu tip kolektörlerin fiyatlarının ucuzluğu, karmaşık yapısının olmaması ve fazla bakım gerektirmemelerinden dolayı bina ısıtılması ve evsel sıcak su elde etmek için kullanımları uygundur.

Şekil 3.2'deki Düzlemsel yüzeyli güneş kolektörünün kesit görünüşünde ısı emici arka plaka daha iyi ısı emilimi için siyah boyalı bakır ya da alüminyum malzemeden imal edilmektedir. Isı emici plakalara birleşik içinde akışkan olarak su bulunan yükseltici olarak adlandırılan paralel bakır borular bulunmaktadır. Isı emici plaka, bakır borular, soğuk su giriş borusu ve sıcak su çıkış borusu üstünde cam levha olan izoleli bir muhafaza içinde bulunur. Güneş ışığı ısı emici plakayı ısıtır, ısı plaka ile birleşik olan bakır boruların içindeki su tarafından emilerek ısıtma veya kullanım sıcak suyuna dönüşmüş olur.



Şekil 3.2. Düzlemsel yüzeyli güneş kolektörü kesit görünüşü.

E güneş ışınımının yoğunluğu W/m^2 , A güneş kolektörü yüzey alanı m^2 , Q_i , güneş kolektörü tarafından alınan güneş ışınımı olmak üzere;

$$Q_i = EA \quad (3.1)$$

Bu radyasyonun bir kısmı gökyüzüne geri yansır, başka bir bileşen cam tarafından emilir ve geri kalanı camdan geçer ve kısa dalga radyasyonu olarak emici plakaya ulaşır. Bu nedenle, dönüşüm faktörü, toplayıcının (transmisyon) şeffaf kapağına ve emilen yüzeye nüfuz eden güneş ışınlarının yüzdesini gösterir. Temel olarak, kapağın iletim hızının ve emicinin emme oranının ürünüdür. τ camın iletim katsayısı, α düzlemin iletim katsayısıdır.

$$Q_i = E(\tau\alpha)A \quad (3.2)$$

Kolektör ısıyı emdiği için sıcaklığı çevreden ve konveksiyon ve radyasyon ile atmosferde kaybolan ısıdan daha yüksek hale gelir. Q_o ısı kaybı oranı toplayıcıya gelen ısı transfer katsayısına (U_L) ve toplayıcı sıcaklığına bağlıdır.

$$Q_o = U_L A (T_c - T_a) \quad (3.3)$$

Böylece, toplayıcı (Q_u) tarafından sabit durum koşullarında ekstraksiyon hızı olarak ifade edilen yararlı enerji oranı, toplayıcı tarafından emilen yararlı enerji oranıyla orantılıdır.

$$Q_u = Q_i - Q_o = E(\tau\alpha)A - U_L A(T_c - T_a) \quad (3.4)$$

Kolektörden gelen ısı ekstraksiyon oranının, içinden geçirilen sıvıda taşınan ısı miktarı ile ölçülebileceği de bilinmektedir.

$$Q_u = mc_p(T_o - T_i) \quad (3.5)$$

Kolektörün gerçek faydalı enerji kazancını, tüm kolektör yüzeyi sıvı giriş sıcaklığındaysa, yararlı kazanç ile ilişkilendiren bir miktarın tanımlanması uygundur. Bu miktar toplayıcı ısı çıkarma faktörü (F_R) olarak bilinir ve şöyle ifade edilir.

$$F_R = \frac{mc_p(T_o - T_i)}{A[E(\tau\alpha) - U_L(T_i - T_a)]} \quad (3.6)$$

Bir güneş kolektöründe mümkün olan en yararlı enerji kazancı, tüm kolektör giriş sıvısı sıcaklığında olduğunda ortaya çıkar. Gerçek faydalı enerji kazancı (Q_u), toplayıcı ısı çıkarma faktörünü (F_R) mümkün olan azami faydalı enerji kazancı ile çarparak bulunur. Bu eşitlik 3.4 tekrar yazılırsa;

$$Q_u = F_R A[E(\tau\alpha) - U_L(T_i - T_a)] \quad (3.7)$$

Eşitlik 3.7, kolektör enerji kazancını ölçmek için yaygın olarak kullanılan bir ilişkidir ve genellikle "Hottel-Whillier-Bliss eşitliği" olarak bilinir.

Düz bir plaka toplayıcı performansının bir ölçüsü, belirli bir zaman periyodu boyunca faydalı enerji kazancının (Q_u) gelen güneş enerjisine oranı olarak tanımlanan kolektör verimliliğidir (η).

$$\eta = \frac{\int Q_u dt}{A \int E dt} \quad (3.8)$$

Kolektörün anlık termal verimliliği (Struckmann, 2008).

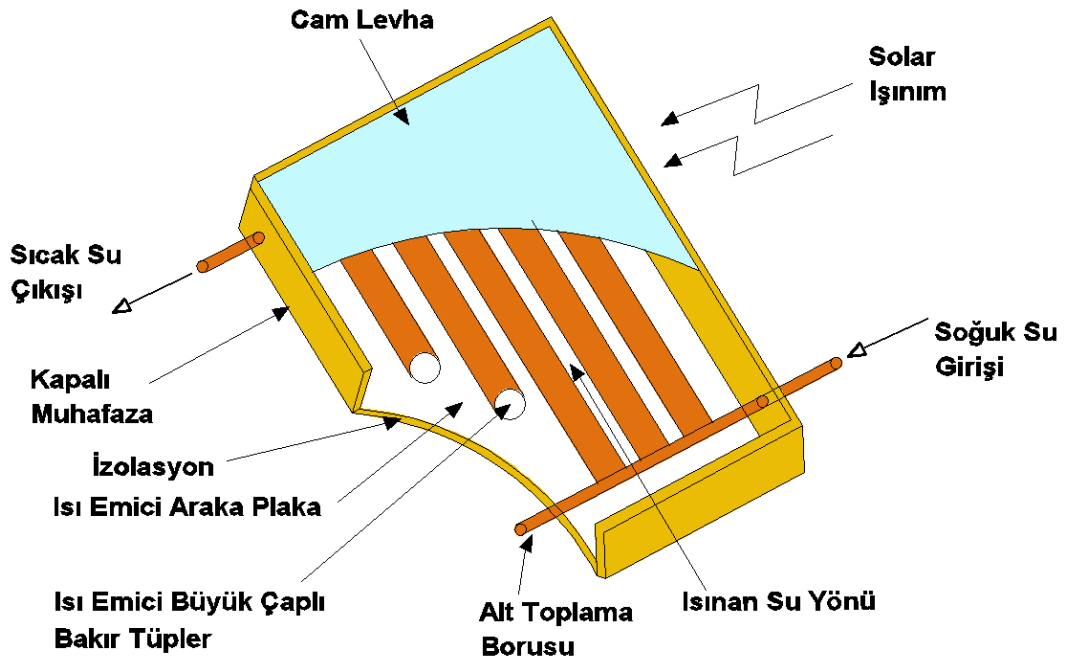
$$\eta = \frac{Q_u}{AE} \quad (3.9)$$

$$\eta = \frac{F_R A[E(\tau\alpha) - U_L(T_i - T_a)]}{AE} \quad (3.10)$$

$$\eta = F_R \tau \alpha - F_R U_L \frac{(T_i - T_a)}{E} \quad (3.11)$$

İntegral güneş kolektör depolu sistemler

İntegral güneş kolektör depolu sistemler yapısal olarak düzlemsel yüzeyli güneş kolektörlerine benzemektedirler. Düzlemsel yüzeyli güneş kolektörlerinde izoleli muhafaza içinde güneş ışınımından gelen enerjiyi emebilmek için küçük çapta çok sayıda bakır boru kullanılarak bakır borular içinde ısınan su bir depolama tankına iletilmekte iken integral güneş kolektör depolu sistemlerde ise aynı zamanda depo olarak kullanılan büyük çapta tek veya birkaç adet bakır boru kullanılmaktadır. İntegral güneş kolektör depolu sistemleri binalarda çatı üstü evsel sıcak su üretimi için kullanıldıklarında yapıları gereği pompa ve kontrol sistemlerine ihtiyaç duymazlar, yapıları oldukça basittir, fiyatları düşüktür bu yüzden evsel sıcak su üretimi için fiyat performans açısından uygun bir alternatiftir. Şekil 3.3’de İntegral güneş kolektör depolu sistemlerin kesit görünüşü verilmiştir, Şekil 3.2 ve 3.3 karşılaştırıldığında en belirgin farklarının bakır boruların çapları arasındaki fark olduğu da anlaşılmaktadır.



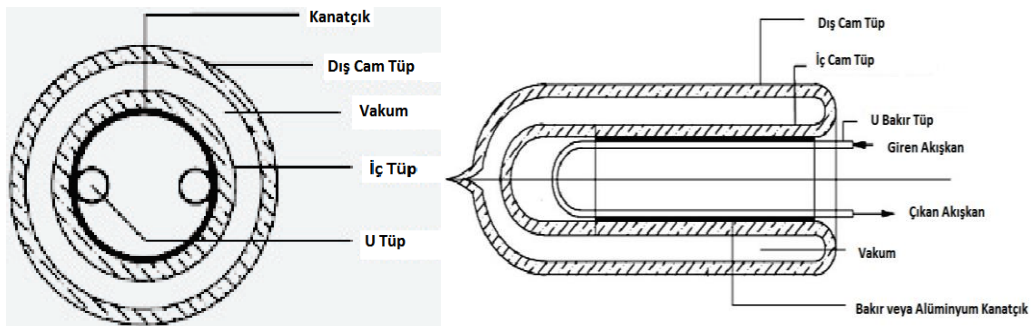
Şekil 3.3. İntegral güneş kolektör depolu sistem kesit görünüşü.

İntegral güneş kolektör depolu sistemler, batch sistemler olarak bilinmektedir. Bu sistemlerin dezavantajları verimlerinin oldukça düşük olması ve yalnızca don oluşumu bakımından ılıman iklimlerde kurulması gereğidir, çünkü dış mekânda bulunan borular çok soğuk hava koşullarında donabilirler (Hossain vd., 2011).

Kütahya linin ikliminin karasal iklim olduğu düşünülürken ve Kütahya'nın kış sıcaklık şartları göz önüne alındığında bu tip kolektör sistemlerinin aşırı don olaylarının yaşanma ihtimalinin yüksek olmasından dolayı çok da uygun olmadığı anlaşılmaktadır. Bu tip sistemler ülkemizde daha çok Akdeniz iklimi gibi daha ılıman iklimlerin yaşandığı bölgeler için fiyat ve kurulum kolaylığı göz önüne alınarak uygulamada tercih edilebilir.

Vakum tüplü güneş kolektörleri

Vakum tüplü güneş kolektörleri genellikle evsel su ısıtma, klima gibi çeşitli uygulamalar için güneş enerjisinden yararlanarak ısı sağlamak amacıyla kullanılan cihazlardır. Bu kolektörler, yüksek seçici yüzey kaplamasının ve vakum yalıtımının birleştirici etkileri sayesinde 120°C üzerinde yüksek sıcaklık aralığına ulaşabilirler. Her ne kadar çalışma akışkanının ısıtılması için birçok yöntem mevcut olsa da, vakum tüplü güneş kolektörleri yüksek ısı emilimine sahip olmalarından dolayı daha caziptirler. Ayrıca uygun maliyetli, oldukça güvenilir ve makul ölçüde uzun ömürlü olmaları önemli avantajlarıdır. U tüplü tip vakumlu güneş kolektörlerinin şeması Şekil 3.4a ve b de görülmektedir. Şekil 3.4a da vakum tüplü kolektörün enine kesitine bakıldığında dış cam tüp, iç cam tüp, bakır veya alüminyum kanatçık ve U şekilli bakır borudan oluştuğu görülmektedir. Şekil 3.4b de vakum tüplü güneş kolektörünün çalışması açıklanmaya çalışılmıştır, öncelikle, dış cam tüpün dış yüzeyindeki güneş ışınımı, iç cam tüpün dış yüzeyine aktarılır ve daha sonra kanatçık malzemesi tarafından emilir. Son olarak kanatçık tarafından toplanan enerji, U şeklindeki bakır borunun içinde dolaşan çalışma akışkanına konveksiyon yolu ile aktarılır (Kiran Naika vd., 2016).



Şekil 3.4. a) Vakum tüplü güneş kolektörü enine kesit ve b) Gösterimi (Kiran Naika vd., 2016).

Yapılan deneysel çalışmalarda aynı özellik ve eşit ölçülerdeki vakum tüplü güneş kolektörlerinin verimleri düzlemsel yüzeyli güneş kolektörlerine göre daha yüksek olduğu

anlaşılmasıdır (Öz, vd., 2007). Vakum tüplü güneş kolektörlerinin dış cam ve iç cam arasının vakumlu olmasından dolayı ısı kayıpları oldukça düşüktür ve Şekil 3.5 de görüldüğü gibi yuvarlak yapıları sayesinde gün boyu güneşi neredeyse dik açıyla alırlar ve bundan dolayı verimleri yüksek kolektörlerdir.



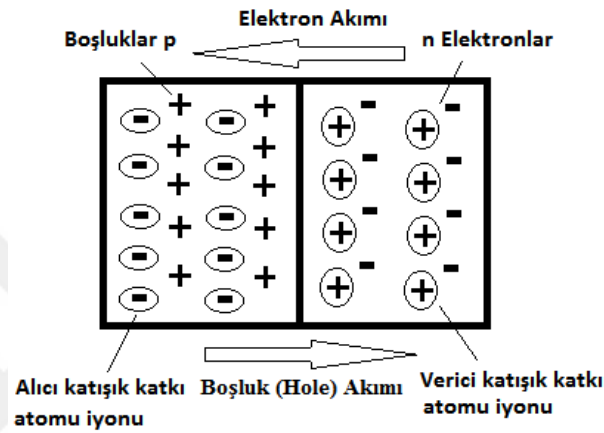
Şekil 3.5. Vakum tüpe gün içinde çeşitli zamanlarda gelen güneş ışınımı.

3.1.2. Fotovoltaik piller

Fotovoltaiklerin temelini yarı iletkenler oluşturur. Yarı iletkenler, iletkenlikleri yalıtkanlar ve iletkenler arasında olan kristal yapılı malzemelerdir. Yarı iletkenler normalde yalıtkan maddelerdir. Ancak ısı, ışık veya manyetik etki altında kaldığında veya gerilim uygulandığında dış yörüngelerindeki değerlik elektronları serbest kalarak iletken hale geçerler. Yarı iletken üzerindeki dış etki kalkınca serbest kalan elektronlar atomlarına geri döner, yani iletkenlik özellikleri geçici olup dış etkiye bağlıdır. Yarı iletkenler silikon(Si), germanyum(Ge) ve selenyum(Se) gibi basit eleman olarak bulunabilirken, laboratuvar ortamında galyum arsenit (GaAs), indiyum fosfat (InP) ve kurşun sülfür (PbS) gibi bileşik halinde de elde edilebilir.

Bazı yarı iletkenler, elektrik iletkenliği elektromanyetik radyasyondan etkilenen foto iletkenlik kapasitesine sahiptir. Foton enerjisinin yeterince yüksek olması durumunda, ani radyasyonun fotonu yarı iletkenler tarafından absorbe edilebilir. Emilen fotonlar, atomların negatif olarak yüklenen elektronlarını koparırlar. Bu, elektronların yarı iletkende serbestçe hareket etmesine izin verir. Pozisyonlarını kaybeden elektronlar boşluk (hole) olarak adlandırılır, geçici olarak pozitif yük gibi davranır. Fotovoltaik etki, genellikle sandviç katmanlar gibi iki bölgeden oluşan fotovoltaik hücrede düzenlenmiştir, her biri özel katkı katkılı (dopant) homojen olmayan yarı iletken olarak, Şekil 3.6'da gösterilen p-n yapısına göre bir bölgenin negatif yüklü (n) fazla elektronu varken diğer bölge ise fazladan (p) pozitif

boşluklara sahiptir. Fotonlar p-n bağlantısının yakınında serbest elektronlar ve boşluklar oluşturuyorsa, elektrik alan elektronların n tarafından p tarafındaki boşluklara doğru hareket etmesini sağlar. P ve n bölgeleri arasındaki üretilen gerilim elektromotor kuvvetidir ve teller kullanılarak her iki tarafta bir elektrik enerjisi alıcısına, örneğin bir ampule bağlandığında içinden doğru akım (DC) akar. Özgün boyutları 120mm x 120mm olan fotovoltaik hücreleri güç çıkışını artırmak için birleştirilerek çeşitli yüzey alanlarında fotovoltaik paneller üretilebilir.



Şekil 3.6. p-n yapısı gösterimi.

Yarı iletken malzemenin içinde, serbest elektronun bir atoma geri bağlanabildiği yeniden birleşme denilen olay oluşabilir. Yeniden birleşen elektronlar elektrik akımının üretimine katkıda bulunmazlar. Bu nedenle, enerji dönüşüm verimliliği sadece güneş pilinden toplanan etkili gücü hesaba katmalıdır. Bir fotovoltaik hücre tarafından üretilen elektrik gücünün, herhangi bir anda, hücreye çarpan güneş ışığının gücüne oranına fotovoltaik verim denir. Ticari olarak satılan hücreler için fotovoltaik verim oranı yaklaşık %18'i aşmamaktadır (Petela, 2010: 365-367).

Fotovoltaik piller güneşten gelen ışınların oluşturduğu foto gerilimlerin ve fotoakımların meydana geldiği geniş alanlı, düz beslemeli diyotlar olarak temellendirilir. Aşağıdaki formül fotovoltaik pilin akım gerilim karakteristiğinin dayanağıdır (Doğan, 2011: 100).

$$I = I_{ph} - I_D - I_p \quad (3.12)$$

I_{ph} foto akım, I_D diyot akımı ve I_p paralel dirençten geçen akımdır. I_D aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$I_D = I_S \left[\exp\left(\frac{q(V+R_S I)}{A_i k_B T}\right) - 1 \right] \quad (3.13)$$

I_S doyma akımı, R_S seri direnç, q elektronik yükü ($1.602 \cdot 10^{-19}$ coulomb), A_i idealite katsayısı k_B Boltzmann sabiti ($1.380658 \cdot 10^{-23}$ J/K) ve T mutlak kesişme sıcaklığıdır.

Paralel akım I_p aşağıdaki gibi hesaplanır (Yağan vd., 2018a).

$$I_p = \frac{I_{R_S+V}}{R_p} \quad (3.14)$$

R_p paralel dirençtir.

3.12'den 3.14'e kadar olan eşitlikleri birleştirerek fotovoltaik gerilim ile fotovoltaik akım arasındaki ilişki aşağıdaki gibi elde edilir (Doğan, 2011: 100).

$$I = I_{ph} - I_S \left[\exp\left(\frac{q(V+R_S I)}{A k_B T}\right) - 1 \right] - \frac{V}{R_p} \quad (3.15)$$

Üretilen fotovoltaik akım aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$I_{ph} = \alpha_1 E \left[1 + \alpha_2 (E - E_{ref}) + \alpha_3 (T_j - T_{ref}) \right] \quad (3.16)$$

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ sabit sayılardır.

E güneş ışınımıdır.

E_{ref} referans güneş ışınımıdır (1000 W/m^2).

T_j kavşak (kesişme noktası) sıcaklığıdır.

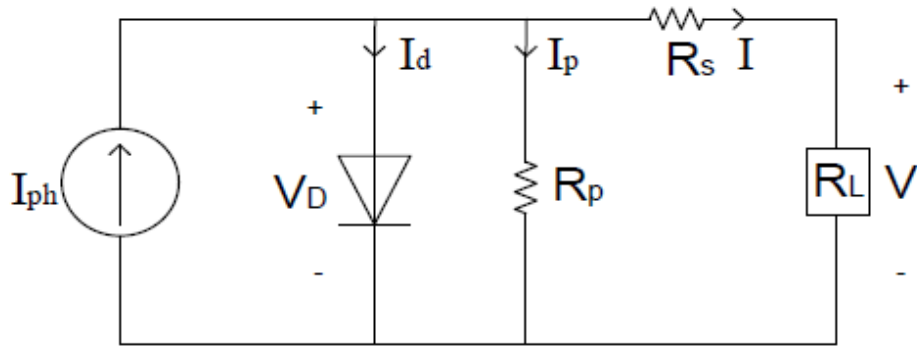
T_{ref} referans sıcaklıktır (298° K).

Doyma akımı sıcaklığa bağlıdır ve aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır.

$$I_S = K T_j^3 \exp\left(-\frac{\alpha}{k_B T_j}\right) \quad (3.17)$$

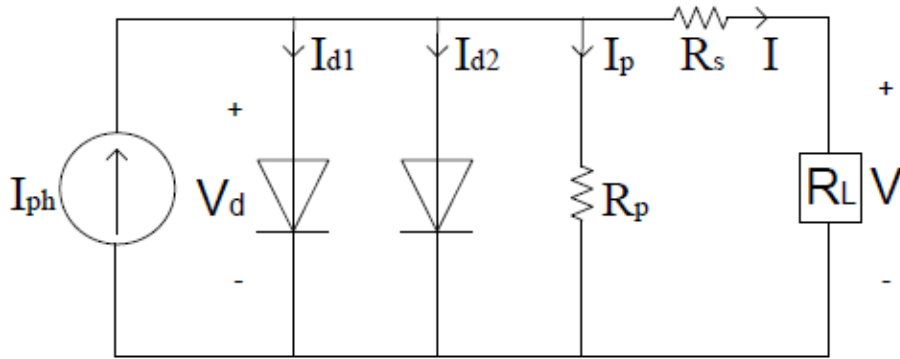
K ve α sabit sayılardır.

Fotovoltaik pili modellemek için tek diyotlu ve iki diyotlu eşdeğer devre modelleri kullanılır. Fotovoltaik pilin tek diyotlu eşdeğer devresi Şekil 3.7'deki gibi çizilebilir. Basit yapısının yanında doğruluğu yeterli olduğu için tek diyot eşdeğer devrenin kullanımı daha yaygındır (Yağan vd., 2018a).



Şekil 3.7. Fotovoltaik pilin tek diyot eşdeğer devresi (Yağan vd., 2018a).

İki diyotlu eşdeğer devre modeli Şekil 3.8’ de gösterilmiştir. İki diyotlu eşdeğer devre kompleks yapısından ve doğrusal olmayan karakteristiğinden dolayı kullanım olarak çok tercih edilmez (Yağan vd., 2018a).



Şekil 3.8. Fotovoltaik pilin iki diyot eşdeğer devresi (Yağan vd., 2018a).

İki diyotlu model için karakteristik eşitlik 3.18 de verilir (Yağan, vd., 2018a).

$$I = I_{ph} - I_{d1} - I_{d2} - I_p \quad (3.18)$$

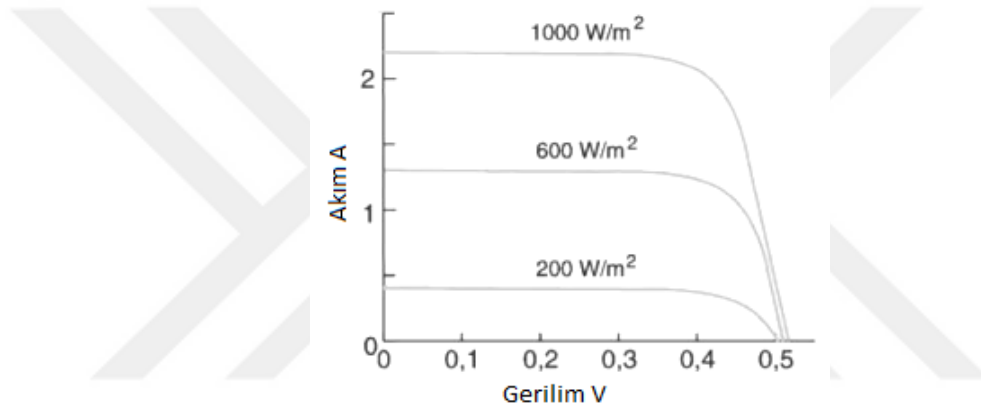
Burada I_{d1} ve I_{d2} diyot akımlarıdır;

$$I_{d1} = I_{s1} \left[\exp\left(\frac{V_D}{A_1 V_t}\right) - 1 \right] \quad (3.19)$$

$$I_{d2} = I_{s2} \left[\exp\left(\frac{V_D}{A_2 V_t}\right) - 1 \right] \quad (3.20)$$

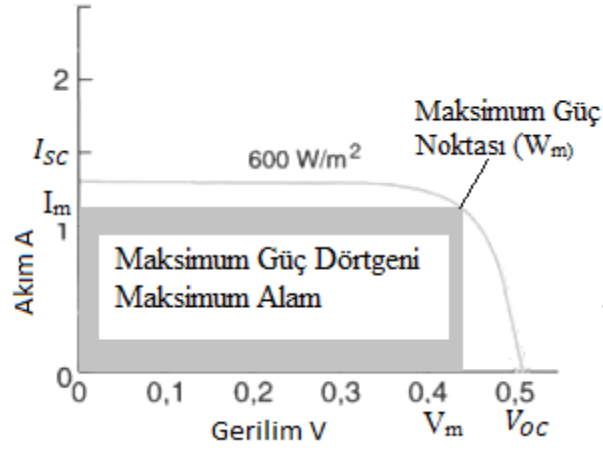
Tek diyotlu modele göre diyot sayısını bir artırmak modelin doğruluğunu artırırken eşitlikçi daha karmaşık yapmakta ve doğrusallıktan uzaklaştırmaktadır ve buda hesaplama zamanını artırmaktadır (Yağan vd., 2018a).

Şekil 3.9, tipik bir güneş pilinin I-V eğrisidir. Bu şekiller, solar pilin uçlarına test direnci takılıp, açık devreden kısa devreye kadar değeri değiştirilir ve bu sırada direncin üzerindeki gerilimi ve akımı ölçülerek elde edilir. Bir I-V grafiği, belli güneş ışığı miktarı altında çizilir ve farklı güneş ışığı miktarı altında ölçümler tekrarlanır; böylece Şekil 3.9'da gösterilen şekildeki gibi bir eğriler ailesi elde edilir.



Şekil 3.9. Fotovoltaik pilin I-V eğrisi.

I-V eğrisi, kısa devre akımı (I_{SC}), açık devre gerilimi (V_{OC}) ve maksimum güç noktası (P_m) olmak üzere üç önemli noktadan geçer. Şekil 3.10 da görülen I-V eğrisinin altındaki maksimum dikdörtgen alanı güneş pilinin o anda üretmiş olduğu maksimum çıkış gücü (P_m) verir ve bu güçteki akım I_m , gerilim ise V_m ile gösterilmektedir. Maksimum çıkış gücü (P_m) ise oluşan I-V eğrisinin altına sığabilen maksimum dikdörtgen alanıdır.



Şekil 3.10. Maksimum güç alanı.

Kısa devre akımı I_{SC} , pilin uçları arasındaki gerilimin sıfır olduğu düşünüldüğünde 3.15 eşitliğinde $V=0$ alırsak kısa devre akımı aşağıdaki gibi bulunur.

$$I_{SC} = I_P - I_S \left[\exp\left(\frac{qR_S I_{SC}}{Ak_B T}\right) - 1 \right] \quad (3.21)$$

Seri direnç R_S , normal ışık miktarı altında çok küçüktür ve hesaplamalarda pratik amaçlı olarak ihmal edilebilir ve kısa devre akımı aşağıdaki gibi sadeleşir.

$$I_{SC} = I_P \quad (3.22)$$

Açık devre geriliminde, fotovoltaiik akım sıfırdır. 3.15'deki eşitlikte $I=0$ koyarsak açık devre gerilimi (V_{OC}) aşağıdaki gibi hesaplayabiliriz.

$$0 = I_P - I_S \left[\exp\left(\frac{qV_{OC}}{Ak_B T}\right) - 1 \right] - \frac{V_{OC}}{R_{SH}} \quad (3.23)$$

Paralel direnç R_{SH} ihmal edilebilecek kadar küçüktür ve ihmal edildiğinde açık devre gerilimi V_{OC} aşağıdaki gibi sadeleşir.

$$V_{OC} = \frac{Ak_B T}{q} \ln\left(\frac{I_P + I_S}{I_S}\right) \quad (3.24)$$

Açık devre gerilimi ışık şiddeti ile logaritmik olarak artar (Doğan, 2011: 100-107).

Fotovoltaik pilde oluşan enerji dönüşümünün verimi fotovoltaik pilin performansının ölçümüdür ve maksimum çıkış gücü (P_m) ile belirlenir.

$$P_m = I_m V_m \quad (3.25)$$

Fotovoltaik pilin FF ile gösterilen doyma noktası maksimum çıkış gücünün $I_{SC} V_{OC}$ çarpımına oranıdır.

$$FF = \frac{I_m V_m}{I_{SC} V_{OC}} \quad (3.26)$$

Böylece fotovoltaik pilde oluşan enerji dönüşümünün verimi aşağıdaki gibi verilir.

$$\eta = \frac{P_m}{E_{ref}} \quad (3.27)$$

$$\eta = \frac{FF V_{OC} I_{SC}}{E_{ref}} \quad (3.28)$$

E_{ref} daha önce belirtildiği gibi karasal fotovoltaik güneş enerjisi cihazlarına ilişkin ölçme standardından 1000 W/m^2 ' dir (Kumar, 2003).

Genellikle binalarda Kristal silikon (polikristal, monokristal) fotovoltaik hücrelerden ve ince film fotovoltaik hücrelerden olmak üzere üç tip fotovoltaik panel kullanılmaktadır.

Kristal silikon fotovoltaik hücreler

Kristal silikon fotovoltaik hücreler atomların kristal kafes yapılarına göre monokristal silikon ve polikristal silikon olmak üzere ikiye ayrılırlar.

Polikristal silikon fotovoltaik hücreler

Genellikle polisilikon ile kısaltılmış olan polikristal silikon, rastgele yönelimleri olan birçok küçük kristal taneciğinden oluşan bir malzemedir. Bu taneler arasında tane sınırları vardır. Kafes yapıları düzgün değildir.

Silikonun en düşük kalitesi kuvarsitlerden yapılan metalürjik silikondur. Kuvarsit neredeyse saf silikon dioksittir (SiO_2). Silikon üretmek için kuvarsit, elektrot daldırılmış bir ark fırında, 1900°C 'ye kadar ısıtılarak eritilir. Daha sonra, erimiş kuvarsit karbon ile karıştırılır. Karbon kaynağı olarak kömür, kok ve odun yongaları kullanılır. Karbon daha sonra SiO_2 ile reaksiyona girmeye başlar. Genel tepkime aşağıdaki gibi yazılabilir.



Sonuç olarak, fırını gaz fazında bırakacak karbon monoksit (CO) oluşur. Bu şekilde kuvarsit silikondan arındırılır. Reaksiyonlar bittikten sonra, işlem sırasında oluşan erimiş silikon fırından çekilir ve katılaşır. Toz olarak alınan metalürjik silikonun saflığı yaklaşık %98 ila %99'dur. Dünya çapında üretilen metalürjik silikonun yaklaşık %70'i, otomotiv motor bloklarında kullanılan alüminyum silikon alaşımları için alüminyum döküm endüstrisinde kullanılmaktadır. Silikonlar gibi çeşitli kimyasal ürünler yapmak için yaklaşık %30'u kullanılır. Elektronik sınıf silikon yapımında ham ürün olarak sadece metalürjik silikonun yaklaşık %1'i kullanılmaktadır.

Bir sonraki daha yüksek saflığa sahip olan silikon malzemeye polisilikon denir. Siemens prosesinde metalürjik silikondan yapılır. Bu işlemde, metalürjik silikon bir reaktöre getirilmekte ve bir katalizörün varlığında yüksek sıcaklıklarda hidrojen klorit (HCl)'e maruz bırakılmaktadır. Silikon hidrojen klorür ile reaksiyona girer



Sonucunda triklorosilan (HSiCl₃) oluşumuna yol açar. Bu molekül bir silikon atomu, üç klor atomu ve bir hidrojen atomu içermektedir. Daha sonra, triklorosilan gazı soğutulur ve sıvılaştırılır. Damıtma kullanılarak, HSiCl₃'den daha yüksek veya daha düşük kaynama noktalı safsızlıklar giderilir. Saflaştırılmış triklorosilan, başka bir reaktörde tekrar buharlaştırılır ve hidrojen gazı ile karıştırılır. Orada, triklorosilan yüksek sıcaklıkta yüksek derecede saflaştırılmış Si'nin sıcak çubuklarında ayrıştırılır. Sıcaklık yaklaşık 850°C ila 1050°C arasındadır. Si atomları çubuk üzerinde biriktirilirken, klor ve hidrojen atomları çubuk yüzeyinden tutularak gaz fazına geri döndürülür. Sonuç olarak, saf bir silikon malzeme elde edilir. Silisyumun çubuk üzerinde depolanması için bu yöntem, kimyasal buhar biriktirmenin bir örneğidir. Egzoz gazı hala klorosilan ve hidrojen içerdiğinden, bu gazlar geri dönüştürülür ve tekrar kullanılır. Hidrojen temizlenir ve daha sonra reaktörde geri dönüştürülür. Siemens süreci çok fazla enerji tüketir.

Polikristal hücreler daha basit üretim sürecinden dolayı monokristal hücre üretiminden daha ucuzdur. Bu hücrelerin laboratuvar şartlarındaki verimliliği %19,8, ticari modüllerinde ise %16-13 mertebesindedir. Polikristal hücrelerin yapıları çok kristallidir ve ışığın yansımada bu kristaller rahatlıkla görülebilir. Renkleri antirefleksif kaplamayla mavi iken kaplamasız gri tonlarındadır (Jäger vd., 2014: 144-149).

Monokristal silikon fotovoltaik hücreler

Tek kristalli silikon olarak da bilinen monokristal silikon, kristal bir katıdır, kristal kafes süreklidir ve kenarlara kadar tüm kütle üzerinde herhangi bir tane sınırı olmaksızın kırılmamıştır.

Metalürjik silisyumun kuvarsitten nasıl üretilceğini ve polisilikonun nasıl üretilceğini bir üst başlıkta gördük. Monokristal külçeleri polisilikon prosesine ek olarak, Czochralski veya float-zone prosesi kullanılarak yapılmaktadır. Czochralski prosesinde eritilen polisilikon bor veya fosfor ile katkılanarak p-aktif ya da n-aktif silikon elde edilir. Bor veya fosforla katkılanan eriyiği, bir tohum kristali fırınına sokulur ve fırının üstünden yukarı çekilir. Silikon soğuyunca silindirik monokristal oluşturur. Float-zone prosesinde eritilen polisilikon diboran (B_2H_6) veya fosfin (PH_3) ile katkılanarak p-aktif ya da n-aktif silikon elde edilir ve bir tohum kristali fırınına sokulur ve fırının üstünden yukarı çekilir. Silikon soğuyunca silindirik monokristal oluşturur.

Bu hücreler saf monokristal silisyumdan yapılır. Monokristalin temel özelliği yüksek verimliliğidir, bu hücrelerin laboratuvar şartlarında verimliliği %24,7; ticari modüllerinde ise %18-14 civarındadır. Bununla beraber üretim süreci karmaşık ve diğer teknolojilerden pahalıdır. Yapıları homojendir ve renkleri karakteristik olarak koyu maviden siyaha doğru değişir.

Sonuç olarak, polikristal silikon için yük taşıyıcı ömrü, Shockley-Read-Hall rekombinasyonu nedeniyle monokristal silikondan daha kısadır. Malzemedeki daha fazla tane sınırı, yük taşıyıcıların ömrünün kısaltmasıdır. Bu nedenle, tane büyüklüğü rekombinasyon oranında önemli bir rol oynar (Jäger vd., 2014: 144-149).

İnce film fotovoltaik hücreler

Kristalsilikon fotovoltaik teknolojisi birinci nesil sayılırsa, ince film fotovoltaik hücreler ikinci nesil olarak adlandırılmaktadır. Birinci nesil fotovoltaik için taban oluşturan tabakalardan çok daha ince olan filmlerden yapılır. İnce film, bir alt tabaka üzerinde moleküler türlerin tek tek atomik / iyonik yoğunlaştığı rastgele çekirdeklenme işlemiyle ab initio yöntemi ile oluşturulan bir filmidir. Böyle bir malzemenin yapısal, kimyasal, metalürjik ve fiziksel özellikleri, çok sayıda biriktirme parametresine güçlü bir şekilde bağlıdır ve ayrıca kalınlığa da bağlı olabilir.

İnce film güneş hücrelerinde, aktif yarı iletken tabakalar şeffaf bir iletken oksit tabakası ve elektrik arka kontağı arasına sıkıştırılır. Çoğunlukla, aktarıcı solar hücre kayıplarını en aza indirmek için hücrenin arkasına bir arka yansıtıcı yerleştirilir (Jäger vd., 2014: 163-164).

Son 10 yılda ince filmler üzerinde yapılan başlıca çalışma, amorf silikon (a-Si) üzerinde odaklanmıştır. Kristalli silisyum ile karşılaştırıldığında amorfun uzun süreli avantajı, üretimi için enerji ihtiyacı daha az olduğundan enerji geri dönüş süresi daha kısadır. Amorf silikon hücrelerinin ilk kullanımları cep hesap makinelerinde olmuştur. Bu hücrelerin dezavantajı, büyük tesislerde güç üretiminde atılımı engelleyen nispeten düşük verimdir. Bununla birlikte, bina uygulamalarında, düşük verim nedeniyle kristal silikonlar ile aynı nominal güç için daha büyük bir modül alanı gerekir ve buda binalarda misal olarak tüm cepheyi kaplayacağı için daha düzgün bir görünüme kavuşarak avantajlı hale gelir. %10 verimin üzerinde a-Si hücreleri üretilmesine rağmen, bu başlangıç değeri Stabler-Wronski etkisi denilen ışık kaynaklı kararsızlık nedeniyle yaklaşık %30 azalır. Mevcut araştırmalar, bu etkinin azaltılması ve verimliliğin artırılması yollarına odaklanmaktadır. Diğer ince film malzemeleri kadmiyum tellür (CdTe) ve bakır, indium ve selenyum elementlerinin birleşiminden oluşan bakır indium-diselenoid (CuInSe₂ veya CIS)'dir. Günümüzde bu malzemelerden üretilen hücreler yaklaşık %15'lik verim ile laboratuvarlarda üretilmektedir. Seramik yüzeyler üzerinde ince film kristalli silikon, bugün incelenen diğer olası bir çözümdür (Andersson ve Leppänen, 1996: 14-15).

Sonuç olarak ince film fotovoltaiklerin verimleri kristalsilikon fotovoltaiklere göre düşüktür ancak kristalsilikon fotovoltaik panellerin eğilebilirlikleri olmadığından mimari yapılarla uyum sağlayamazken ince film fotovoltaik paneller bina uygulamalarında mimari açıdan tüm cephe kaplamalarına ve uygulama zeminlerine uyum sağlamalarından dolayı tercih edilebilecek malzemelerdir.

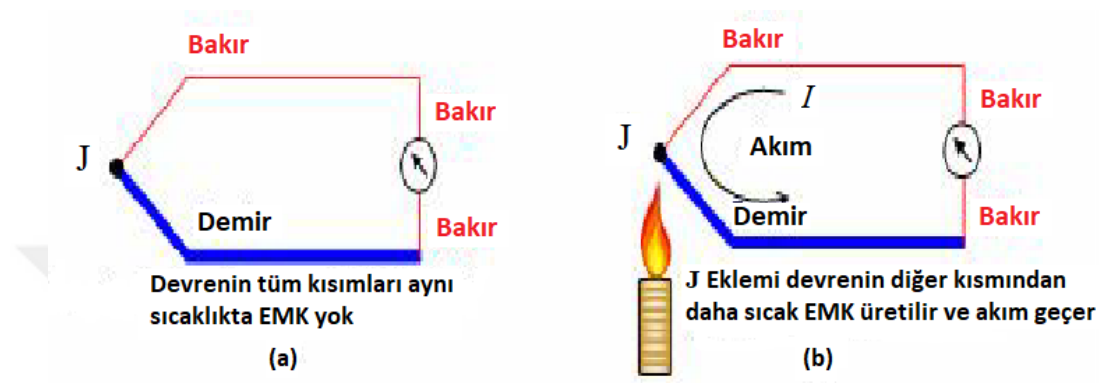
3.1.3. Sıcaklık sensörleri

Isıl çift (thermocouple)

Isıl çiftler seeback etkisiyle çalışan termal elemanlardır. Seeback etkisi, iki farklı metalin arasındaki sıcaklık farkının iki madde arasında bir gerilim farkı oluşturduğu olgudur.

Isıl çiftler iki metalin bir noktada birbirlerine kaynaştırılması ile oluşturulurlar ve birleşme noktası ısıtıldığında metallerin uçları arasında mV seviyesinde gerilim oluşur. Termokupullar kullanılarak oluşan bu gerilim ile -200°C'den 2320°C'ye kadar ölçüm

yapılabilir. Şekil 3.11’de bakır ve demir olmak üzere iki farklı metalden oluşan ısıl çiftte iki metal parçada aynı sıcaklıkta iken iki uç arasındaki gerilimde bir değişim olmadığı ancak metal birleşim noktasının ısıtıldığında bakırdan demir yönünde bir akım aktığı ve elektromotor kuvvet (EMK) üretildiği prensip olarak gösterilmiştir (Milli Eğitim Bakanlığı [MEB], 2007).



Şekil 3.11. Isıl çift çalışma prensibi.

-200°C’den 2320°C’ye kadar çeşitli sıcaklık aralıklarında en çok kullanılan DIN 43710 ve IEC 584 standart ısıl çift eleman teli çeşitleri, sıcaklık limitlerini ve standart kodlarını Çizelge 3.1 de görebiliriz (MEB, 2007).

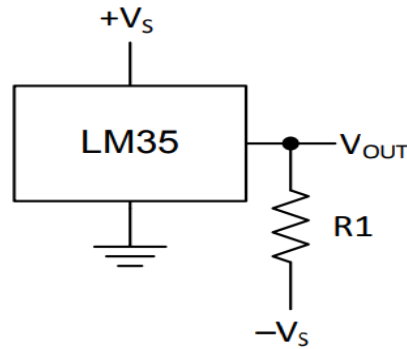
Çizelge 3.1. Isıl çift yapımında kullanılan metaller ve ısıl çift çeşitleri (MEB, 2007).

		DIN 43710	DIN 43710 IEC 584	
1) Cu-Const	Bakır-Konstantan	U	T	-200 ~ 300°C
2) Fe-Const	Demir-Konstantan	L	J	-200 ~ 800°C
3) Cr-Al	Kromel-Alümel		K	-200 ~ 1200°C
4) NiCr-Ni	Nikelkrom-Nikel		K	-200 ~ 1200°C
5) Cr-Const	Krom-Konstant		E	-200 ~ 1200°C
6) Nikrosil-Nisil	Nikelkrom Silikon-Nikelsilikon magnezyum		N	0 ~ 1200°C
7) Pt%10Rh-Pt	Platin Rodyum-Platin (%10)		S	0 ~ 1500°C
8) Pt%13Rh-Pt	Platin Rodyum-Platin (%13)		R	0 ~ 1600°C
9) Pt%18Rh-Pt	Platin Rodyum-Platin (%18)		B	0 ~ 1800°C
10) Tn-Tn%26Re	Tungsten-Tungsten %26 Renyum		W	0 ~ 2000°C

Isıl çiftler hava sıcaklığını ölçmek için ideal sensörler değildir. Bunun yerine boyler, güneş kolektörü gibi temas edilen yüzeylerin sıcaklıklarını ölçmekte daha etkili elemanlardır.

LM35

LM35 serisi, santigrat derece ile doğrusal olarak orantılı bir çıkış gerilimine sahip hassas entegre devre sıcaklık cihazlarıdır. LM35 cihazının, uygun bir santigrat ölçekleme elde etmek için çıkıştan büyük bir sabit gerilim çıkarmak zorunda olmadığından, Kelvin'de kalibre edilen lineer sıcaklık sensörlerine göre avantajlıdır. LM35 cihazı, oda sıcaklığında $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$ ve -55°C ila 150°C sıcaklık aralığındaki $\pm 0,75^{\circ}\text{C}$ 'de doğruluk sağlamak için harici kalibrasyon veya düzeltmeye gerek duymaz. Tabaka seviyesinde düzeltme ve kalibrasyon ile daha düşük maliyet sağlanır. LM35 cihazının düşük çıkışlı empedansı, lineer çıkışı ve hassas dâhili kalibrasyonu, okuma veya kontrol devrelerine arayüz oluşturmayı özellikle kolaylaştırır. Cihaz, tek güç kaynağıyla veya artı ve eksi beslenebilir. LM35 cihazı beslemeden sadece $60\mu\text{A}$ çekerken, $0,1^{\circ}\text{C}$ 'den daha az iç ısınmaya neden olur. LM35 cihazı, -55°C ila 150°C sıcaklık aralığında çalışacak şekilde ayarlanmıştır. LM35 serisi cihazlar, hermetik TO transistör paketlerinde bulunmaktadır. Şekil 3.12 de LM35 Sıcaklık sensörünün uygulamada kullanımı verilmiştir (Texas Instruments, 2017).



$R1 = -V_S / 50 \mu\text{A}$ olarak seçilir

$V_{\text{OUT}} = 1500 \text{ mV } 150^{\circ}\text{C}$

$V_{\text{OUT}} = 250 \text{ mV } 25^{\circ}\text{C}$

$V_{\text{OUT}} = -550 \text{ mV } -55^{\circ}\text{C}$

Şekil 3.12. Tam aralık LM35 santigrat sıcaklık sensörü uygulaması (Texas Instruments, 2017).

3.1.4. AC Sirkülasyon pompası

Güneş kolektörü ile ısıtma ve sıcak su elde etme durumunda sirkülasyon pompaları, güneş kolektöründen, boylardan ve odadan alınan sıcaklık verilerine göre çalışır, ısınmış olan suyu pompalayarak ısının ve suyun devirdaimi sağlar.

Devirdaimli sistemlerde; her pompa belirli tasarım değerleri için hesaplanır. Hesaplamalar için kullanılacak temel tasarım değerleri belirli bir pompa devri (nm) için, pompanın manometrik basma yüksekliği (H_m) ve debisi (Q_m) olmaktadır. Tasarım yapılırken, verimin en yüksek, kayıpların en az olmasına çalışılır. Çoğu uygulamada basma yüksekliği ve debide yapılan hesaplamalar sonucunda, seçilen pompa debi değeri hesaplanan değerlerden %25 daha fazla iken, basma yüksekliği değeri ise %10 daha fazla olmaktadır (Can, 2014).

Özel sistemler hariç merkezi ısıtma sistemi, güneş kolektörü kullanarak su ısıtma sistemi ve bunun gibi su sirkülasyonu gerektiren birçok uygulamada ayrıca temiz su dolaşımı v.b. sistemlerde kullanılan elektrik makinelerinin tamamına yakını indüksiyon veya asenkron makine olarak da bilinen makinelerdir. Bu durum sebepleri, nispeten uygun fiyatlı, az bir bakım masrafi gerektirmeleri ve yüksek oranda güvenilir olmasına dayanmaktadır (Can, 2014). Elektrik motoru asenkron makine olan su pompaları piyasada genel olarak AC pompalar olarak bilinmektedir.

3.1.5. Kontrol paneli

Güneş kolektöründen, boylerden ve odadan alınan sıcaklık verilerine göre ve fotovoltaiik panelden elde edilen elektrik enerjisi ile sirkülasyon pompalarının çalıştırılması ve sistemin takip edilmesini sağlar. Sensörler aracılığı ile pompaların devreye girmesi için gerekli programlama Arduino uno ile yapılarak kontrol paneli olarak kullanılmıştır.

Arduino uno

Arduino açık kaynak donanıma sahip (üretilebilir, kopyalanabilir, satılabilir yada değişiklik yaparak geliştirilebilir) ATMEL firması tarafından üretilen mikrodnetleyici tabanlı bir elektronik geliştirme havuzudur. Arduino havuzunda programlama dili olarak diğer mikrodnetleyicilerde olduğu gibi C dili kullanılmaktadır. Arduino'nun sensörler gibi devre proje elemanlarının, haberleşme protokollerinin vb. daha kolay ve sistematik kontrol edilebilmesi için bir araya getirilmiş komut satırları ve fonksiyonlardan oluşun birçok kütüphaneyi hazır sunması, ileri seviyede bilgi gerektiren devreleri hazır modül ya da kit halinde sunması ve elektronik geliştirme havuzları arasında en çok kaynağa sahip olması gibi önemli avantajları vardır (Zöhra, 2015).

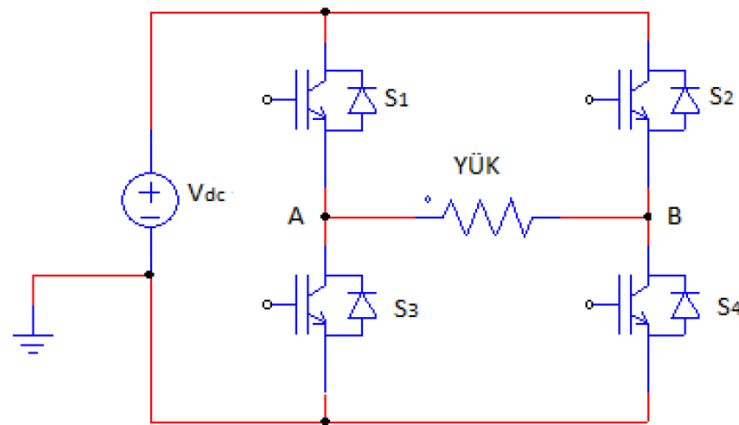
Arduino uno, Arduino modellerinden birisidir. Üzerinde Atmega328 mikrodnetleyici, usb bağlantı portu, güç regülatörü gibi bileşenlere sahiptir. USB dönüştürücüsü sayesinde USB

portu üzerinden hem programlanabilmekte hem de bilgisayar ile seriportu üzerinden iletişim kurabilmektedir. Kart adaptör girişinden ya da USB üzerinden beslenebilmektedir. 6 tanesi PWM olarak kullanılabilen 14 tane dijital giriş/çıkış soketine ve 6 adet analog giriş soketine sahiptir (Taşdemir, 2015: 8-9).

3.1.6. İnverter

İnverterler doğru akımı alternatif akıma dönüştürmeyi sağlayan güç elektroniği devreleridir. İnverterlerden esas olarak beklenen, alternatif akımın istenilen genlik ve frekansta üretilerek bu işlem yapılırken oluşan bozulmaların düşük seviyelerde olmasını sağlamaktır. İnverterlerin girişindeki doğru akım kaynakları fotovoltaik paneller, aküler, yakıt hücreleri olabilir. İnverterler bir fazlı veya üç fazlı olabilmektedir (MEB, 2013a).

Şekil 3.13'deki tek fazlı tam köprü inverter devresine ait şema incelendiğinde buna göre tam köprü inverter devresinde dört adet diyot ve dört adet anahtarlama elemanı bulunduğu görülmektedir. Burada yük üzerindeki gerilim V_{AB} 'nin elde edilebilmesi için anahtarlama elemanlarının çapraz şekilde karşılıklı halde iletme geçmesi ve kesime gitmesi gerekmektedir. S1 ve S4 anahtarları iletimde, S2 ve S3 anahtarları kesimde iken A-B noktaları arasındaki gerilim $V_{AB} = V_{DC}$, S1 ve S4 anahtarları kesimde, S2 ve S3 anahtarları iletimde iken $V_{AB} = -V_{DC}$ olur. Tam köprü inverter yapısında 0 seviyesini elde etmek için S1 ve S2 anahtarları iletimde iken S3 ve S4 anahtarları kesime getirilir veya tam tersi eşleştirme uygulanır (MEB, 2013a).



Şekil 3.13. Tam köprü evirici devresi (MEB, 2013a).

Bizim kullanılmasını planladığımız pompalar bir fazlı AC pompalar olduğu için inverterimizde bir fazlı olacaktır ve dalga şeklide kare dalga yerine sinüzoidal dalga şekline yakın olduğundan çıkışında üç seviyeli kare dalga üreten tam köprü inverter olması planlanmaktadır.

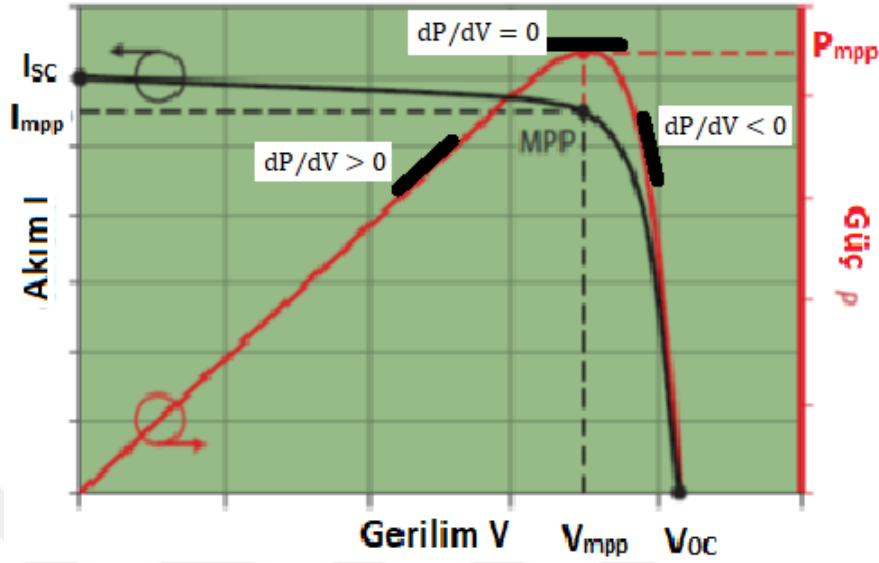
3.1.7. Maksimum güç noktası izleyici (MPPT)

Bu kavram, fotovoltaik sistemleri alanına çok özgüdür ve bu nedenle fotovoltaik alanına çok özel bir güç elektroniği uygulaması getirmektedir. Daha önce tartışıldığı gibi, aydınlatılmış bir fotovoltaik hücrenin davranışı bir I-V eğrisi ile karakterize edilebilir. Seri veya paralel olarak birkaç güneş hücresinin birbirine bağlanması, sadece toplam voltajı veya akımı artırır, ancak I-V eğrisinin şeklini değiştirmez. Bu nedenle, MPPT kavramını anlamak için, bir güneş pilinin I-V eğrisini dikkate almak yeterlidir. I-V eğrisi, ışınımdaki modül sıcaklığına bağlıdır. Örneğin, artan bir ışınlanma artan bir akım ve biraz daha yüksek gerilim artışına yol açar. Artan sıcaklığın gerilim üzerinde zararlı etkisi vardır.

Fotovoltaik modülün herhangi bir zamanda çalıştığı belirli gerilim ve akım olarak tanımlanan çalışma noktası kavramına baktığımızda. Çalışma noktası verilen bir ışınım ve sıcaklık için, I-V eğrisinin üzerinde bulunan benzersiz bir (I, V) çiftine karşılık gelir. Bu çalışma noktasındaki güç çıkışı aşağıdaki gibi verilir

$$P = IV \quad (3.31)$$

Çalışma noktası (I, V), Şekil 3.14'da gösterilen güç-gerilim (P-V) eğrisindeki bir noktaya karşılık gelir. Belirli bir ışınım ve sıcaklıkta en yüksek güç çıkışını üretmek için, çalışma noktası, maksimum güç noktası (MPP) olarak adlandırılan (P-V) eğrisine karşılık gelmelidir.



Şekil 3.14. I-V ve P-V eğrisi (Jäger vd., 2014).

Bir fotovoltaik modülü (veya dizisi) doğrudan bir elektrik yüküne bağlıysa, çalışma noktası bu yük tarafından belirlenir. Modülün maksimum gücünü almak için, modülü maksimum güç noktasında çalışacak şekilde zorlamak zorunludur. Modülü MPP'de çalıştırmaya zorlamanın en basit yolu, ya fotovoltaik modülün gerilimini MPP'de (V_{mpp} olarak adlandırılır) olmaya veya akımı MPP'nin (I_{mpp} olarak adlandırılan) olduğu noktada olacak şekilde düzenlemeye zorlamaktır. Bununla birlikte, MPP ortam koşullarına da bağlıdır. Işınım veya sıcaklık değiştiğinde, I-V ve P-V özellikleri de değişecektir. Bu nedenle MPP'nin konumu değişecektir. Bu nedenle, I-V eğrisindeki değişiklikler, çalışma koşullarının, ortam koşullarındaki değişikliklerden sonra MPP'de olacak şekilde ayarlanabilmesi için sürekli olarak takip edilmelidir. Bu işlem Maksimum Güç Noktası İzleme veya MPPT olarak adlandırılır. Bu işlemi gerçekleştiren cihazlara maksimum güç noktası izleyici (MPPT) denir. Modern fotovoltaik sistemlerde, MPPT genellikle inverterler veya şarj kontrolörleri gibi diğer sistem bileşenlerinde uygulanmaktadır (Jäger vd., 2014: 264-271).

Değiştir ve gözle, artımsal iletkenlik, bulanık mantık tabanlı denetleyici metodları en çok kullanılan mppt metodlarıdır bunun yanı sıra açık devre gerilimi ve kısa devre akımı metodu ve hibrid metod olmak üzere literatürde kullanılan mppt metodları bulunmaktadır.

Değiştir ve gözle metodu (perturb and observe method)

Bu metotta, güç değeri, fotovoltaik jeneratörün çıkışındaki çalışma noktası gerilimi ve akımı ölçülerek hesaplanır. Güç değeri, fotovoltaik jeneratörün çıkışındaki yükseltici DC-DC dönüştürücünün referans gerilim (veya akım) değeri değiştirilerek yeniden hesaplanır. Hesaplanan güç değerleri karşılaştırılır ve referans gerilim (veya akımın) değeri, karşılaştırmaya göre aynı yönde veya tam tersi olarak değiştirilir. Bu şekilde, fotovoltaik jeneratörün çıkış gücü sürekli artırılmaya çalışılmaktadır. Değiştir ve gözle metodu iteratif bir metottur. Uygulamanın kolaylığı, maliyet etkinliği ve fotovoltaik jeneratörün parametrelerinden bağımsız olarak çalışması avantajlarıdır. Bu yöntemin dezavantajı, MPP'yi tam olarak bulamaması ve MPP etrafında salınımlar yapmasıdır. Bu da maksimum güçten tam olarak yararlanılamamasına neden olur. Ayrıca, bu yöntem, sabit bir adımı olduğu için yavaştır (Yağan vd., 2018b).

Artımsal iletkenlik metodu (incremental conductance method)

Bu yöntemde, fotovoltaik jeneratörün çıkışındaki güç (P_{PV}) değerinin fotovoltaik jeneratörün çıkışındaki gerilim (V_{PV}) değerine göre, jeneratörün türevi kullanılır. Burada jeneratörün çıkışındaki akım değeride (I_{PV})'dir. Şekil 3.14'de görülebileceği gibi, bu türevin değeri MPP'de 0, MPP'nin solunda pozitif ve MPP'nin sağında negatiftir. Fotovoltaik jeneratörün ($\frac{I}{V}$) anlık iletkenliği, bu bilgiden elde edilen eşitlik 3.35 yoluyla artan iletkenlik ($\frac{\Delta I}{\Delta V}$) ile karşılaştırılır. Buna göre, MPP referans gerilim değerini arttırmak veya azaltmak suretiyle aranır (Yağan vd., 2018b).

$$P_{PV} = V_{PV}I_{PV} \quad (3.32)$$

$$\frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} = I_{PV} + V_{PV} \frac{dI_{PV}}{dV_{PV}} \quad (3.33)$$

$$\frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} = I_{PV} + V_{PV} \frac{dI_{PV}}{dV_{PV}} = 0 \text{ MPP noktasında}$$

$$\frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} = I_{PV} + V_{PV} \frac{dI_{PV}}{dV_{PV}} > 0 \text{ MPP'nin sol tarafında}$$

$$\frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} = I_{PV} + V_{PV} \frac{dI_{PV}}{dV_{PV}} < 0 \text{ MPP'nin sağ tarafında} \quad (3.34)$$

Eşitlik 3.34 tekrar düzenlenirse,

$$\frac{\Delta I}{\Delta V} = -\frac{I}{V} \text{ MPP noktasında, referans gerilim değeri değiştirilmedi}$$

$\frac{\Delta I}{\Delta V} >= -\frac{I}{V}$ MPP'nin sol tarafında, referans gerilim değeri artırılır

$\frac{\Delta I}{\Delta V} <= -\frac{I}{V}$ MPP'nin sağ tarafında, referans gerilim değeri azaltılır (3.35)

Artımsal iletkenlik metodunun performansı, hızla değişen atmosferik koşullar altında değiştir ve gözle metodundan daha iyidir. Çevre koşullarında bir değişiklik olmadığı sürece, MPP'de sabit kalır. Bununla birlikte, jeneratör akımında bir değişiklik olduğunda, artan iletkenlik tekrar MPP'yi aramaya başlar. Adım büyüklüğüne bağlı olan değiştir ve gözle metodundaki MPPT yanıt oranı ve kararlı durum doğruluğu arasındaki denge bu metod için geçerlidir. Bu metodun birincil eksikliği, kısmi gölgeleme koşulları altında MPP'yi izleyememesidir (Yağan vd., 2018b).

Bulanık mantık temelli denetleyici metodu (fuzzy logic controller)

Bulanık mantık denetleyici, modelleme aşamasında değişkenlerin ve kuralların esnek belirlenmesine göre tasarlanmıştır. Günümüzde bulanık mantık denetleyicinin birçok uygulama alanı vardır. Bulanık mantık denetleyicisi aynı zamanda MPP'nin izlenmesinde yaygın olarak kullanılır. Genel olarak, denetleyicinin girdileri, sırasıyla eşitlik 3.36 ve 3.37'de verilen hata ve hatadaki değişimdir. Çıkış ΔV , ΔI , D (görev döngüsü), ΔD , V_{mpp} veya I_{mpp} olabilir (Yağan vd., 2018b).

$$E(n) = \frac{P(n) - P(n-1)}{V(n) - V(n-1)} \quad (3.36)$$

$$\Delta E = E(n) - E(n-1) \quad (3.37)$$

Bu kontrolörün ana avantajları, fotovoltaik sistemin doğrusal olmayan matematiksel modelinin bağımsızlığını ve MPP'ye hızlı yakınsamaları çözme yeteneğidir. Kontrolör çıkışının doğruluğunun büyük ölçüde kurallara ve üyelik fonksiyonlarına bağlı olduğu kontrolörün dezavantajıdır. Çünkü bunları belirlemek için uzman görüşü ve deneyim gereklidir. Diğer bir dezavantaj, yöntemin, kısmi gölgeleme koşulları altında tüm pikler için $E(k) = 0$ olduğu için, lokal bir zirveye yapışmasının muhtemel olmasıdır (Yağan vd., 2018b).

Açık devre gerilimi ve kısa devre akımı metodu (open circuit voltage and short circuit current methods)

Fotovoltaik jeneratörde, MPP akımı ve kısa devre akımı (I_{sc}) değerleri arasında ve MPP gerilimi ve açık devre gerilimi (V_{oc}) değerleri arasında yaklaşık doğrusal bir ilişki kurulabilir.

Bu yöntemlerde, fotovoltaik jeneratörün MPP'si bu yaklaşık doğrusal ilişki kullanılarak araştırılmaktadır. Pratikte, açık devre gerilim değeri veya kısa devre akımı değeri fotovoltaik jeneratörü ile ölçülür. Ölçülen değer, MPP'nin yaklaşık konumunu belirlemek için sabit k ile çarpılır. Açık devre gerilim yöntemi, eşitlik 3.38'de gösterildiği gibidir ve kısa devre akımı yöntemi, eşitlik 3.39'da ifade edildiği gibidir. Bu iki eşitlik, kısmi gölgeleme koşulu dışında herhangi bir çevresel koşulda geçerlidir (Yağan vd., 2018b).

$$V_{mpp} \approx kV_{oc} \quad (3.38)$$

$$I_{mpp} \approx kI_{sc} \quad (3.39)$$

Temel avantajları, MPPT için pratik bir yöntem olmaları, sensör gereksinimlerinin düşük olması, hızlarının çok yüksek olması ve herhangi bir türetme gerektirmemeleridir. Dezavantajlar, sabit k 'nin elde edilmesindeki zorluk, açık devre voltaj değerini veya kısa devre akım değerini ölçmek için yükün periyodik olarak gölgenmesi ve fotovoltaik jeneratörünün kısmen gölgenmesi durumunda MPP'nin bulunamamasıdır. MPP'yi hızlı bir şekilde yakınsadıklarından, hibrid yöntemlerin çoğunda ilk adım olarak kullanılırlar (Yağan vd., 2018b).

Hibrid metod (hybrid MPPT methods)

Yukarıda belirtilen 4 yöntem en çok kullanılan MPPT yöntemleridir. Bununla birlikte, bu yöntemlerin verimliliği çok yüksek değildir ve bunların hiçbiri, fotovoltaik jeneratör kısmen gölgeli olduğunda doğru MPP konumunu belirleyemez. Bu yöntemlerin verimliliğini arttırmak ve fotovoltaik jeneratörün kısmen gölgelediği durumlarda MPP'nin yerini belirlemek için hibrit yöntemler geliştirilmiştir. Hibrid yöntemlerde hesaplamalar genellikle, birkaç yöntem içeren iki adımda gerçekleştirilir. İlk adımda, yaklaşık Maksimum Güç Noktasının (MPP) en hızlı şekilde bulunması ve ikinci adımda MPP'nin tam olarak bulunması ve sürekli olarak izlenmesi amaçlanmaktadır (Yağan vd., 2018b).

3.2. Yöntem

Isıtılmak istenilen binanın veya yapının bulunduğu bölgenin günlük güneşlenme süreleri asgari iki yıl olarak bölge meteoroloji istasyonundan alınmış ve ortalama aylık güneşlenme süreleri daha güncel olarak çıkarılmıştır.

Isıtılmak istenilen binanın veya yapının bölgesel durumuna ve binanın yalıtım durumuna göre ısı kaybı hesabı yaklaşık olarak çıkarılarak ısı enerjisi ihtiyacı belirlenir. Bölgesel iklim durumuna göre düzlemsel yüzeyli güneş kolektörü ya da vakum tüplü güneş kolektörü olacak şekilde sistem için tercih edilecek ısıtma elemanı belirlenir. Güneşli saatler için gerekli ısı enerjisi ihtiyacına göre seçilen kolektör tipi için enerji hesabı yapılarak ne kadar kolektör alanına ihtiyaç olduğu hesaplanır ya da kolektör boyutlarına göre gerekli kolektör adedi hesaplanır. Kolektörlerin suyu ısıtarak depo edecekleri boyler hacmi güneşli saatlerde kolektörlerin ısıtabildikleri su hacmine göre belirlenerek, boyler firmalarının ürün kataloglarından gerekli boyler hacmi seçilir. Bina ya da yapının ısı hesabına göre firmaların ürün kataloglarından radyatör boyutu belirlenir. Bu tezde Kütahya İli aylık ortalama güneşlenme süreleri ve aylık ortalama global güneş radyasyonu değerleri kullanılarak düzlemsel yüzeyli güneş kolektörü ve vakum tüplü güneş kolektörü için metrekare başına üretilecek enerji grafikleri çıkarılmıştır. Kolektör seçiminin bu grafikler kullanılarak yapılması öngörülmüştür.

Güneş kolektörü ve boyler içindeki su sıcaklık farkına göre çalışacak ve kolektör içindeki sıcak suyu boylere göndererek ikisi arasındaki su sirkülasyonu işini yapacak olan birinci AC sirkülasyon pompası boyutlandırılır. Oda sıcaklığı ve boyler içindeki suyun sıcaklık bilgilerine göre çalışacak olan ve boyler içindeki sıcak suyu radyatöre göndererek radyatör ve boyler arasındaki su sirkülasyonunu sağlayacak olan ikinci AC pompa boyutlandırılır.

Elektrik ihtiyacı olan AC pompaların gerekli güç ihtiyacını güneşli saatlerde karşılayabilecek fotovoltaik panel çeşidi (polikristal silikon, monokristal silikon veya ince film fotovoltaik panel) seçilir verim hesabı yapılarak panel alanı ya da bu alana eşdeğer panel adedi hesaplanır. Bu tezde Kütahya İli aylık ortalama güneşlenme süreleri ve aylık ortalama global güneş radyasyonu değerleri kullanılarak polikristal silikon fotovoltaik paneller, monokristal silikon fotovoltaik paneller ve ince film fotovoltaik paneller için metrekare başına üretilecek enerji grafikleri elde edilmiştir. Fotovoltaik panel seçiminin bu grafikler kullanılarak yapılması öngörülmüştür. Seçilen güneş kolektörlerinin ürettiği elektrik doğru akımdır. Ancak seçilen pompalar AC pompalar olduğu için DC-AC inverter kullanılmaktadır. Seçilen güneş kolektörlerinin ürettiği güce göre inverter üretici kataloglarından gerekli inverter seçimi yapılır.

Sistemde iki adet su sirkülasyon işlemi bulunmaktadır ve bu işlemler belirli parametreler içermektedir. Sirkülasyon işlemini yapacak pompaların çalışma süreleri sistem parametreleri ile belirlenmekte ve pompalar bu parametrelere göre kontrol edilmektedir. Buradaki sistem parametreleri ısıçiftler ve LM35 sıcaklık sensörlerinden alınacak bilgilerle

belirlenmektedir. Bu bilgileri kullanan bir algoritma geliştirilerek sistemin kontrol ve izleme mekanizması oluşturulmuş olacaktır. Sistemin kontrol mekanizması olarak Arduino uno kartı kullanılarak geliştirilen algoritmayı gerçekleştirerek pompaları yönetecek olan program yazılmıştır.



























4. TASARIMIN YAPILMASI

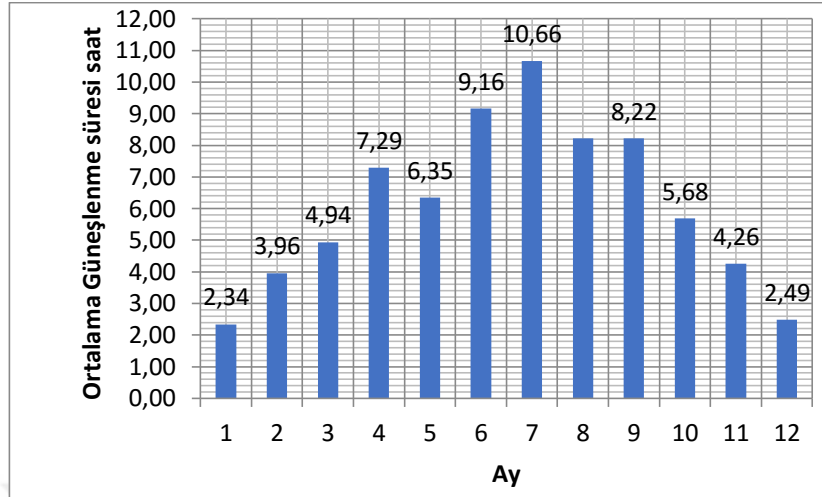
Materyal bölümünde yapılacak tasarımda kullanılacak elemanlar ayrıntılı bir şekilde tanıtıldı. Yöntem bölümünde ise tasarımın hangi kriterler kullanılarak tasarım elemanlarının hangi amaçla kullanılacağı hakkında bilgi verildi. Tasarımın yapılması bölümünde ise verilen bütün bilgiler doğrultusunda teorik olarak binanın ısıtılması ve sıcak su sağlanması konusunda, gerekli grafikler elde edilerek Kütahya İli için ilerleyen süreçler içerisinde rehber niteliği taşıyabilecek bir çalışma yapılmıştır. 10m² alanındaki bir bina için yaklaşık ısı hesabı yapılarak gerekli güneş kolektörü, fotovoltaik panel, pompa ve boyler seçilmiştir. Pompaların hangi durumda devreye girip hangi durumda devreden çıkması gerektiği durumları için algoritma çıkarılarak programlanması yapılmıştır. Bunun yanında İzmir İli içinde Kütahya İli için yapılan tasarımın aynı elemanlar kullanılacak şekilde bir örneği yapılarak iki tasarımın farklı iklimlere göre karşılaştırması yapılmıştır.

4.1. Kütahya İli Meteorolojik Verilerinin Derlenmesi ve Bu Veriler Kullanılarak Enerji Grafiklerinin Elde Edilmesi

Çalışmamızda elde edeceğimiz ilk grafik Kütahya İli için 2016 ve 2017 yılları için aylık ortalama güneşlenme sürelerini gösteren grafiklerdir. Tasarımımızda sıcak su ihtiyacı ve sıcak su üretimi sadece güneşin olduğu saatler göz önüne alınarak hesaplanmıştır ve tasarımımızda kullanılması düşünülen pompalarında sadece güneşin olduğu saatlerde sirkülasyon işlemi yapacağı varsayılmıştır. Aylık ortalama güneşlenme süresi ısı enerjisi ve elektrik enerjisi üretimi ve pompaların çalışması için zaman sınırını belirlemektedir. Çalışmamızda Kütahya İli için aylık ortalama güneşlenme süreleri meteorolojiden alınan Ek-1 de bulunan son iki yıllık günlük güneşlenme süreleri kullanılarak Çizelge 4.1’de çıkarılmıştır. Çizelge 4.1’deki aylık ortalama güneşlenme süreleri de grafik haline getirilerek Şekil 4.1 de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Kütahya İli için 2016-2017 yılları için aylık ortalama güneşlenme süreleri (saat).

Aylar												
Aylık ortalama güneşlenme süresi (saat)												

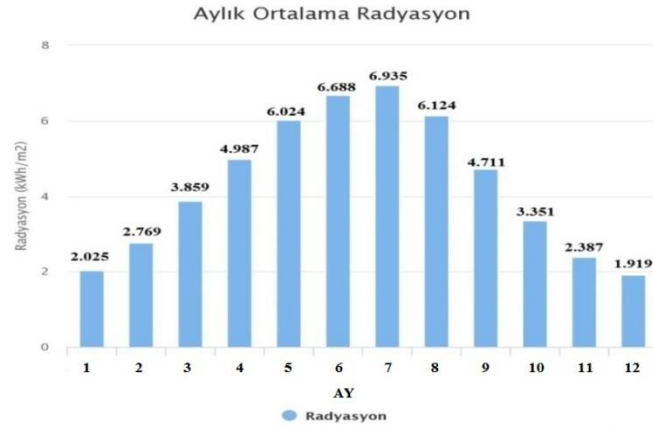


Şekil 4.1. Kütahya İli için 2016-2017 yılları aylık ortalama güneşlenme süresi (saat).

4.1.1. Güneş kolektörleri için enerji grafikleri hazırlanması

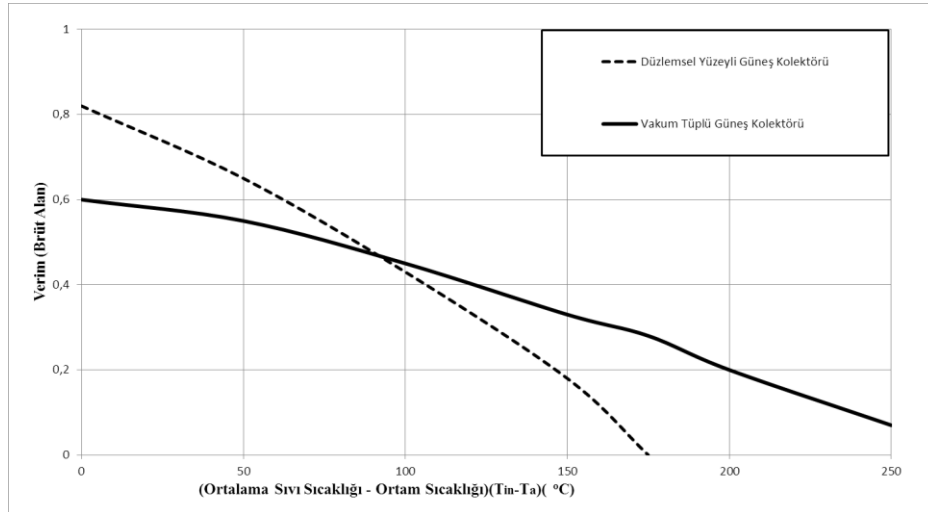
Bir binanın ya da yapının güneş kolektörleri ile ısıtılması düşünüldüğünde, Kütahya gibi karasal iklim bölgelerinde düzlemsel yüzeyli güneş kolektörleri ve vakum tüplü güneş kolektörleri kış aylarında don olaylarına daha dayanıklı oldukları için tercih sebebidir. Kolektör seçerken dikkate alınacak en önemli iki nokta yerleştirileceği alanın yeterliliği, gerekli enerjiyi en ekonomik yönden sağlayabilmesi ve kullanılacağı yapının bulunduğu bölgenin iklim şartlarına uyumu olmalıdır.

Güneş kolektör tiplerinin Kütahya İli için metrekare başına ürettikleri enerji grafiklerini çıkarırken güneş kolektörleri için literatürdeki ortalama ısı verimlerinden hareket edilmiştir. Şekil 4.2'deki Kütahya İli için uzun yıllar (2004-2016) aylık ortalama güneş radyasyonu grafiği Meteoroloji Genel Müdürlüğü internet sitesinden temin edilmiş ve bu grafikteki verilerden yararlanarak güneş kolektörleri için aylara göre metrekare başına üretilen enerji hesapları yapılarak grafikleri hazırlanmıştır.



Şekil 4.2. Kutahya İli için 2004-2016 yılları aylık ortalama radyasyon.

Güneş kolektörlerinde verim kolektör sıvısından elde edilen yararlı enerjinin kolektör üzerine gelen güneş ışımına oranıdır. Vakum tüplü ve düzlemsel yüzeyli güneş kolektörlerinin brüt alana (grosse area) ve sıcaklığa göre verimleri grafiği Şekil 4.3’de verilmiştir (Moss, R.W., vd., 2018). Bu grafikten anlaşıldığı gibi düzlemsel yüzeyli güneş kolektörleri ve vakum tüplü güneş kolektörlerinin verimleri kolektörde ki ortalama sıvı sıcaklığı (T_{in}) ve ortam sıcaklığının (T_a) farkı ile değişmektedir.



Şekil 4.3. Düzlemsel yüzeyli ve vakum tüplü güneş kolektörü sıcaklığa göre verim değişimi (Moss, R.W., vd., 2018).

Bu çalışmada (T_{in}) 60°C olarak alınmış, (T_a) ise çalışmanın yapılacağı yerin mevsimsel koşullarına göre değişmekte olup ortam sıcaklığı olarak kabul edilebilecek Kütahya İline ait ortalama ve ortalama en düşük sıcaklıklar Çizelge 4.2'de görülmektedir.

Çizelge 4.2. Kütahya ili aylara göre ortalama ve ortalama en düşük sıcaklıklar.

KÜTAHYA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ortalama Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	0.3	1.6	4.9	9.9	14.5	18.2	20.8	20.7	16.6	11.8	6.8	2.4
Ortalama En Düşük Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	-3.3	-2.4	-0.2	3.8	7.7	10.7	13.0	12.9	9.0	5.5	1.8	-1.2

Aylara göre ($T_{in} - T_a$) değeri hesaplanırken (T_a) kolektörün enerji ürettiği saatler günün sıcak saatleri olduğu göz önüne alınarak ortalama sıcaklıklar alınmış ve ($T_{in} - T_a$) Çizelge 4.3'den seçilecektir.

Çizelge 4.3. Kütahya ili aylara göre ($T_{in} - T_a$) değerleri.

KÜTAHYA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
($T_{in}-T_a$)($^{\circ}\text{C}$)	59.7	58.4	55.1	50.1	45.5	41.8	39.2	39.3	43.4	48.2	53.2	57.6

Çizelge 4.3'deki değerlere bakıldığında ($T_{in} - T_a$) yaklaşık 60°C ile 39°C arasında değişmektedir. Bu ($T_{in} - T_a$) değerleri Şekil 4.3'e bakılarak değerlendirildiğinde düzlemsel yüzeyli güneş kolektörlerinin verimleri ortam sıcaklığına göre yıl içinde (η_{dk}) %61 ile %69 arasında değişim gösterirken vakum tüplü güneş kolektörlerinin verimleri (η_{vt}) %53,5-%56,5 arasındadır. Kolektör aylık ortalama güneş ışınımı (E_{kort})(kWh/m^2), eşitlik (4.1) den kolektör verimi (η) ve Şekil 4.2 deki aylık ortalama güneş ışınımı (E_{ort})(kWh/m^2), çarpımı ile hesaplanır.

$$E_{kort} = \eta E_{ort} \quad (4.1)$$

Eşitlik (4.1) den yararlanarak düzlemsel yüzeyli güneş kolektörü için ocak ayı ortalama güneş ışınımı,

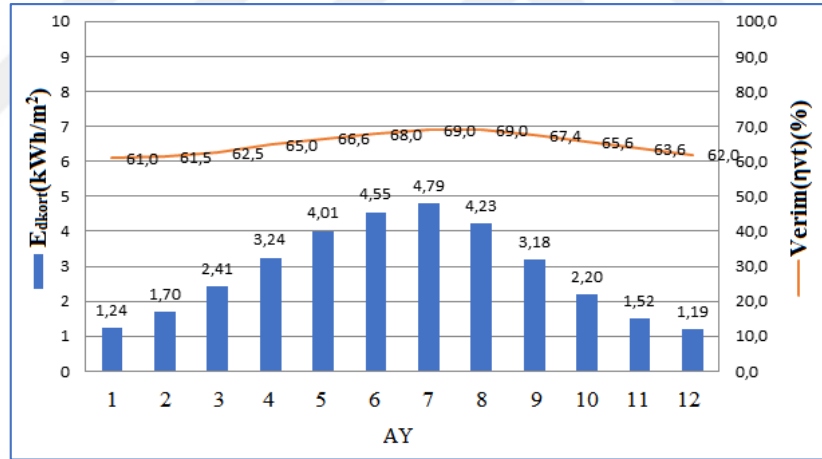
$$E_{dkort1} = \%61 \times 2,025 = 1,24 \text{ kWh}/\text{m}^2$$

Olarak hesaplanır. Yılın diğer ayları için yapılan hesap sonucu Çizelge 4.4’da Kütahya İli için düzlemsel yüzeyli güneş kolektörleri için metrekareye ortalama güneş ışınımı çıkarılmıştır.

Çizelge 4.4. Kütahya İli aylara göre düzlemsel yüzeyli güneş kolektörleri için metrekareye ortalama güneş ışınımı (kWh/m²).

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
E_{dkort} (kWh/m ²)	1,24	1,70	2,41	3,24	4,01	4,55	4,79	4,23	3,18	2,20	1,52	1,19

Düzlemsel yüzeyli güneş kolektörleri için aylara göre metrekareye ortalama güneş ışınımı ve verim grafiği Şekil 4.4’de çizilmiştir. Kütahya İlinde düzlemsel yüzeyli güneş kolektörleri kullanılarak bina ısıtılması ve sıcak su elde edilmesi istenildiğinde, yapılan ısı kaybı hesabı sonucu gerekli ısı enerjisi hesaplanarak Şekil 4.4’deki grafik yardımı ile gerekli kolektör alanı hesaplanabilir.



Şekil 4.4. Düzlemsel yüzeyli güneş kolektörleri için aylara göre metrekareye ortalama güneş ışınımı ve verimi.

Eşitlik (4.1) den yararlanarak vakum tüplü güneş kolektörü için ocak ayı ortalama güneş ışınımı,

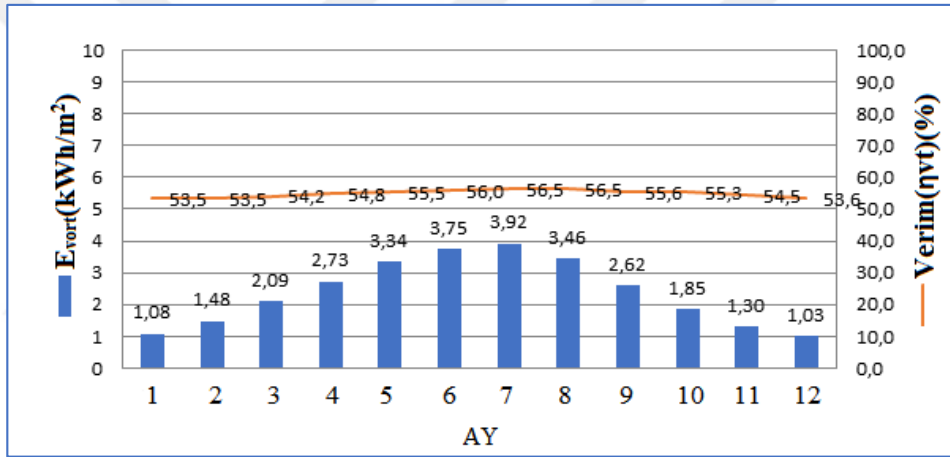
$$E_{vtort1} = \%53,5 \times 2,025 = 1,08 \text{ kWh/m}^2$$

Olarak hesaplanır. Yılın diğer ayları için yapılan hesap sonucu Çizelge 4.5’de Kütahya İli için vakum tüplü güneş kolektörleri için metrekareye ortalama güneş ışınımı çıkarılmıştır.

Çizelge 4.5. Kütahya İli aylara göre vakum tüplü güneş kolektörleri için metrekareye ortalama güneş ışınımı (kWh/m^2).

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
E_{vort} (kWh/m^2)	1,08	1,48	2,09	2,73	3,34	3,75	3,92	3,46	2,62	1,85	1,30	1,03

Vakum tüplü güneş kolektörleri için aylara göre metrekareye ortalama güneş ışınımı ve verim grafiği Şekil 4.5’de çizilmiştir. Kütahya İlinde vakum tüplü güneş kolektörleri kullanılarak bina ısıtılması ve sıcak su elde edilmesi istenildiğinde, yapılan ısı kaybı hesabı sonucu gerekli ısı enerjisi hesaplanarak Şekil 4.5 yardımı ile gerekli kolektör alanı hesaplanabilir.



Şekil 4.5. Vakum tüplü güneş kolektörleri için aylara göre metrekareye ortalama güneş ışınımı ve verimi.

4.1.2. Fotovoltaik paneller için enerji grafikleri hazırlanması

Fotovoltaik panel tiplerinin Kütahya İli için metrekare başına ürettikleri enerji grafikleri elde edilirken fotovoltaik panellerin literatürdeki ortalama ısıl verimlerinden hareket edilmiştir. Fotovoltaik panel verimi, panel çıkışından elde edilen elektrik enerjisinin panel yüzeyine gelen güneş ışınımına oranıdır. Çizelge 4.6’da piyasada bulunan fotovoltaik panel çeşitlerinin verimleri gösterilmektedir, Çizelge 4.6’da anlaşıldığı gibi her bir panel çeşidinin verimliliği belirli değerler arasındadır. Bu çalışmada her panel çeşidi için panel verimi olarak çizelgede verilen değerlerin ortalaması alınacaktır.

Çizelge 4.6. Fotovoltaik panel verimleri (Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, 2018a; Jäger vd., 2014).

Teknoloji	İnce film fotovoltaik paneller			Kristal silikon fotovoltaik paneller	
	Amorf Silikon (a-Si)	(CdTe)	(CIS)	Monokristal	Polikristal
Verim	%4-8	%10-11	%7-11	%14-18	%13-16
Ort. verim	%6	%10,5	%9	%16	%14,5

Fotovoltaik paneller için metrekare başına üretilen enerji hesapları bölüm 4.1.1. de verilen Şekil 4.2 ve Çizelge 4.6'daki bilgiler yardımı ile yapılmıştır.

Fotovoltaik panel aylık ortalama güneş ışınımı (E_{port})(kWh/m²) eşitlik (4.1) den fotovoltaik panel verimi (η) ve Şekil 4.2 deki aylık ortalama güneş ışınımı (E_{ort})(kWh/m²), çarpımı ile hesaplanır.

$$E_{port} = \eta E_{ort} \quad (4.1)$$

Eşitlik (4.1) den yararlanarak amorf-silikon(a-Si) ince film fotovoltaik panel için ocak ayı ortalama güneş ışınımı,

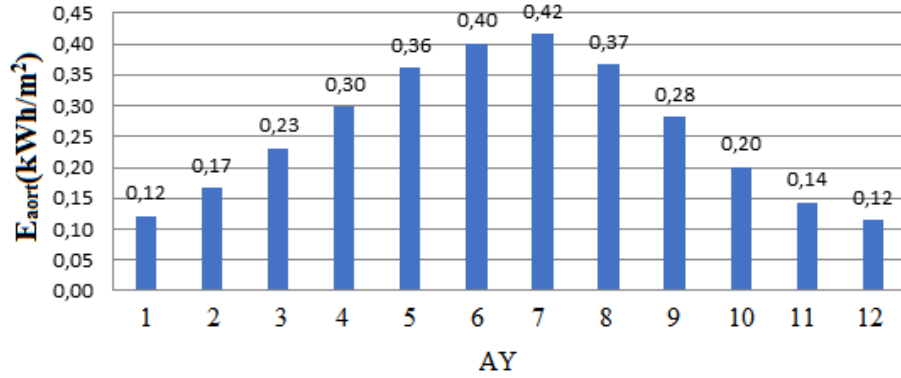
$$E_{aort1} = \%6 \times 2.025 = 0,12 \text{ kWh/m}^2$$

Olarak hesaplanır. Yılım diğer ayları için yapılan hesap sonucu Çizelge 4.7'de Kütahya İli için amorf-silikon(a-Si) ince film fotovoltaik panel için metrekareye ortalama güneş ışınımı çıkarılmıştır.

Çizelge 4.7. Kütahya İli aylara göre (a-Si) ince film fotovoltaik panel için metrekareye ortalama güneş ışınımı (kWh/m²).

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
E_{aort} (kWh/m ²)	0,12	0,17	0,23	0,30	0,36	0,40	0,42	0,37	0,28	0,20	0,14	0,12

Amorf-silikon(a-Si) ince film fotovoltaik panel için aylara göre metrekareye ortalama güneş ışınımı grafiği Şekil 4.6'de çizilmiştir. Kütahya İlinde (a-Si) ince film fotovoltaik panel kullanılarak elektrik enerjisi elde edilmek istenildiğinde, gerekli elektrik enerjisi hesaplanarak Şekil 4.6 yardımı ile gerekli (a-Si) ince film fotovoltaik panel alanı hesaplanabilir.



Şekil 4.6. Amorf-silikon (a-Si) ince film fotovoltaik panel için metrekaare başına elde edilen aylık ortalama güneş ışınımı.

Eşitlik (4.1) den yararlanarak (CdTe) ince film fotovoltaik panel için ocak ayı ortalama güneş ışınımı,

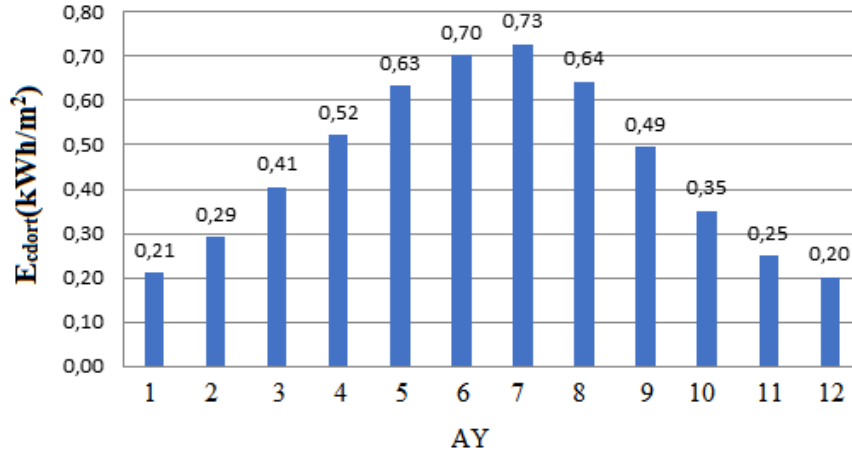
$$E_{cdort1} = \%10,5 \times 2,025 = 0,21 \text{ kWh/m}^2 \quad E_{cdort} \text{ (kWh/m}^2\text{)}$$

Olarak hesaplanır. Yılın diğer ayları için yapılan hesap sonucu Çizelge 4.8’de Kütahya İli için (CdTe) ince film fotovoltaik panel için metrekaareye ortalama güneş ışınımı çıkarılmıştır.

Çizelge 4.8. Kütahya İli aylara göre (CdTe) ince film fotovoltaik panel için metrekaareye ortalama güneş ışınımı (kWh/m²).

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
E _{cdort} (kWh/m ²)	0,21	0,29	0,41	0,52	0,63	0,70	0,73	0,64	0,49	0,35	0,25	0,20

(CdTe) ince film fotovoltaik panel için aylara göre metrekaareye ortalama güneş ışınımı grafiği Şekil 4.7’de çizilmiştir. Kütahya İlinde (CdTe) ince film fotovoltaik panel kullanılarak elektrik enerjisi elde edilmek istenildiğinde, gerekli elektrik enerjisi hesaplanarak Şekil 4.7 yardımı ile gerekli (CdTe) ince film fotovoltaik panel alanı hesaplanabilir.



Şekil 4.7. CdTe ince film fotovoltaik panel için metrekare başına elde edilen aylık ortalama güneş ışınımı.

Eşitlik (4.1) den yararlanarak (CIS) ince film fotovoltaik panel için ocak ayı ortalama güneş ışınımı,

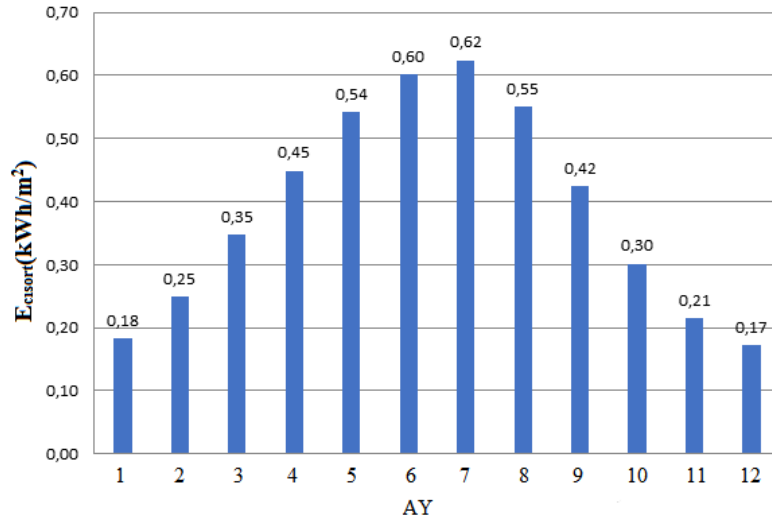
$$E_{cisort1} = \%9 \times 2,025 = 0,18 \text{ kWh/m}^2$$

Olarak hesaplanır. Yılın diğer ayları için yapılan hesap sonucu Çizelge 4.9'de Kütahya İli için (CIS) ince film fotovoltaik panel için metrekareye ortalama güneş ışınımı çıkarılmıştır.

Çizelge 4.9. Kütahya İli aylara göre (CIS) ince film fotovoltaik panel için metrekareye ortalama güneş ışınımı (kWh/m²).

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
E_{cisort} (kWh/m ²)	0,18	0,25	0,35	0,45	0,54	0,60	0,62	0,55	0,42	0,30	0,21	0,17

(CIS) ince film fotovoltaik panel için aylara göre metrekareye ortalama güneş ışınımı grafiği Şekil 4.8'de çizilmiştir. Kütahya İlinde (CIS) ince film fotovoltaik panel kullanılarak elektrik enerjisi elde edilmek istenildiğinde, gerekli elektrik enerjisi hesaplanarak Şekil 4.8 yardımı ile gerekli (CIS) ince film fotovoltaik panel alanı hesaplanabilir.



Şekil 4.8. (CIS) ince film fotovoltaik panel için aylara göre metrekareye ortalama güneş ışınımı.

Eşitlik (4.1) den yararlanarak monokristal silikon fotovoltaik panel için ocak ayı ortalama güneş ışınımı,

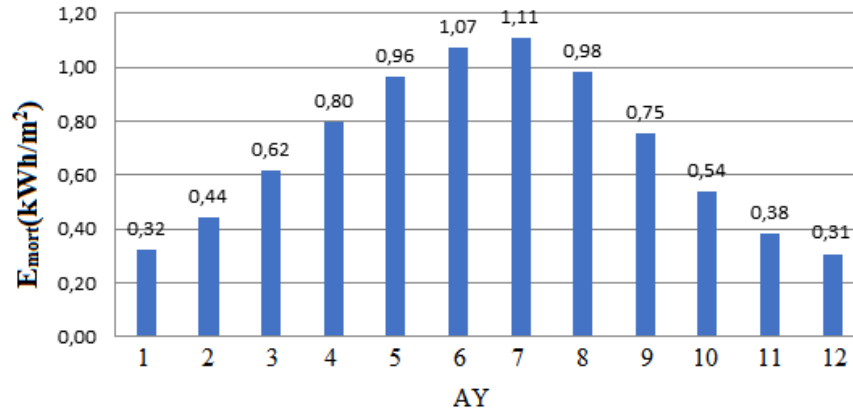
$$E_{mort1} = \%16 \times 2,025 = 0,32 \text{ kWh/m}^2$$

Olarak hesaplanır. Yılın diğer ayları için yapılan hesap sonucu Çizelge 4.10'de Kütahya İli için monokristal silikon fotovoltaik panel için metrekareye ortalama güneş ışınımı çıkarılmıştır.

Çizelge 4.10. Kütahya İli aylara göre Monokristal silikon fotovoltaik panel için metrekareye ortalama güneş ışınımı (kWh/m²).

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mays	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
E _{mort} (kWh/m ²)	0,32	0,44	0,62	0,80	0,96	1,07	1,11	0,98	0,75	0,54	0,38	0,31

Monokristal silikon fotovoltaik panel için aylara göre metrekareye ortalama güneş ışınımı grafiği Şekil 4.9'de çizilmiştir. Kütahya İlinde monokristal silikon fotovoltaik panel kullanılarak elektrik enerjisi elde edilmek istenildiğinde, gerekli elektrik enerjisi hesaplanarak Şekil 4.9 yardımı ile gerekli monokristal silikon fotovoltaik panel alanı hesaplanabilir.



Şekil 4.9. Monokristal silikon fotovoltaik panel için aylara göre metrekareye ortalama güneş ışınımı.

Eşitlik (4.1) den yararlanarak polikristal silikon fotovoltaik panel için ocak ayı ortalama güneş ışınımı,

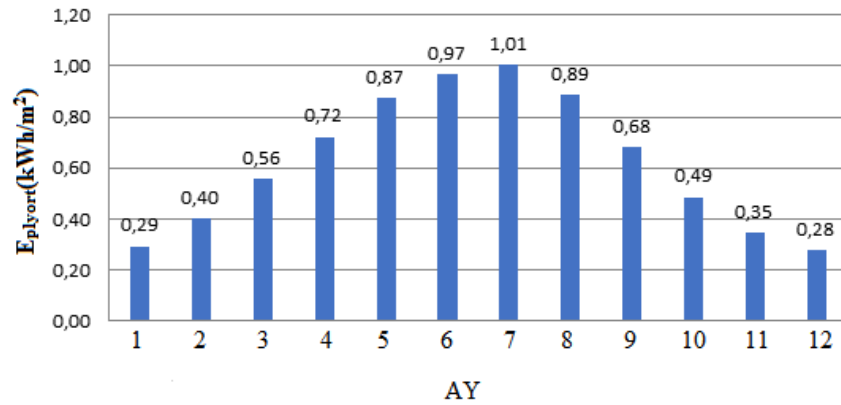
$$E_{plyort1} = \%13 \times 2,025 = 0,26 \text{ kWh/m}^2$$

Olarak hesaplanır. Yılın diğer ayları için yapılan hesap sonucu Çizelge 4.11’de Kütahya İli için polikristal silikon fotovoltaik panel için metrekareye ortalama güneş ışınımı çıkarılmıştır.

Çizelge 4.11. Kütahya İli aylara göre polikristal silikon fotovoltaik panel için metrekareye ortalama güneş ışınımı (kWh/m²).

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
E _{plyort} (kWh/m ²)	0,26	0,36	0,50	0,65	0,78	0,87	0,90	0,80	0,61	0,44	0,31	0,25

Polikristal silikon fotovoltaik panel için aylara göre metrekareye ortalama güneş ışınımı grafiği Şekil 4.10’de çizilmiştir. Kütahya İlinde polikristal silikon fotovoltaik panel kullanılarak elektrik enerjisi elde edilmek istenildiğinde, gerekli elektrik enerjisi hesaplanarak Şekil 4.10 yardımı ile gerekli polikristal silikon fotovoltaik panel alanı hesaplanabilir.



Şekil 4.10. Polikristal silikon fotovoltaik panel için aylara göre metrekareye ortalama güneş ışınımı.

4.2. Kütahya İli İçin Güneş Enerjisinden Sıcak Su ve Elektrik Üretimi ile Bina Isıtması ve Sıcak Su Sağlanması İçin Tasarım

Yapacağımız tasarımda bazı kabuller yapılmıştır. Dış ortam sıcaklığı çizelge 4.2'den Kütahya İli için ortalama en düşük sıcaklık yıl için de ocak ayı sıcaklığı olan $-3,3^{\circ}\text{C}$ alınmıştır. Toprak sıcaklığı 8°C kabul edilmiştir. Yapımız tasarımsal olduğu için $5 \times 2 = 10\text{m}^2$ 'lik çok iyi yalıtımlı ve bir pencere ve bir kapıya sahip olarak düşünülmüştür. Isı hesapları yapılırken boylar ısı kaybı ihmal edilmiştir. Pompa gücü hesabı yapılırken boru sürtünme kayıpları ihmal edilmiştir. Yapının kullanım sıcak suyu ihtiyacı 50l/gün olarak alınmıştır. Şebeke suyu sıcaklığı Çizelge 4,12'den bakılarak alınmıştır. Kuzey yarı kürede bulunan ülkemizde güneş paneli ve kolektörlerinden yüksek verim elde edebilmek için yönlerinin güneşe bakması ve yaz-kış kullanımı için eğim açısı o bölgenin enlem açısıyla aynı olmalı, yalnızca yaz kullanımı için enlem açısından 15° az ve yalnızca kış kullanımı için enlem açısından 15° fazla olmalıdır (MEB, 2013b). Buna göre 39° kuzey enleminde bulunan Kütahya'da panel eğimi 39° olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 4.12. Aylara göre şebeke suyu sıcaklıkları ($^{\circ}\text{C}$) (Abuşka, 2018).

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Kütahya	8,4	6,9	7,2	9,1	12,2	15,4	18,3	20,2	19,7	17,2	14,2	11,0

Gerekli hesaplamalar bu kabuller üzerinden yapılarak Kütahya İli için sadece güneş enerjisinden yararlanarak, güneş kolektörleri kullanarak güneşli saatler süresinde yapının ısıtılması ve günlük sıcak su ihtiyacının karşılanması, fotovoltaik paneller kullanarak sirkülasyon pompalarının elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanması için tasarım yapılmıştır. Tasarımda kolektör ve panel boyutlandırmaları için bölüm 4.1 de elde edilen grafiklerden yararlanılmıştır. Tasarımımız örnek olması açısından düzlemsel yüzeyli güneş kolektörleri ve polikristal silikon fotovoltaik paneller kullanılacak şekilde hesaplar yapılarak tasarlanmıştır. Diğer kolektör ve fotovoltaik panel çeşitleri ile de bölüm 4.1'deki grafiklerden yararlanarak tasarım yapılabilir.

Güneş kolektörü alanı hesaplanması

Tasarımsal yapımızın toplam ısı kaybı hesap cetvelleri aylara göre EK-3'de yapılmış olup ocak ayı için $Q_{is} = 3734W$ olarak hesaplanmıştır.

Evsel sıcak su elde edilmesi için gerekli ısı enerjisi eşitlik (4.2)'den hesaplanır.

$$Q_{ss} = mc\Delta t \quad (4.2)$$

Burada günlük ısıtılacak su miktarı (m) (50l/gün), suyun ısınma ısısı (c) (1kcal/kg°C), kullanım suyu sıcaklığı ile şebeke suyu sıcaklığı arasındaki fark (Δt) (36,6°C) ve sıcak su enerji ihtiyacı (Q_{ss}) (kcal/gün) dür.

$$Q_{ss} = 50 \times 1 \times 36,6 = 1830 \text{ (kcal/gün)}$$

Saatlik enerji ihtiyacı ise;

$$Q_{ss} = 1830 \times \frac{1,16}{24} = 88,5 \text{ Wh dir.}$$

Tasarımsal yapımızın toplam ısı gücü ihtiyacı (Q_T);

$$Q_T = Q_{is} + Q_{ss} = 3734 + 88,5 = 3,82 \text{ kW dir.}$$

Şekil 4.1'den Kütahya İli ocak ayı için ortalama güneşli saat süresi 2,34 saattir. Isıtma için gerekli enerji (P_{it}),

$$P_{it} = Q_T \times Saat = 3,82 \times 2,34 = 8,94 \text{ kWh dir.}$$

Günlük ısıtma enerjisi için gerekli düzlemsel yüzeyli güneş kolektörü alanı (A_{dk})(m²), Şekil 4.4 yardımı ile aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$A_{dk} = \frac{P_{it}}{E_{dkort1}} = \frac{8,94}{1,24} = 7,21 \text{ m}^2$$

Kolektör alanı $A_{dk}= 7,21\text{m}^2$ bulunmasına rağmen piyasada kolektörler firmalara göre adet başına belirli alanlarda piyasaya sunulmaktadır. Bizim tasarımımızda kullanacağımız kolektörler Ek-5 de bulunan kolektör kataloğundan seçilmiştir buna göre kolektörlerin adeti $1,8\text{m}^2$ alanında üretilmektedir. $7,21/1,8= 4,01$ yukarı yuvarlarsak 5 adet kolektör gerekmektedir. Yeni kolektör alanı;

$$A_{dk} = 5 \times 1,8 = 9 \text{ m}^2 \text{ olarak belirlenir.}$$

Boyer hacmi hesabı

Boyer hacmi (V_b) sistem güneşin olduğu saatlerde çalışacağı düşünüldüğünden evsel kullanım sıcak su hacmine (V_{es}) eşittir.

Evsel kullanım sıcak su hacminin (V_{es}) (l) hesaplanmasında günlük sıcak su tüketimi (M_{es}) (Tasarımımız için 50l/gün kabul edilmiştir), kullanım suyu sıcaklığı (t_k) ($^{\circ}\text{C}$), şebeke suyu sıcaklığı (t_s) ($^{\circ}\text{C}$) ve suyun boylerde yükseldiği üst sıcaklık ($t_{\ddot{u}}$) (bu sıcaklık 80°C kabul edilebilir) rol oynar (Abuşka, 2018).

$$V_b = V_{es} = \frac{M_{es}(t_k - t_s)}{t_{\ddot{u}} - t_k} + (t_k - t_s) \quad (4.3)$$

$$V_b = V_{es} = \frac{50(45-8,4)}{80-45} + (45 - 8,4) = 88,89 \cong 89 \text{ l} \text{ olarak hesaplanır.}$$

Tasarımımızda boylerde bulunana sıcak su ile hem radyatör aracılığı ile yapı ısıtması hem de evsel kullanım için sıcak su sağlanacağından çift serpantinli boyler tercih edilmiştir. Çift serpantinli boyler hacmi Ek-6 boyler kataloğundan;

$$V_b = 150 \text{ l} \text{ seçilmiştir.}$$

Sirkülasyon pompası hesabı

Güneş kolektörü ve boyler arasındaki sirkülasyonu sağlayacak pompanın gücü (N) (Watt); Toplam manometrik yüksekliğe (H_m) (mSS) (toplam manometrik yükseklik, boyler ile kritik devredeki kolektör arasındaki yükseklik ve sürtünme kayıplarının toplamıdır. Kritik devredeki sürtünme kayıpları toplam yüksekliğin %10-15'i alınabilir. Boyler kolektör arası yükseklik 1m alınacaktır.), pompa debisine (Q_p) (l/s) (pompanın debisi kolektörlerin 1m^2 yüzeyinden saatte 60-80 l suyu devrettirecek kapasitede seçilebilir.), yerçekimi ivmesine (g)

(9,81 m/s²), motor milinden alınan gücün şebekeden çekilen güce oranı olan pompa verimine (η) (% 70-80 alınabilir) bağlıdır ve eşitlik (4.4) deki gibi hesaplanır (Abuşka, 2018).

$$N = H_m \times Q_p \times g / \eta \quad (4.4)$$

Kolektör-boyler arası yükseklik 1m dir.

$$H_m = (1 + (1 \times 0,15)) = 1,15 \text{ (mSS)}$$

Pompanın debisi kolektörlerin 1m²'sinden saatte 60-80 l suyu devrettirecek kapasitede olacaktır. Bu değer 70 l/m²h alınır ve kolektör alanı da 9m² alınırsa;

$$Q_p = 70 \times 9 = 630 \text{ l/h} = 630/3600 = 0,18 \text{ l/s}$$

$$N = 1,15 \times 0,18 \times \frac{9,81}{0,8} = 2,54 \text{ W hesaplanır.}$$

Pompa için Ek-7 sirkülasyon pompası kataloğundan seçim yapılmış ve sirkülasyon pompası gücü;

$$N = 38 \text{ W olan pompa seçilmiştir.}$$

Aynı pompanın katalog bilgilerine bakıldığında kazan kapasitesi: 20 000kcal/h = 23 260W olan kazanlar içinde uygundur. Bizim ısı gücü ihtiyacımız $Q_T = 3 820W$ olduğuna göre 38W gücündeki sirkülasyon pompası boyler ve radyatör arasındaki devir daim içinde kullanılabilir.

Fotovoltaik panel alanı hesaplanması

Sirkülasyon pompa hesabı yaptığımızda 2 adet 38 W gücünde sirkülasyon pompasına ihtiyacımız olduğunu belirlemiştik. Buna göre toplam elektrik gücü ihtiyacı $N_{elk} = 76W$ dir.

Şekil 4.1'den Kütahya İli Ocak ayı için ortalama güneşli saat süresi 2,34 saattir. Sirkülasyon pompaları için gerekli enerji (P_{elk}),

$$P_{elk} = N_{elk} \times Saat = 76 \times 2,34 = 177,84 \text{ Wh} = 0,18 \text{ kWh dir.}$$

Ocak ayı günlük güneşli saatler için gerekli elektrik gücünü sağlayacak polikristal silikon fotovoltaik panel alanı (A_{ply})(m²), Şekil 4.10'da bulunan grafik yardımı ile aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$A_{ply} = \frac{P_{elk}}{E_{plyort}} = \frac{0,18}{0,29} = 0,62 \text{ m}^2$$

Çizelge 4.13'de Kütahya İlindeki tasarımsal yapımız için gerekli olan pompaların güneşli saatlerde ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisi ve bu enerjiyi sağlayacak polikristal silikon fotovoltaik panel alanı aylara göre çıkarılmıştır.

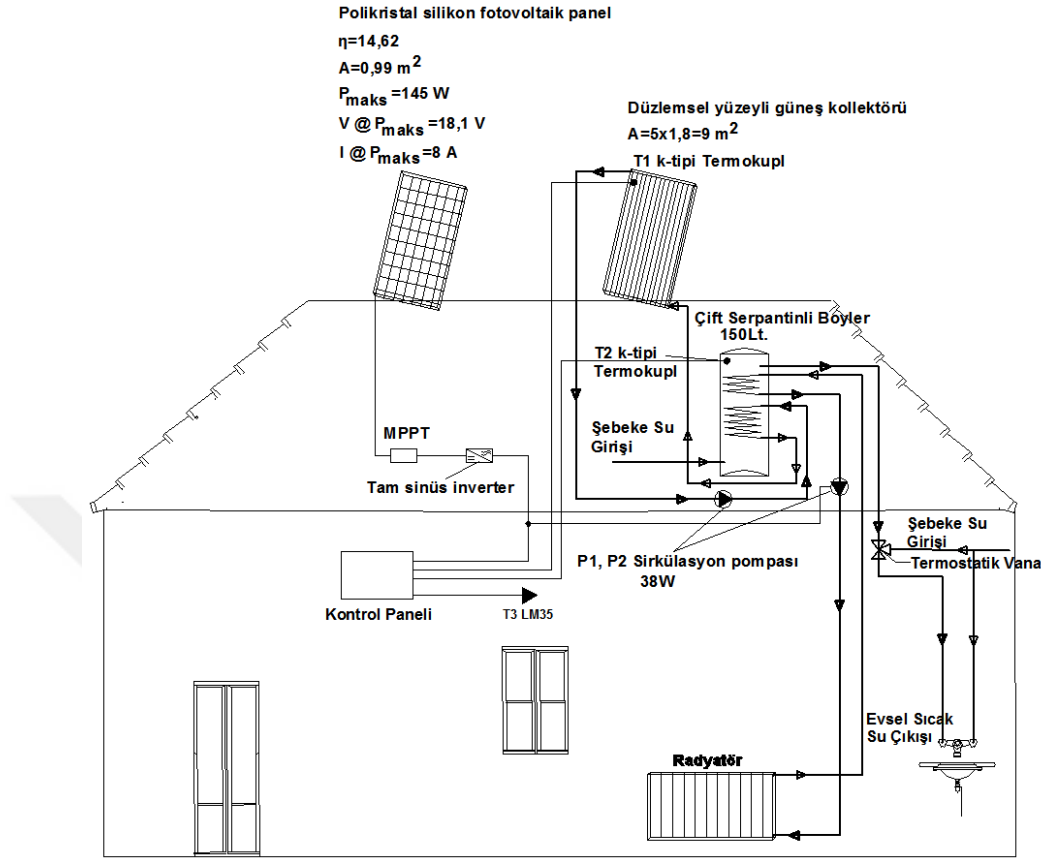
Çizelge 4.13. Güneşli saatler ortalama elektrik ihtiyacı ve panel alanı.

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Güneşli saatler ortalama elektrik enerjisi ihtiyacı (kWh).	0,18	0,31	0,38	0,57	0,50	0,71	0,83	0,64	0,64	0,44	0,33	0,19
İhtiyaç duyulan enerjiyi karşılayacak fotovoltaik panel alanı (m ²)	0,62	0,77	0,69	0,79	0,57	0,74	0,83	0,72	0,94	0,91	0,96	0,70

Çizelge 4.13 incelendiğinde en çok panel alanına kasım ayında ihtiyaç duyulmaktadır ve bu alan tasarımı için gerekli fotovoltaik panel alanını vermektedir. Polikristal silikon fotovoltaik panel alanı $A_{ply} = 0,96m^2$ bulunmasına rağmen piyasada fotovoltaik paneller firmalara göre adet başına belirli m²'lerde piyasaya sunulmaktadır. Bizim tasarımı Ek-8 polikristal silikon fotovoltaik panel kataloğunda bulunan ürünün boyutları kullanılmıştır. Buna göre fotovoltaik panelin adeti $0,96/0,99 = 0,97 = 1$ adet fotovoltaik panel yeterlidir. Buna göre yeni panel alanı;

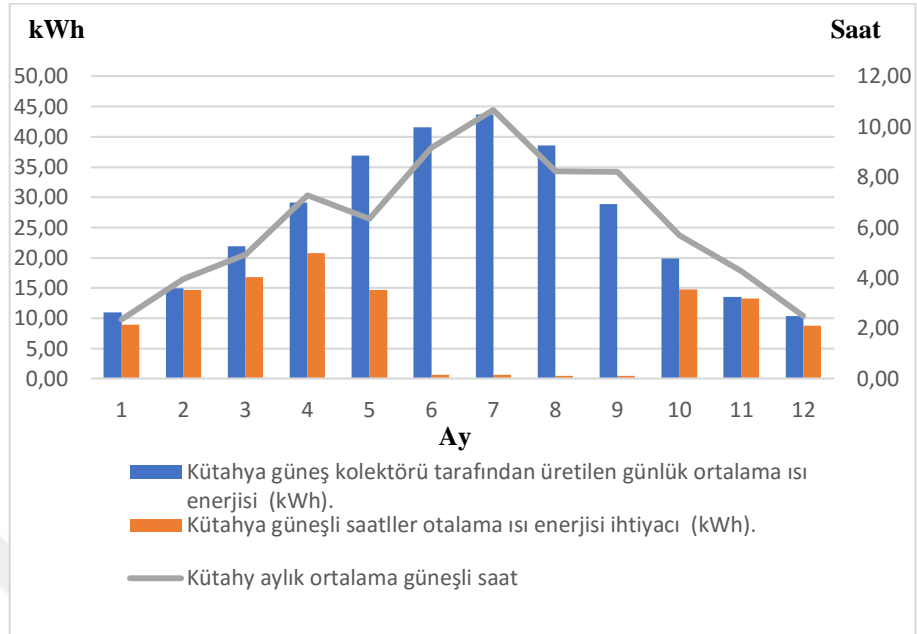
$$A_{ply} = 0,99 \text{ m}^2 \text{ olarak belirlenir.}$$

Hesaplamalar sonucu kataloglardan seçilen, güneş kolektörü, fotovoltaik panel, boyler ve sirkülasyon pompalarına ait boyut, güç gibi bilgiler Şekil 3.1'e işlenerek teorik olarak Kütahya İli için güneş enerjisinden sıcak su ve elektrik üretimi ile, bina ısıtması ve sıcak su sağlanması için yapılan tasarımı Şekil 4.1 de gösterilmiştir.

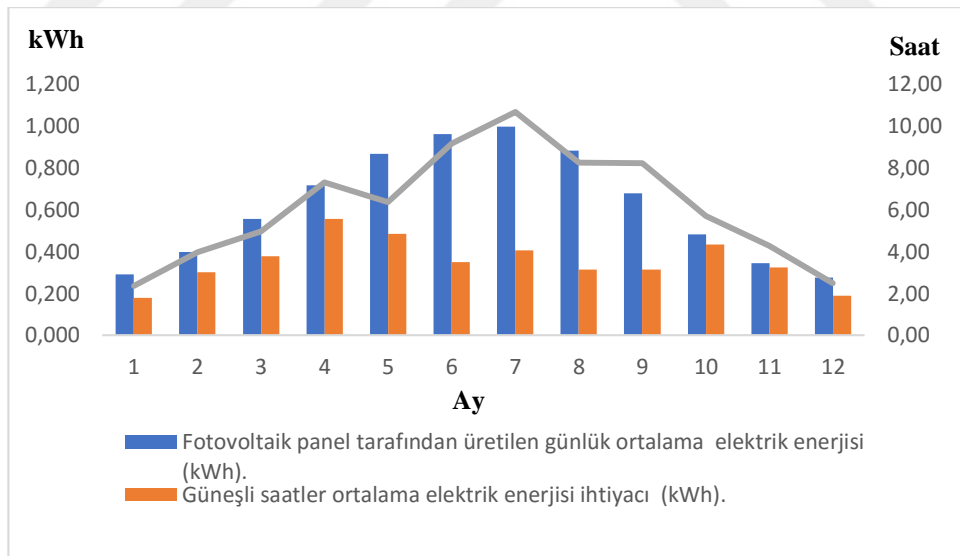


Şekil 4.11. Güneş enerjisinden sıcak su ve elektrik üretimi ile bina ısıtması ve sıcak su sağlanması için yapılan tasarım şematik gösterimi.

Seçtiğimiz güneş kolektörü ve fotovoltaik panel boyutlarına göre, grafik 4.1, 4.4 ve 4.10'dan yararlanarak, güneşli saatlerde grafik 4.11'de yıllık güneş kolektörlerinden üretilebilecek aylara göre enerji miktarları ve yapının ısıtılabilmesi ve sıcak su sağlanması için gerekli ısı enerjisi miktarı, Şekil 4.12'de de yıllık fotovoltaik panellerden üretilebilecek aylara göre enerji miktarları ve pompaların çalıştırılabilmesi için gerekli elektrik enerjisi miktarları görülmektedir. Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü'nün 27.04.2004 tarihli 2004/4 sayılı genelge' sine göre kalorifer ve sobalar "gece ve gündüz dış ortam sıcaklığının 15°C'nin üstünde olduğunda yakılmaması" gerekmektedir. Bu genelgeden dolayı Şekil 4.11 için gerekli ısı enerjisi miktarı hesaplanırken yapı ısıtması için gerekli ısı enerjisi Çizelge 4.2'den aylara göre ortalama sıcaklıklara bakılarak hesaplanmış, ortalama sıcaklığın 15°C'nin üzerinde olduğu aylarda yapı ısıtması için gerekli enerji 0kWh alınmıştır. Bu aylarda ihtiyaç duyulan ısı enerjisi sadece evsel kullanım sıcak su için gereken ısı enerjisidir.



Şekil 4.12. Yıllık güneş kolektörlerinden üretilebilecek aylara göre enerji miktarları ve yapının ısıtılabilmesi ve sıcak su sağlanması için gerekli ısı enerjisi miktarı.



Şekil 4.13. Yıllık fotovoltaik panellerden üretilebilecek aylara göre enerji miktarları ve pompaların çalıştırılabilmesi için gerekli elektrik enerjisi miktarları.

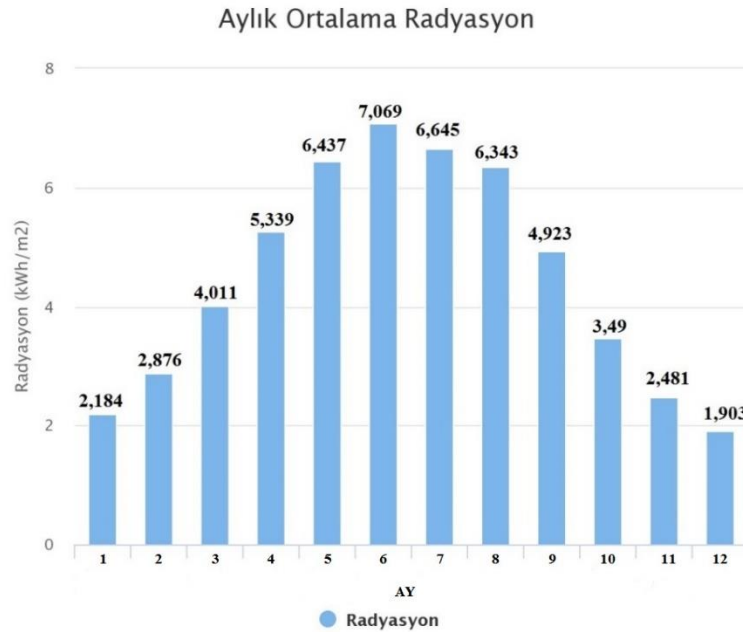
4.3. Kütahya İli İçin Yapılan Tasarımın İzmir İli Meteorolojik Verilerine Göre Değerlendirilmesi ve İki İl Verilerinin Karşılaştırılması

Çalışmamızda İzmir İli için aylık ortalama güneşlenme süreleri meteorolojiden alınan Ek-2 de bulunan son iki yıllık günlük güneşlenme süreleri kullanılarak Çizelge 4.14'de çıkarılmıştır.

Çizelge 4.14. İzmir İli 2016-2017 yılları için aylık ortalama güneşlenme süreleri (saat).

Aylar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Aylık ortalama güneşlenme süresi (saat)	4,74	5,62	6,69	9,43	9,45	11,06	12,39	11,73	10,20	8,44	6,53	4,82

Şekil 4.13 İzmir İli için uzun yıllar (2004-2016) aylık ortalama güneş radyasyonu grafiği Meteoroloji Genel Müdürlüğü internet sitesinden temin edilmiş ve bu grafikteki verilerden yararlanarak güneş kolektörleri için aylara göre metrekare başına üretilen enerji hesapları yapılarak grafikleri çıkarılmıştır.



Şekil 4.14. İzmir İli için 2004-2016 yılları aylık ortalama radyasyon.

Kütahya için olduğu gibi İzmir içinde (T_{in}) değeri 60°C olarak alınmıştır. (T_a) ise çalışmanın yapılacağı yerin mevsimsel koşullarına göre değişmekte olup ortam sıcaklığı olarak kabul edilebilecektir. Ortam sıcaklığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü internet sitesinden temin edilen İzmir İline ait ortalama ve ortalama en düşük sıcaklıklar çizelgesi olan Çizelge 4.15'den belirlenecektir.

Çizelge 4.15. İzmir İli aylara göre ortalama ve ortalama en düşük sıcaklıklar.

İZMİR	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ortalama Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	8,7	9,5	11,6	15,8	20,7	25,5	28	27,6	23,6	18,7	14	10,4
Ortalama En Düşük Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	5,7	6,1	7,5	11,0	15,3	19,7	22,3	22,2	18,5	14,5	10,6	7,5

Aylara göre ($T_{in} - T_a$) değeri hesaplanırken (T_a) değeri olarak kolektörün enerji ürettiği saatler günün sıcak saatleri olduğu göz önüne alınarak ortalama sıcaklıklar alınmış ve ($T_{in} - T_a$) Çizelge 4.16'dan seçilecektir.

Çizelge 4.16. İzmir İli aylara göre ($T_{in} - T_a$) değerleri.

İZMİR	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
($T_{in}-T_a$)($^{\circ}\text{C}$)	51,3	50,5	48,4	44,2	39,3	34,5	32	32,4	36,4	41,3	46	49,6

Çizelge 4.16'daki değerlere bakıldığında ($T_{in} - T_a$) yaklaşık 51°C ile 32°C arasında değişmektedir. Bu ($T_{in} - T_a$) değerleri Şekil 4.3'e bakılarak değerlendirildiğinde düzlemsel yüzeyli güneş kolektörlerinin verimleri ortam sıcaklığına göre yıl içinde (η_{dk}) %64,5 ile %71,2 arasında değişim göstermektedir. Kolektör aylık ortalama güneş ışıını (E_{kort})(kWh/m²), eşitlik (4.1) den kolektör verimi (η) ve Şekil 4.13'deki aylık ortalama güneş ışıını (E_{ort})(kWh/m²), çarpımı ile hesaplanır.

$$E_{kort} = \eta E_{ort} \quad (4.1)$$

Eşitlik (4.1) den yararlanarak düzlemsel yüzeyli güneş kolektörü için ocak ayı ortalama güneş ışıını,

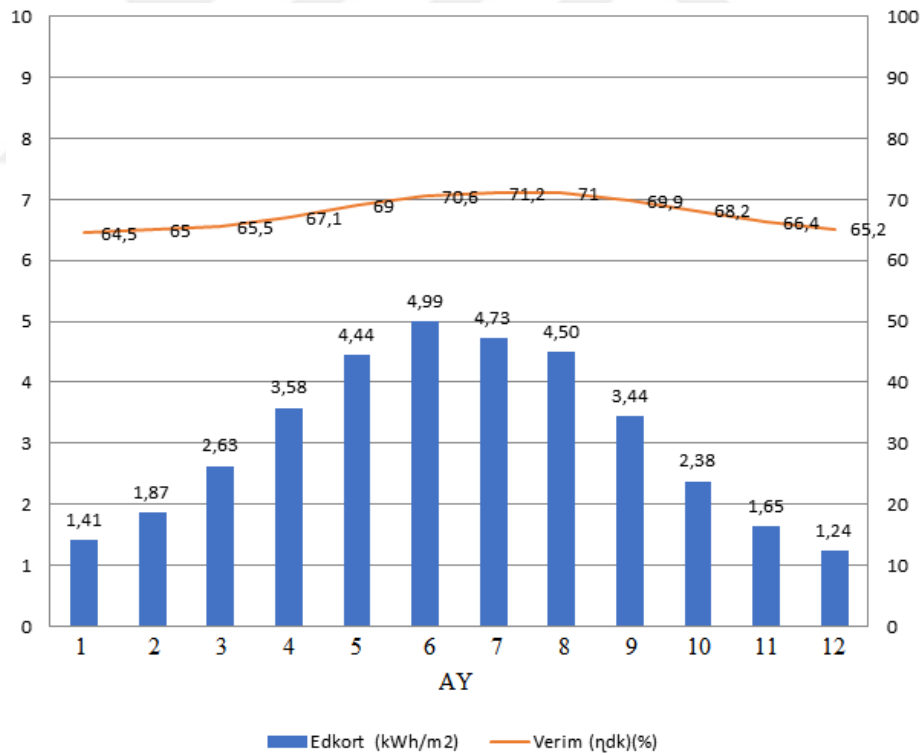
$$E_{dkort1} = \%64,5 \times 2,184 = 1,41 \text{ kWh/m}^2$$

olarak hesaplanır. Yılın diğer ayları için yapılan hesap sonucu Çizelge 4.17’de İzmir İli için düzlemsel yüzeyli güneş kolektörleri için metrekareye ortalama güneş ışınımı çıkarılmıştır.

Çizelge 4.17. İzmir İli aylara göre düzlemsel yüzeyli güneş kolektörleri için metrekareye ortalama güneş ışınımı (kWh/m^2).

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
E_{dkort} (kWh/m^2)	1,41	1,87	2,63	3,58	4,44	4,99	4,73	4,50	3,44	2,38	1,65	1,24

Düzlemsel yüzeyli güneş kolektörleri için aylara göre metrekareye ortalama güneş ışınımı ve verim grafiği Şekil 4.14’de çizilmiştir. İzmir İlinde düzlemsel yüzeyli güneş kolektörleri kullanılarak bina ısıtılması ve sıcak su elde edilmesi istenildiğinde, yapılan ısı kaybı hesabı sonucu gerekli ısı enerjisi hesaplanarak Şekil 4.14 yardımı ile gerekli kolektör alanı hesaplanabilir.



Şekil 4.15. İzmir için Düzlemsel yüzeyli güneş kolektörleri için aylara göre metrekareye ortalama güneş ışınımı ve verimi.

Eşitlik (4.1) den yararlanarak polikristal silikon fotovoltaik panel için ocak ayı ortalama güneş ışınımı,

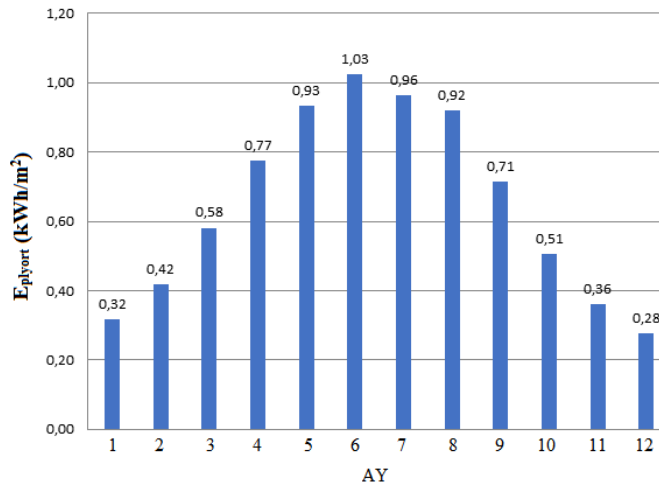
$$E_{plyort1} = \%14,5 \times 2,184 = 0,32 \text{ kWh/m}^2$$

olarak hesaplanır. Yılın diğer ayları için yapılan hesap sonucu Çizelge 4.18'de İzmir İli için polikristal silikon fotovoltaik panel için metrekareye ortalama güneş ışınımı elde edilmiştir.

Çizelge 4.18. İzmir İli aylara göre polikristal silikon fotovoltaik panel için metrekareye ortalama güneş ışınımı (kWh/m²).

E_{plyort} (kWh/m ²)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
	0,32	0,42	0,58	0,77	0,93	1,03	0,96	0,92	0,71	0,51	0,36	0,28

Polikristal silikon fotovoltaik panel için aylara göre metrekareye ortalama güneş ışınımı grafiği Şekil 4.15'de çizilmiştir. İzmir İlinde polikristal silikon fotovoltaik panel kullanılarak elektrik enerjisi elde edilmek istenildiğinde, gerekli elektrik enerjisi hesaplanarak Şekil 4.15 yardımı ile gerekli polikristal silikon fotovoltaik panel alanı hesaplanabilir.



Şekil 4.16. Polikristal silikon fotovoltaik panel için aylara göre metrekareye ortalama güneş ışınımı.

İzmir için şebeke suyu sıcaklığı Çizelge 4.19'dan Ocak ayı için 12,3°C alınmıştır.

Çizelge 4.19. Aylara göre şebeke suyu sıcaklıkları (°C) (Abuşka, 2018).

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
İZMİR	12,3	11,5	13,1	16,6	21,2	26,2	29,8	31,0	29,0	24,9	20,4	15,1

Kütahya İli için yapılan tasarımda ki kabuller aynen kullanılarak ve Kütahya için yapılan hesaptaki güneş kolektörü, fotovoltaik panel sayısı ve boyler hacmi gibi bütün boyutlandırmalar aynı şekilde kabul edilerek İzmir'de üretilebilecek ve güneşli saatlerde gerekli olan enerji miktarları hesaplanmıştır.

İzmir İli için ortalama sıcaklıkların 15°C'den düşük olduğu aylar için toplam ısı kaybı (Q_{Is}) hesap cetvelleri EK-4'de yapılmıştır.

Evsel sıcak su elde edilmesi için gerekli ısı enerjisi eşitlik (4.2)'den hesaplanır.

$$Q_{SS} = mc\Delta t \quad (4.2)$$

Burada günlük ısıtılacak su miktarı (m) (50l/gün), suyun ısınma ısısı (c) (1kcal/kg°C), kullanım suyu sıcaklığı ile şebeke suyu sıcaklığı arasındaki fark (Δt) (32,7°C) ve sıcak su enerji ihtiyacı (Q_{ss}) (kcal/gün) dür.

$$Q_{SS} = 50 \times 1 \times 32,7 = 1635 \text{ (kcal/gün)}$$

Saatlik enerji ihtiyacı ise;

$$Q_{SS} = 1635 \times \frac{1,16}{24} = 79 \text{ Wh dir.}$$

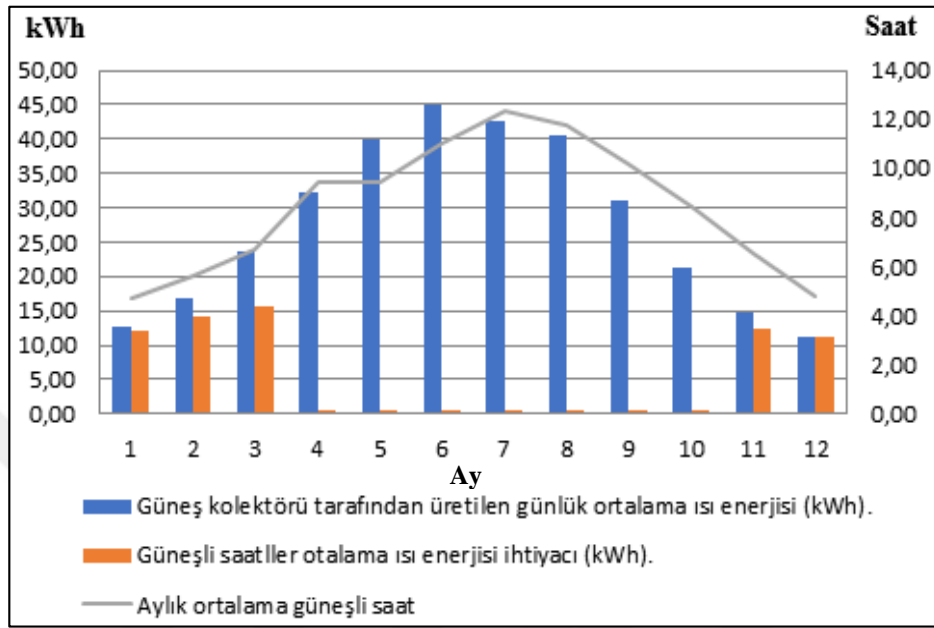
İzmir İlinin aylara göre saatlik sıcak su ihtiyacı için gerekli enerji miktarları Çizelge 4.20'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.20. İzmir İli aylara göre saatlik sıcak su enerji ihtiyacı (W).

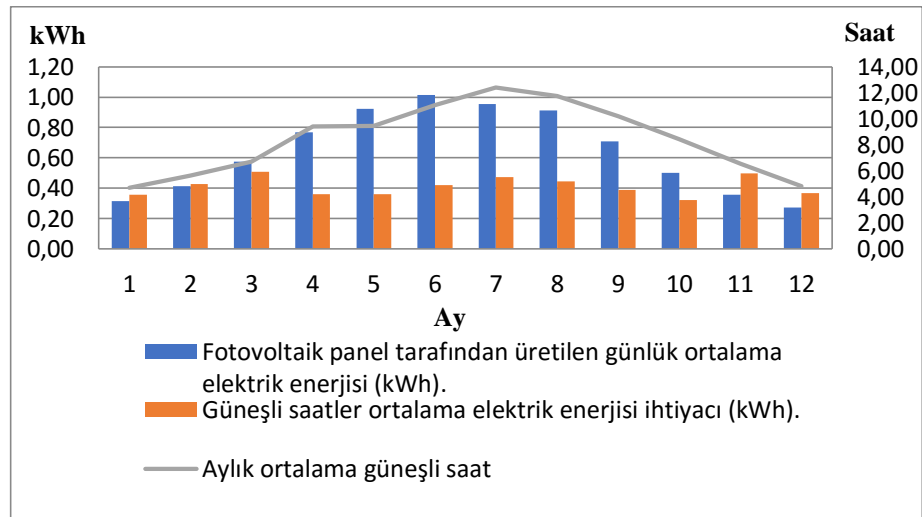
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
İZMİR	79,0	81,0	77,0	68,6	57,5	45,4	36,7	33,8	38,7	48,6	59,5	15,1

Bölüm 4.2. de hesaplanan ve Şekil 4.1'de gösterilen güneş kolektörü ve fotovoltaik panel alanlarına göre elde edilecek enerji miktarları ve İzmir için EK-4 ve Çizelge 4.19'da

hesaplanan değerlerin toplamı ile güneşli saatlerin çarpımı sonucu bulunan günlük enerji ihtiyaçları sırasıyla ısıtma ve elektrik enerjisi olarak Şekil 4.16 ve 4.17 de gösterilmiştir.

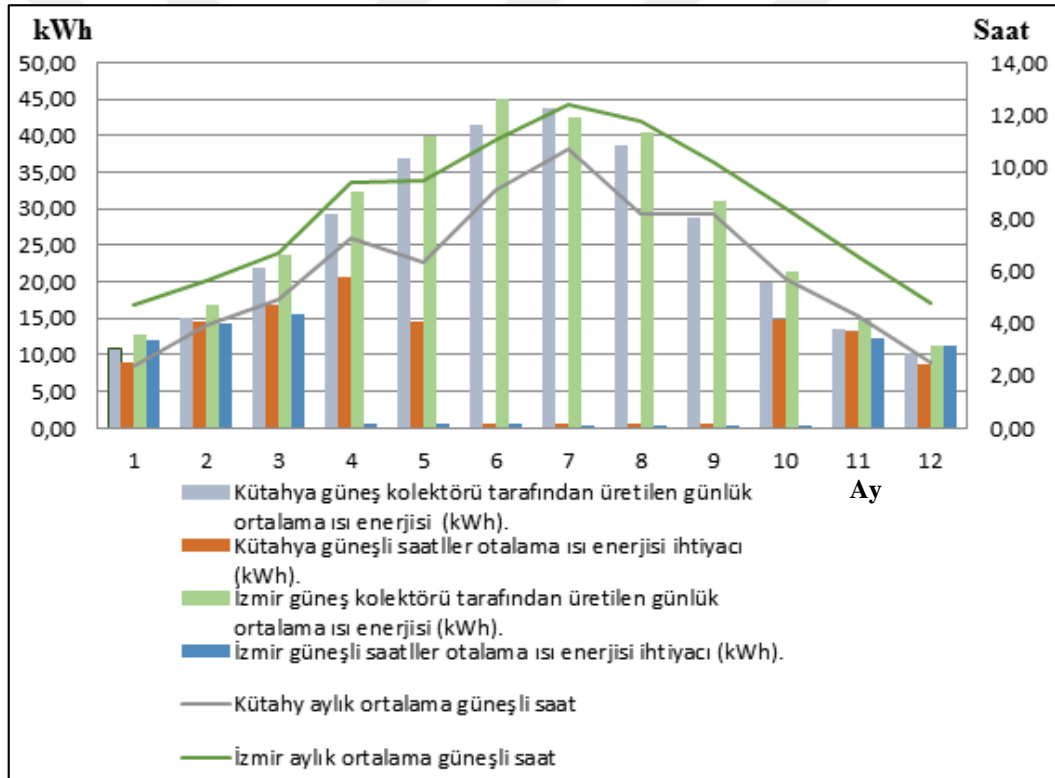


Şekil 4.17. İzmir yıllık güneş kolektörlerinden üretilebilecek aylara göre enerji miktarları ve yapının ısıtılabilmesi ve sıcak su sağlanması için gerekli ısı enerjisi miktarı.

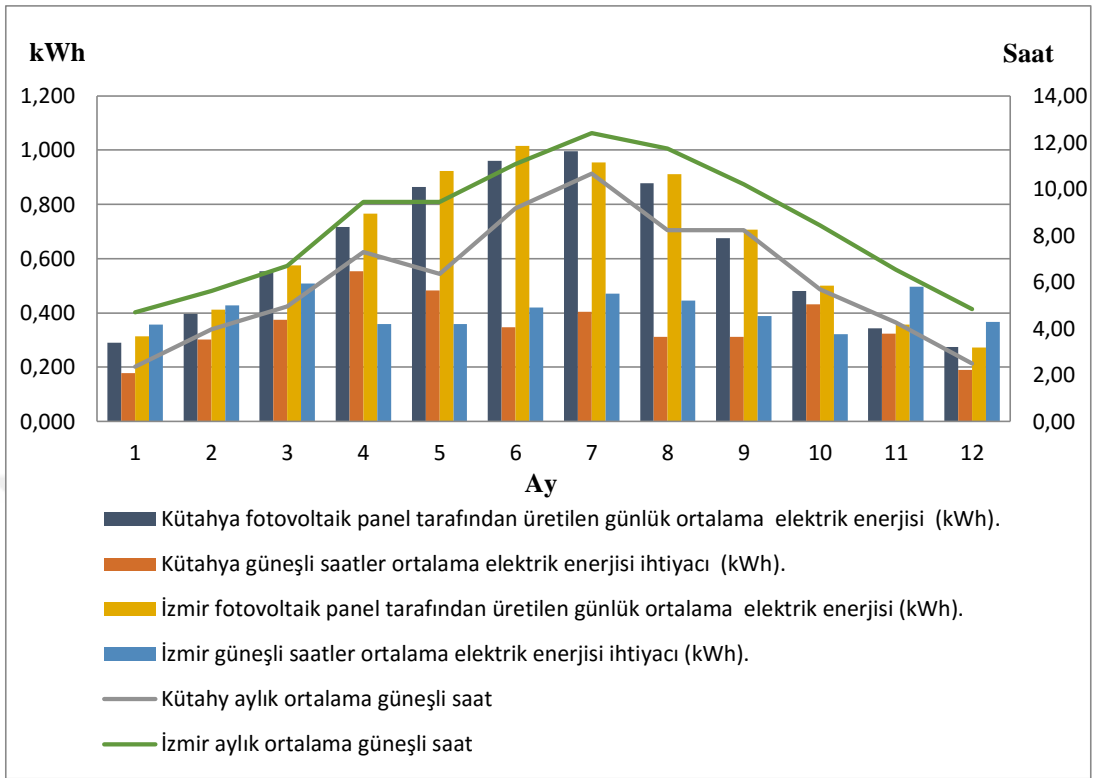


Şekil 4.18. İzmir yıllık fotovoltaik panellerden üretilebilecek aylara göre enerji miktarları ve pompaların çalıştırılabilmesi için gerekli elektrik enerjisi miktarları.

Kütahya için yaptığımız tasarımda bu il için tasarladığımız yapının güneşli saatlerde ihtiyacı olan ısı enerjisi ve elektrik enerjisi ile ihtiyaç duyulan enerjileri karşılayabilecek sayıdaki güneş kolektörü tarafından üretilebilecek ısı enerjisi ve fotovoltaik panel tarafından üretilebilecek elektrik enerjisi verilerini gösteren Şekiller 4.11 ve 4.12 çizilmiştir. Bu tasarımdaki yapı ve aynı miktardaki elemanlar kullanılarak İzmir için güneşli saatlerde ihtiyaç duyulan ısı enerjisi ve elektrik enerjisi ile ihtiyaç duyulan enerjileri karşılayabilecek sayıdaki güneş kolektörü tarafından üretilebilecek ısı enerjisi ve fotovoltaik panel tarafından üretilebilecek elektrik enerjisi verilerini gösteren Şekiller 4.16 ve 4.17 de çizilmiştir. Bu iki il için elde edilen veriler güneş kolektörü ile ihtiyaç duyulan ısı enerjisi için ve fotovoltaik panel ile ihtiyaç duyulan elektrik enerjisi için sırasıyla Şekil 4.18 ve 4.19'da çizilmiştir.



Şekil 4.19. İzmir ve Kütahya için yıllık güneş kolektörlerinden üretilebilecek aylara göre enerji miktarları ve yapının ısıtılabilmesi ve sıcak su sağlanması için güneşli saatlerde gerekli ısı enerjisi miktarı.

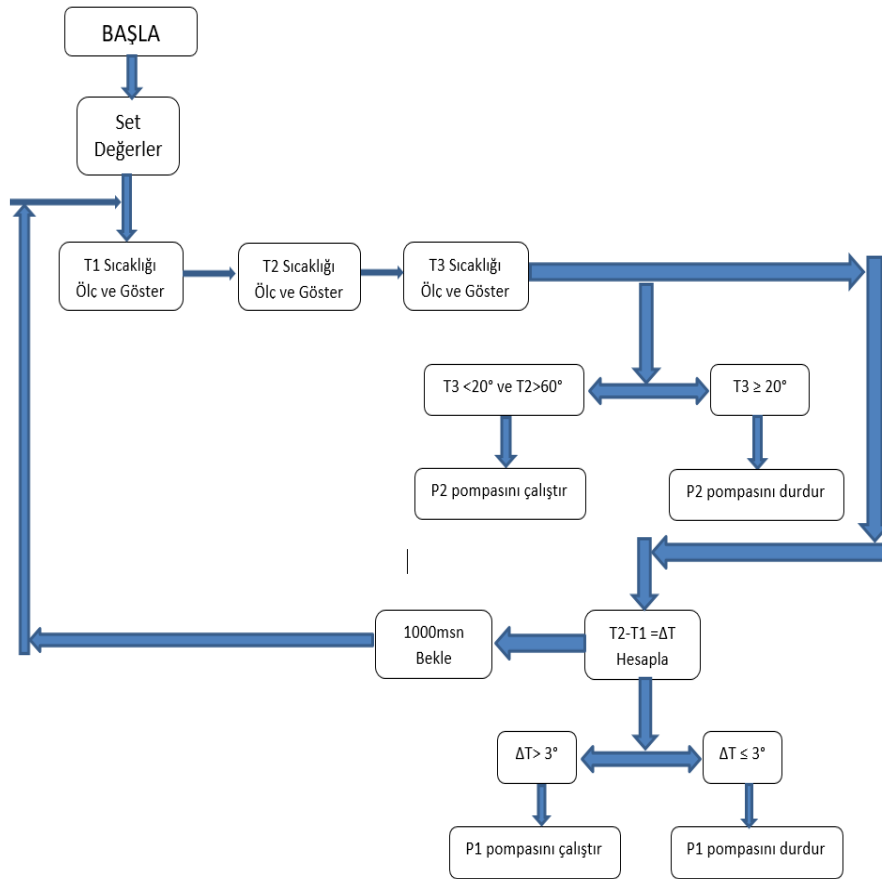


Şekil 4.20. İzmir ve Kütahya için yıllık fotovoltaik panellerden üretilebilecek aylara göre enerji miktarları ve pompaların çalıştırılabilmesi için güneşli saatlerde gerekli elektrik enerjisi miktarları.

4.4. Kontrol Paneli Tasarımı

Daha öncede bahis edildiği gibi güneş kolektörlerinden elde edilen sıcak suyun boylere ve radyatöre ulaştırılması pompalar vasıtası ile yapılmaktadır ve bu pompaların kolektör sıcaklığı, boyler sıcaklığı ve ısıtılacak yerin sıcaklık bilgilerine göre çalıştırılması gerekmektedir. Bu işlemler belirli parametreler içermektedir. Sirkülasyon işlemi yapacak pompaların çalışma süreleri sistem parametreleri ile belirlenmekte ve pompalar bu parametrelere göre kontrol edilerek devreye girip çıkmaları sağlanmaktadır. Buradaki sistem parametreleri iki adet ısıçift ve bir adet LM35 sıcaklık sensöründen alınacak bilgilerle belirlenmektedir. Bu bilgileri kullanan bir algoritma geliştirilerek sistemin kontrol ve izleme mekanizması oluşturulmuştur. Sistemin kontrol mekanizması olarak Arduino uno kartı kullanılarak geliştirilen algoritmayı gerçekleştirerek pompaları yönetecek olan Ek-9 da bulunan program yazılmıştır.

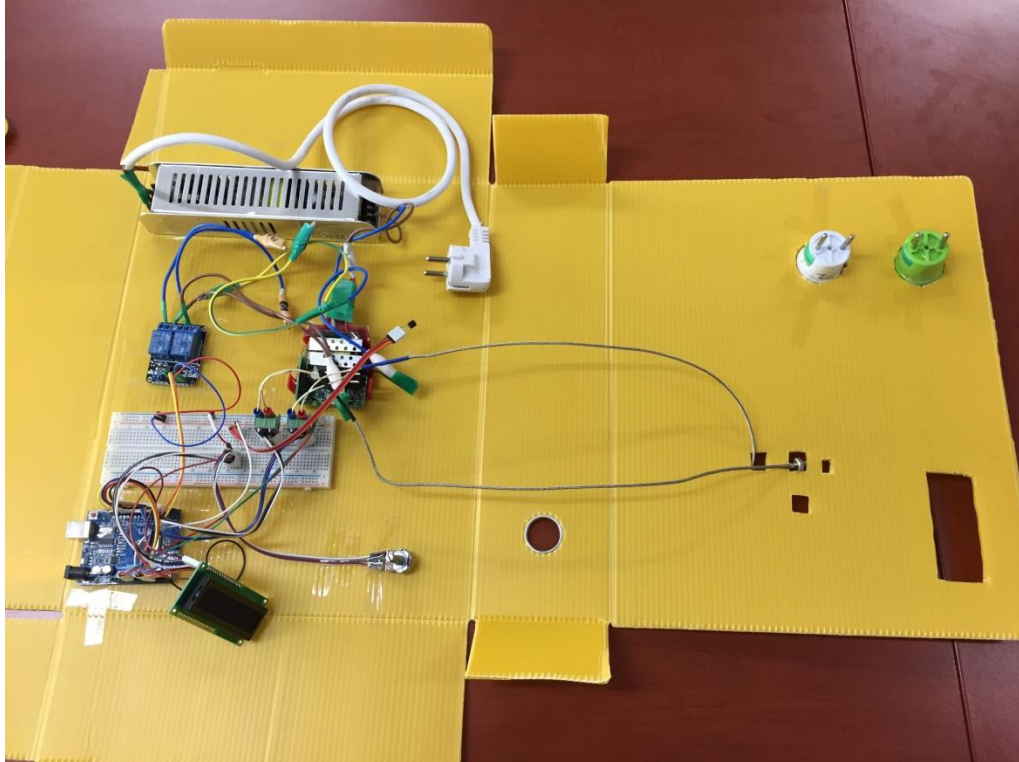
Yazdığımız programın algoritmasına göre, P1 pompasının çalışma parametreleri; güneş kolektöründe bulunan sıcaklık sensörü olan (T1) ısı çifti ve boylerde bulunan sıcaklık sensörü olan (T2) ısı çiftidir. T1 ve T2 arasındaki sıcaklık farkı $T1 - T2 = \Delta T$ hesaplanarak P1 pompasının çalıştırılması ya da durdurulması kararlaştırılmıştır. $\Delta T > 3^\circ$ ise P1 pompası çalıştırılacak eğer $\Delta T \leq 3^\circ$ ise P1 pompası durdurulacaktır. P2 pompasının çalışma parametreleri; ısıtılacak alanda bulunan sıcaklık sensörü olan LM35 (T3) ve boylerde bulunan sıcaklık sensörü olan (T2) ısı çiftidir. $T3 < 20^\circ$ ve $T2 > 60^\circ$ ise P2 pompası çalıştırılacak $T3 \geq 20^\circ$ ise P2 pompası durdurulacaktır. Bu tasarımımda boylerde bulunan sıcaklık sensörü olan (T2) ısı çiftinden alınacak olan sıcaklık değerleri hem P1 pompasının çalışması ve durdurulması için hem de P2 pompasının çalıştırılması ve durdurulması için parametre olarak kullanılmaktadır. Şekil 4.2'de yazdığımız programın algoritması akış diyagramı olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.21. P1 ve P2 pompaları kontrol algoritması.

Kontrol paneli ile sensör ve pompa bağlantıları, devre elemanları ve Arduino uno kartı kullanılarak Şekil 4.3’de görüldüğü gibi gerçekleştirilmiştir. Kontrol paneli denetimi altında çalışması beklenen pompaların yerine röle ile kontrol edilen 220V halojen ampuller kullanılmış ve sistemin güneşli zamanlarda devrede olacağı göz önüne alındığında beslemeleri şebekeden çalışan 150W 12V çıkışlı doğrultucu ve 150W 220V inverter ile yapılmıştır.

Yapmış olduğumuz kontrol panelinin Şekil 4.2’de verilen algoritma ile uyumlu çalışıp çalışmadığının denemesi açısından, sistemde bulunan (T1, T2, T3) noktalarındaki sıcaklık sensörlerine farklı sıcaklıklar uygulanarak test edilmiştir. Yapılan denemelerde panelimizin yazdığımız program ile uyumlu olarak çıkardığımız algoritmanın doğrultusunda çalıştığı görülmüştür.



Şekil 4.22. Kontrol paneli devre şeması.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, güneş enerjisinden sıcak su ve elektrik üretimi ile, bina ısıtması ve sıcak su sağlanması için fotovoltaik panel alanı, güneş kolektör alanı, boyler hacmi ve pompa güçleri hesaplanması için teorik çalışma yapılmıştır. Kolektör, panel, pompa sisteminin verimli çalışması için kontrol paneli ve programlanması yapılarak çalıştırılmıştır. Güneş kolektörleri ve fotovoltaik panel tiplerinin literatürdeki ortalama ısıl verimlerinden hareket edilerek Kütahya İli için metrekare başına ürettikleri enerji grafikleri çıkarılmıştır. Bu grafiklerin Kütahya İli için güneş kolektörleri ya da fotovoltaik paneller ile çalışacaklar için metrekareye güneş kolektörleri ve fotovoltaik panel çeşitlerinin ortalama ne kadar enerji elde edebilecekleri hakkında rehber olacağı düşünülmektedir.

Yapılan teorik çalışmada Kütahya İli için güneşli saatlerde 10m² alanlı yapının ısıtılması, sıcak su sağlanması, kolektör-boyler ve boyler-radyatör arası su sirkülasyonunu sağlayacak pompaların enerji ihtiyaçlarının karşılanması için bölüm 4.1.1. ve 4.1.2. de çıkarılan grafiklerden yararlanarak 9m² si kolektör alanı ve 0,99m² si panel alanı olmak üzere yaklaşık 10m² alana ihtiyaç olduğu hesaplanmıştır. Bu alanın yapının çatısında olabileceği gibi cepheleri de kolektör ve panel yerleştirme amacıyla kullanılabilir. Gerekli alanın sağlanabilmesi için yapının mimarisinin de buna uygun olarak tasarlanması önemli ve üzerinde çalışılması gereken bir konudur.

Kütahya İli için (T_{in}) 60°C olarak belirlendiğinde düzlemsel yüzeyli güneş kolektörlerinden metrekareye yıllık ortalama 2,86kWh/m² güneş ışınımı elde edilebilmektedir. Vakum tüplü güneş kolektörlerinden ise metrekareye yıllık ortalama 2,39kWh/m² güneş ışınımı elde edilebilmektedir. Kütahya İli için (T_{in}) 60°C için düzlemsel yüzeyli güneş kolektörlerinin vakum tüplü güneş kolektörlerinden yıllık güneş ışınımına göre % 19,67 daha verimli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Güneş kolektörlerine ait verim grafikleri karşılaştırıldığında Kütahya şartlarında ve (T_{in}) sıcaklığı 60-90°C arasında kabul edildiğinde brüt kolektör alanına göre düzlemsel yüzeyli güneş kolektörlerinin vakum tüplü güneş kolektörlerinden daha verimli olduğu sonucuna varılmıştır. (T_{in}) sıcaklığı 90°C'den daha yüksek kabul edilecek olursa ve (T_{in}) sıcaklığı artıka vakum tüplü güneş kolektörlerinin verimlerinin daha yüksek olmaya başladığı anlaşılmaktadır. Kolektör tipi seçiminde kolektörlerdeki ortalama sıvı sıcaklığının kaç dereceye kadar kullanılacağı ve kolektörün kullanılacağı yapının iklim özellikleri önemli bir noktadır ve kolektör seçiminde yapılacak ısıtma türüne göre önemli bir kıstas oluşturmaktadır.

Kristal silikon fotovoltaik panellere ait verim grafikleri incelendiğinde; brüt panel alanına göre monokristal silikon panellerin polikristal silikon panellere oranla %10 daha verimli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Buradaki tercih kullanıcının ekonomik beklentilerine ve ürünü ne kadar süre kullanmak istediğine bağlıdır. Fiyatı daha pahalı olan monokristal silikon fotovoltaik paneller daha verimli ve uzun ömürlüdür. İnce film paneller incelendiğinde CdTe ince film fotovoltaik panelleri amorf silikon ince film panellere göre %73 ve CIS ince film panellere göre ise %15 daha verimli olduğu sonucuna varılmıştır. Fotovoltaik panellerin binalarda kullanımında kristal silikon fotovoltaik panellerin yapıların çatılarında, ince film fotovoltaik panellerinse cephe kaplaması gibi eğilebilirlik gerektiren uygulamalarda kullanılması uygundur.

Bu çalışmada, Türkiye geneli iklim şartları düşünüldüğünde Kütahya soğuk sayılabilecek iklime sahip olmasına rağmen güneşli saatlerde güneş enerjisinden sıcak su ve elektrik üretimi ile, bina ısıtması ve sıcak su sağlanması için gerekli enerjinin teorik olarak sadece bina çatısı ve cepheleri kullanılarak sağlanabileceği anlaşılmaktadır. Yapılan çalışmada kolektör ve panel hesabı en soğuk ay olan ocak ayı için yapılmış ve bu ayda güneşli saatler için gerekli enerji elde edilmeye çalışılmıştır. Şekil 4.11 incelendiğinde Ocak, Şubat, Kasım, Aralık gibi soğuk aylar için enerji ihtiyacı sadece güneşli saatlerde karşılanabilirken, aynı kolektör boyutları ile kaloriferlerin yandığı ancak daha ılıman olan aylardan; Mart ayında 1,68sa, Nisan ayında 3,28sa, Mayıs ayında 10,20sa ve Ekim ayında 2,19sa güneşli saatler haricinde ki süre için gerekli ısı enerjisi ihtiyacı karşılanabilmektedir. Bu bilgi doğrultusunda kolektör sayısı ve fotovoltaik panel sayısı artırılarak en azından ılıman aylarda tüm günlük ısınma ve sıcak su ihtiyacının güneşten karşılanabileceği ön görülmektedir. Bu teorik çalışmanın yanında deneysel çalışmaların yapılarak sonuçların onaylanması önemlidir ve gereklidir.

Fotovoltaik panel kullanılan yapılarımızda kaloriferlerin yakılmasının beklenmediği ve ısıtma ihtiyacının olmadığı sadece sıcak su ihtiyacının olduğu aylarda pompalardan bir adetinin çalışacağı göz önüne alındığında, ısıtma ihtiyacının olmadığı aylarda üretilen ortalama elektrik enerjisi ihtiyaç duyulan ortalama elektrik enerjisinin 2,5 katı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Üretilen fazla elektrik enerjisinin enterkonnekte sisteme verilerek elde edilecek gelirin enerji masraflarını düşüreceği ve yapılarımızın yaklaşık sıfır enerjili bina statüsüne yaklaşacağı sonucuna ulaşılabilir.

Bu çalışmada tasarım soğuk sayılabilecek iklim bölgesinde bulunan Kütahya için yapılmış ve aynı tasarımın daha ılıman iklime sahip olan İzmir İli içinde kullanılması

durumunda enerji ihtiyaç ve üretim değerleri hesaplanarak karşılaştırılmıştır. İki ilin aylık ortalama radyasyon değerleri karşılaştırıldığında İzmir'in aylık ortalama radyasyon değeri temmuz ayında azalmakla birlikte ortalama %3 daha fazladır, ancak İzmir'in aylık ortalama güneşli saati kaloriferlerin yakılmasının beklendiği ayların çoğunda Kütahya'nın 2 katına yakındır. İzmir'in ortalama sıcaklığı ise özellikle kaloriferlerin yakılmasının beklendiği aylarda Kütahya'dan 8°C daha fazladır buda $(T_{in} - T_a)$ değerinin azalması anlamına gelmektedir ki bunun sonucunda da İzmir için düzlemsel yüzeyli güneş kolektörlerinin verimi Kütahya'ya göre ortalama %6 daha fazladır. Kütahya'nın saatlik ısı enerjisi ihtiyacı İzmir'e göre ortalama 1200Wh daha fazladır. İki il için aynı sayıda güneş kolektörü güneşli saatlerde ısıtmada kullanılacağı var sayıldığında, her iki ilin aylık ortalama radyasyon değerleri birbirine yakın olmasına rağmen İzmir'in aylık ortalama güneşli saati Kütahya'nın 2 katı iken aynı sayıdaki güneş kolektörü her iki ilde de ısınmayı sağlamaktadır. Bu bilgi doğrultusunda ılıman iklime sahip ve aylık ortalama radyasyon değerleri daha yüksek olan bölgelerde tüm yıl içinde bina ısıtılması ve sıcak su elde edilmesi için gerekli yıllık enerji ihtiyacının karşılanabileceği sonucuna varılabilir. Bu sonucun netlik kazanması için daha ılıman bölgelerin güneşlenme ve güneş radyasyonu değerleri ve meteorolojik sıcaklık verileri kullanılarak teorik ve deneysel çalışmalar yapılması gereklidir.

Her iki il için güneşli saatlerde fotovoltaik panellerden üretilen enerjiler değerlendirildiğinde İzmir'de üretilen enerji yıllık %3,7 daha fazladır. Ancak Şekil 4.19'a bakıldığında aynı sayıdaki fotovoltaik panel Kütahya için güneşli saatlerde pompaların çalışması için gerekli elektrik enerjisini karşılarken İzmir'de karşılamadığı görülmektedir. Bunun sebebi sistem üzerindeki sıcak su akışının pompalar vasıtası ile yapılması ve ısıtma sisteminin güneşli saatlerde çalışmasıdır. Yani İzmir'in güneşli saatlerinin Kütahya'nın 2 katına yakın olması ve bunun sonucunda pompaların daha uzun süre çalışarak daha fazla enerji ihtiyaçlarının olmasıdır.

Sıcak su akışının pompaların sürekli çalıştırılarak değil de belirli şartlar altında çalıştırılarak yapılması ısının daha verimli kullanılmasını ve ısıtmanın daha verimli yapılmasını sağlamaktadır. Bunun yanında pompalarında fotovoltaik panelden elde edilecek enerji ile beslendiği düşünüldüğünde üretilen enerjinin verimli kullanılması ve bu sayede daha az panel alanına ihtiyaç duyulması açısından da pompaların belirli şartlar altında kontrol edilmesi önemli ve gereklidir. Pompalar sürekli değil de belirli şartlar altında çalıştırıldığında İzmir içinde tasarımıımızda bulunana fotovoltaik panel alanının yeterli olabileceği değerlendirilebilir. Budan

dolayı tasarımımızda bulunacak iki adet sirkülasyon pompası için çalışma algoritması geliştirilmiş ve bu algoritmanın uygulanması amacıyla Arduino uno kartı kullanılarak program yazılmış ve istenilen şartlarda pompaların çalıştırılması sağlanmıştır.

Bir yapının mimari tasarımı fotovoltaiik panel ve güneş kolektörlerinin yerleştirileceği yerlerde eğimlerinin Kütahya için yaz-kış kullanımında 39° derece olacak şekilde yapılması ve yapının ihtiyaç duyacağı gerekli ısınma ve sıcak su ihtiyacının hesaplanarak bu tez kapsamında elde edilen grafiklerden yararlanılarak gerekli güneş kolektörü ve fotovoltaiik panellerin yapıya uygulanması ve deneysel verilerin elde edilmesi ileriki çalışmalar için önem arz etmektedir.

Kütahya için yapılacak tasarımın, ülkemizde güneşlenme süreleri ve Güneş radyasyon değerlerinin Kütahya'dan daha yüksek ve daha alçak olan yerler için de yapılması, yapıların ısı ihtiyacını gidermeleri durumunu karşılaştırılmalı olarak tespit edilmesi ve bu tip sistemin ülkemizde hangi bölgelerde hangi oranda enerji ihtiyacını karşıladığının belirlenmesi uygulanabilirliğinin tespiti açısından faydalıdır.

Güneş kolektörleri ve fotovoltaiik paneller kullanılarak yapılacak bir ısıtma sisteminin güneşli saatlerde su sirkülasyonunun sürekli yapılarak harcanan elektrik enerjisi miktarının belirlenmesi ve bu çalışmada tasarlanarak yapılan kontrol panelinin bu ısıtma sistemine uygulanması düşünüldüğünde aynı sürede harcanan elektrik enerjisi miktarının tespit edilmesi ve bu iki sistem arasındaki enerji farkının hesaplanması kontrol panellerinin faydasının ve gerekliliğinin belirlenebilmesi açısından önemlidir.

Yapılmış olan kontrol paneli ana yapısını oluşturan Arduino uno kartı internete bağlanarak uzaktan mobil cihazlar vasıtası ile çalıştırılabilir ve sistem istenilen zamanlarda devreye girmiş olur bu sayede üretilen elektrik enerjisi sistem devre dışında iken yapı enterkonnekte sisteme bağlı ise enterkonnekte sisteme verilerek enerji masraflarının düşürülmesi sağlanabilir. Tasarlanacak sistem paket bir yapı haline getirilerek ticari bir ürüne dönüştürülebilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Abuşka, M. “Güneş Enerjili Su Isıtma Sistem Projelendirmesi” http://akhisarmyo.cbu.edu.tr/db_images/file/gunes-enerjisi-3-1285TR.pdf (Erişim tarihi: 20 Mart 2018)

Ahn, J.G., Kim, J.H. ve Kim, J.T., (2015). A Study on Experimental Performance of Air-Type PV/T Collector with HRV, *Energy Procedia*, 78(2015), 3007-3012.

Al-Waeli, A.H.A., Sopian, K., Kazem, H.A. ve Chaichan, M.T. (2017). Photovoltaic/Thermal (PV/T) Systems: Status and Future Prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77(2017), 109-130.

Amori, K.E. ve Al-Najjar, H.M.T. (2012). Analysis of Thermal and Electrical Performance of a Hybrid (PV/T) Air Based Solar Collector for Iraq. *Applied Energy*, 98(2012), 384-395.

Andersson, M. ve Leppänen, J. (1996). The Photovoltaic Principle. Sick, F. and Erge, T. (Yay. Haz.). *Photovoltaics in Buildings: A Design Handbook for Architects and Engineers* içinde (s. 13-16). London: James & James (Science Publishers) Ltd.

Buker, M.S. ve Riffat, S.B., (2015). Building Integrated Solar Thermal Collectors – A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51(2015), 327-346.

Can, D. (2014). *Isıtma Sistemlerinde Kullanılan Sirkülasyon Pompaları Kontrolünün Enerji Verimliliği Bakımından Analitik İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 128s.

Dike, M.F. (2007). *Devir Daim Pompasının Güneş Pili ile Tahrik Edilerek, Güneş Enerjili Sıcak Su Hazırlama Sisteminin Deneysel İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 83s.

Dinçadam, F. (2008). *Güneş Pilleri ile Sıcak Su Elde Etme, Sokak Aydınlatması ve Güneş Takip Sistemi Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, 70s.

Directive 2010/31/Eu of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the Energy Performance Of Buildings. *Official Journal of the European Union (recast)*, L153(2010), 13-34.

Doğan, İ. (2011). *Güneş Enerjisi Uygulamaları*. Ankara: EMO YAYIN NO: EK/2011/1

Duffie, J.A. ve Beckman, W.A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes* (Dördüncü Baskı). Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.,

Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, *Dünya Enerji Görünümü 2017*, (2017). 5s.

Ege Üniversitesi, “Yenilenebilir Enerji Kaynakları”, <http://eusolar.ege.edu.tr/yenilenebilir-enerji-kaynaklari/> (Erişim tarihi: 28 Şubat 2018)

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Hossain, M.S., Saidur, R., Fayaz, H., Rahim, N.A., Islam, M.R., Ahamed, J.U. ve Rahman, M.M., (2011). Review on solar water heater collector and thermal energy performance of circulating pipe, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(2011), 3801-3812.

International Energy Agency (IEA), Statistics, *Electricity Information: Overview* (2017 Edition). 8s.

Jäger, K., Isabella, O., Smets, A.H.M., Van Swaaij, R.A.C.M.M. ve Zeman, M. (2014). *Solar Energy: Fundamentals, Technology, and Systems*. Delft: Delft University of Technology,

Kiran Naika, B., Varshneya, A., Muthukumara, P. ve Somayajia, C., (2016). Modelling and Performance Analysis of U Type Evacuated Tube Solar Collector Using Different Working Fluids, *Energy Procedia*, 90(2016), 227-237.

Kumar, V., (2003). *Characterization of Large Area Cadmium Telluride Films and Solar Cells Deposited on Moving Substrates by Close Spaced Sublimation*, Graduate Thesis, University of South Florida Department of Electrical Engineering College of Engineering, South Florida, 79s.

Lijnen, K. (2011). *Net-ZEB*, Graduate Thesis, Norwegian University of Science and Technology Faculty of Architecture and Fine Art Department of Architectural Design, History and Technology, Trondheim, 19s.

Lämmle, M., Oliva, A., Hermann, M., Kramer, K., Kramer, W. (2017). PVT collector technologies in solar thermal systems: A systematic assessment of electrical and thermal yields with the novel characteristic temperature approach. *Solar Energy*, 155 (2017), 867-879.

Moss, R.W., Henshall, P., Arya, F., Shire, G.S.F., Hyde, T., Eames, P.C. (2018). Performance and Operational Effectiveness of Evacuated Flat Plate Solar Collectors Compared With Conventional Thermal, PVT and PV Panels. *Applied Energy*, 216(2018), 588-601.

Milli Eğitim Bakanlığı (2007). MEGEP (Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi), *Endüstriyel Otomasyon Teknolojileri-Sıcaklık Ölçümü*, Ankara

Milli Eğitim Bakanlığı (2013a). *Yenilenebilir Enerji Teknolojileri-Doğrultucu ve Evirici Devreleri*, Ankara

Milli Eğitim Bakanlığı (2013b). *Yenilenebilir Enerji Teknolojileri-Yapılarda Güneş Panel Sisteminin Kurulması*, Ankara

Öz, E.S., Özbaş, E. ve Dündar, R. (2007). Vakum Tüplü Güneşli Su Isıtma Sistemi ile Standart Düz Kollektörlü Güneşli Su Isıtma Sistemlerinin Performans ve Verimlerinin Deneysel Olarak Karşılaştırılması. *VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir.

Petela, R. (2010). *Engineering Thermodynamics of Thermal Radiation for Solar Power Utilization*. United States of America: The McGraw-Hill Companies, Inc.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Poppi, S., Sommerfeldt, N., Bales, C., Madani, H. ve Lundqvist, P. (2018). Techno-economic review of solar heat pump systems for residential heating applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81(2018), 22-32.

Sağlam, M. ve Uyar, T.S. (2005, 19-21 Ekim). *Dalga Enerjisi ve Türkiye'nin Dalga Enerjisi Teknik Potansiyeli*. III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyum ve Sergisinde Sunuldu, Mersin.

Shan, F., Tang, F., Cao, L. ve Fang, G. (2014). Performance evaluations and applications of photovoltaic–thermal collectors and systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33(2014), 467-483.

Sotehi, O., Chaker, A. ve Maalouf, C. (2016). Hybrid PV/T water solar collector for net zero energy building and fresh water production: A theoretical approach. *Desalination*, 385(2016), 1-11.

Struckmann, F. (2008). Analysis of a Flat-plate Solar Collector, *Project Report, 2008 MVK160 Heat and Mass Transport*, Lund, Sweden(May 2008).

Tagliabue, L.C., Maistrello, M. ve Del Pero, C. (2012). Solar heating and air-conditioning by GSHP coupled to PV system for a cost effective high energy performance building. *Energy Procedia*, 30(2012). 683-692.

Taşdemir, C. (2015). *Arduino* (8. Baskı). İstanbul: Dikeyksen Yayın Dağıtım.

Texas Instruments (2017). LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors, Dallas, Texas

Virginia Department of Mines, Minerals and Energy, “*Renewable Energy and Other Alternative Energy Sources*”, <https://www.dmme.virginia.gov/DE/LinkDocuments/HandbookAlternativeEnergy.pdf> (Erişim tarihi: 15 Mart 2018)

WWF-Türkiye, “*Kısa Kısa Yenilenebilir Enerji Kaynakları*”, http://www.wwf.org.tr/ne_yapiyoruz/iklim_degisikligi_ve_enerji/yenilenebilirnerji_ve_enerjive_rimlilik/kisakisayenilenebilirenerjikaynaklari/ (Erişim tarihi: 05 Mart 2018)

Yağan, Y.E., Vardar, K. ve Ebeoğlu, M.A., (2018a). Investigation of MPPT Methods Used in PV Systems. *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE)*,13(2), 84-95.

Yağan, Y.E., Vardar, K. ve Ebeoğlu, M.A. (2018b). Modeling and Simulation of PV Systems. *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE)*, 13(2), 01-11.

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, “*Güneş Enerjisi ve Teknolojileri*”, http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx (Erişim tarihi: 10 Haziran 2018a)

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, “*Hidroelektrik Enerjisi Nedir?*”, http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/h_hidrolik_nedir.aspx (Erişim tarihi: 05 Mart 2018b)

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, “*Rüzgar Enerjisi Nedir?*”, http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/ruzgar-ruzgar_enerjisi.aspx (Erişim tarihi: 05 Mart 2018c)

Zöhra, B., (2015). Arduino ile Sensör Uygulamaları, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat, 52s.



EKLER

Ek 1: Kütahya İli İçin 2016 – 2017 Yılları Günlük Güneşlenme Süreleri

Kütahya ili için 2016 yılı günlük güneşlenme süresi (saat).

Γ\ν/Ay	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	4,10	3,40	8,00	10,30	3,70	11,60	9,90	11,40	10,10	8,70	0,60	0,00
2	1,20	2,00	8,00	10,30	9,80	9,80	9,60	9,30	7,00	8,70	5,20	0,00
3	1,30	7,00	3,90	8,50	6,80	11,60	12,20	10,20	10,00	8,10	7,10	6,10
4	0,80	6,70	3,60	10,50	4,60	11,70	9,40	10,30	10,10	8,10	7,40	0,00
5	2,50	3,50	3,00	10,60	6,20	9,10	12,10	10,10	10,40	8,60	3,90	2,00
6	0,00	0,50	3,10	10,80	1,30	9,90	12,10	7,60	7,40	7,90	3,60	5,80
7	0,70	0,50	7,20	9,20	6,70	5,30	12,10	4,90	8,70	5,00	4,60	3,20
8	2,20	2,40	6,00	10,00	9,40	1,60	8,30	11,00	8,80	8,40	4,30	4,20
9	2,10	6,10	8,00	5,00	8,20	0,30	11,70	11,10	7,40	5,00	2,70	3,90
10	5,10	5,80	6,80	3,20	5,40	8,70	12,20	11,00	8,00	5,00	0,00	4,20
11	1,50	6,50	7,30	7,10	9,20	11,90	12,30	6,30	8,10	5,70	5,90	6,20
12	4,60	3,00	7,90	1,10	9,80	12,00	12,20	11,10	8,40	6,20	6,10	6,20
13	6,00	4,00	7,30	0,20	6,00	12,30	12,10	10,50	8,40	7,10	7,00	0,00
14	0,00	3,00	2,70	9,80	11,10	8,00	12,20	0,00	6,30	3,70	1,90	2,80
15	0,30	6,30	0,00	6,90	5,90	5,00	12,00	0,00	9,70	5,60	4,20	0,50
16	2,80	4,50	0,00	8,90	6,70	10,00	11,90	11,00	9,70	6,20	0,00	0,50
17	3,00	5,10	0,30	10,90	11,90	12,30	11,90	11,00	9,50	7,80	0,00	0,80
18	4,70	1,50	9,10	10,80	8,40	12,10	10,80	11,10	9,50	4,60	4,90	0,00
19	0,00	5,40	7,60	10,80	2,70	12,30	10,40	11,00	7,90	0,00	6,70	3,00
20	2,20	4,90	1,60	10,30	11,50	11,80	10,40	11,00	9,70	6,70	6,60	3,80
21	2,00	1,90	4,40	8,30	9,50	12,10	8,70	6,60	4,30	7,60	5,00	2,90
22	0,90	0,80	9,20	6,50	3,40	12,30	2,80	3,90	4,30	7,40	5,60	0,00
23	0,00	7,60	7,40	10,80	2,60	12,30	11,80	9,30	1,10	7,60	5,80	0,70
24	0,00	7,10	1,80	4,20	0,00	12,30	11,50	8,70	8,40	3,60	6,60	0,00
25	2,50	0,30	4,40	7,50	9,00	11,90	11,90	8,70	8,10	0,50	6,50	0,00
26	3,40	2,60	4,20	7,50	10,60	11,80	12,00	5,90	8,80	6,60	6,40	0,00
27	0,00	5,60	0,00	8,10	2,30	9,30	11,90	2,90	8,80	5,50	5,80	0,00
28	1,50	5,80	0,00	9,90	2,10	10,90	10,10	5,80	7,90	0,90	6,40	2,40
29	1,10	5,80	0,10	9,90	2,70	11,10	11,70	5,80	5,40	1,40	3,30	0,00
30	4,80	□	7,00	5,20	7,10	7,70	9,70	7,00	6,60	0,00	0,00	0,00
31	0,40	□	9,70	□	10,80	□	11,30	6,30	□	5,80	□	0,00

Ek 1: Kütahya İli İçin 2016 – 2017 Yılları Günlük Güneşlenme Süreleri (devam)

Kütahya ili için 2017 yılı günlük güneşlenme süresi (saat).

Γ\ v/Ay	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	3,70	4,90	8,00	9,80	4,90	5,40	12,20	11,40	11,10	0,70	7,60	5,70
2	1,30	5,30	0,50	10,20	6,80	6,80	12,20	9,30	11,00	0,00	6,60	2,90
3	2,80	5,70	2,30	10,40	8,00	8,20	12,20	2,30	11,00	8,60	6,20	3,10
4	3,50	4,70	7,90	2,10	9,10	6,60	3,90	0,30	10,70	8,50	6,20	4,70
5	1,00	0,00	8,40	3,40	5,50	3,90	7,90	4,30	6,90	8,50	2,10	3,40
6	5,10	4,00	7,90	3,30	5,10	11,60	9,80	4,20	8,00	8,40	0,00	0,00
7	0,00	2,50	8,40	5,80	8,80	12,10	11,60	9,50	10,50	2,40	2,70	0,80
8	0,00	5,50	2,70	6,70	6,80	4,60	10,80	11,20	10,30	2,10	3,90	4,40
9	1,40	0,00	0,00	2,50	6,00	5,00	12,10	8,90	10,30	7,00	4,90	5,00
10	0,00	0,00	8,30	10,50	4,60	4,00	12,30	8,70	9,90	8,20	6,10	4,00
11	6,30	0,00	4,20	10,00	8,90	4,80	12,00	10,70	10,20	8,10	5,10	4,90
12	0,40	1,00	2,90	0,20	9,50	8,70	12,20	11,10	10,20	8,10	3,80	6,30
13	4,30	6,90	0,10	4,60	9,50	7,40	12,20	11,10	10,30	8,10	6,90	5,70
14	3,70	1,00	0,00	8,50	11,30	11,80	12,00	10,40	10,30	4,70	3,20	2,80
15	0,20	1,80	0,00	4,80	3,30	8,00	11,70	10,10	10,00	7,40	4,10	2,00
16	1,00	1,90	2,00	7,80	9,50	11,00	10,40	5,70	9,60	5,00	6,90	6,30
17	2,20	6,30	0,70	5,60	1,90	11,00	11,30	6,50	9,50	7,80	6,90	4,70
18	5,70	7,70	9,20	4,50	1,00	0,00	4,90	8,00	9,00	7,90	4,90	0,20
19	4,50	6,20	0,80	9,60	0,00	1,90	3,40	11,00	9,30	7,70	1,90	0,00
20	0,00	4,60	5,40	4,10	11,40	3,80	7,80	9,30	9,70	7,60	4,80	3,10
21	0,00	3,90	1,40	0,00	1,90	8,10	9,00	6,90	9,30	7,60	1,40	0,00
22	4,20	1,20	9,20	0,00	7,80	10,50	10,00	4,70	8,20	7,60	2,00	3,10
23	6,60	7,30	9,60	0,00	5,90	12,30	11,90	10,40	7,70	7,60	0,30	0,00
24	2,70	7,90	9,50	8,70	11,00	10,80	11,90	10,60	9,10	1,90	0,50	0,00
25	0,00	7,80	9,80	10,30	9,00	12,30	11,60	11,00	6,30	0,00	4,90	0,10
26	2,40	0,00	7,60	10,70	1,00	12,20	11,50	10,70	3,50	1,20	5,50	4,00
27	3,90	0,60	0,00	11,20	4,70	11,20	11,50	10,90	5,00	6,00	4,00	3,90
28	0,50	7,60	9,20	11,00	0,30	12,00	6,20	9,80	0,60	6,50	2,80	6,00
29	6,70	□	10,40	11,10	2,60	12,20	11,40	9,20	5,10	0,70	4,30	4,00
30	2,40	□	5,50	6,60	5,20	12,20	11,90	0,20	1,60	4,80	1,10	2,50
31	7,00	□	4,50	□	6,90	□	11,80	10,90	□	7,60	□	1,50

Ek 2: İzmir İli İçin 2016 – 2017 Yılları Güneşlenme Süreleri

İzmir ili için 2016 yılı günlük güneşlenme süresi (saat).

Γ\ν/Αψ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	5,90	6,40	7,80	11,10	8,60	11,70	12,30	12,20	12,30	10,90	2,50	0,00
2	8,70	3,70	9,80	11,40	12,00	11,50	12,40	12,50	9,00	10,70	9,80	5,60
3	6,10	9,10	3,40	7,60	3,90	11,70	12,60	12,20	11,50	9,00	9,60	6,90
4	0,00	9,10	10,00	10,50	9,70	11,60	12,30	12,60	11,60	10,20	9,50	4,90
5	5,00	0,70	5,90	10,60	4,30	12,40	12,70	12,40	11,20	10,00	3,20	0,00
6	0,60	0,00	14,60	11,20	11,70	12,40	12,70	11,80	11,20	10,30	5,50	7,90
7	3,00	3,30	9,40	11,00	9,00	10,20	12,70	12,30	8,10	10,70	6,00	8,70
8	0,00	9,40	8,00	10,80	13,10	10,90	10,60	12,50	10,20	10,40	4,90	7,60
9	7,80	9,00	6,40	8,00	12,10	12,80	12,90	12,70	11,20	8,90	0,00	8,60
10	8,60	8,50	1,50	5,60	11,10	12,70	12,70	11,50	10,10	10,50	2,60	8,30
11	6,10	3,20	7,50	7,00	12,50	12,70	12,70	11,60	10,50	8,60	8,10	8,60
12	6,10	3,70	7,50	4,30	11,30	12,30	12,60	12,60	10,80	3,70	8,30	8,40
13	5,00	0,30	2,20	7,50	3,50	12,80	12,60	11,60	10,00	9,20	8,50	3,00
14	5,20	4,20	1,10	11,80	10,50	6,20	12,50	10,60	10,20	7,60	4,10	2,80
15	7,80	2,00	0,00	7,40	3,70	8,40	12,50	12,60	11,40	10,10	6,90	8,60
16	5,40	6,20	0,00	11,40	5,70	12,60	12,50	12,50	11,30	10,00	8,10	7,30
17	0,80	9,50	7,10	12,10	12,60	12,90	12,30	12,70	11,10	8,90	8,50	7,80
18	0,00	2,50	10,70	11,90	12,40	12,00	12,30	12,70	11,20	8,70	9,00	8,40
19	0,30	7,50	8,10	12,00	12,10	11,90	12,10	12,80	10,00	10,30	8,80	8,50
20	8,80	4,80	0,40	11,20	10,70	11,40	12,50	12,30	7,10	9,70	8,70	8,40
21	0,00	8,90	9,30	10,80	11,40	11,30	12,00	10,30	6,20	10,00	8,60	8,40
22	1,90	7,20	10,60	12,60	2,90	12,20	12,10	12,90	8,00	8,20	8,10	1,20
23	8,20	10,20	8,00	12,30	2,10	12,40	12,50	12,20	5,40	8,20	7,10	4,40
24	7,50	9,40	1,50	4,20	9,60	12,20	12,60	12,00	11,10	9,60	7,90	4,60
25	7,60	0,50	3,90	11,20	8,00	12,20	12,50	11,40	10,70	6,80	8,50	8,40
26	8,30	0,80	6,90	11,70	12,10	11,10	12,70	11,70	11,00	9,70	7,10	7,90
27	1,30	4,60	6,80	10,10	11,20	10,10	12,20	11,10	10,20	9,10	7,50	7,40
28	8,80	7,70	7,90	13,10	8,40	11,90	12,30	8,80	8,30	0,50	6,00	8,20
29	8,90	10,30	10,00	13,00	12,40	12,30	12,30	10,40	10,80	3,30	0,00	0,00
30	8,60	□	9,90	5,20	12,10	8,80	12,00	11,70	11,40	7,00	0,70	0,00
31	5,50	□	10,20	□	10,00	□	12,20	12,00	□	8,60	□	2,20

Ek 2: İzmir İli İçin 2016 – 2017 Yılları Günlük Güneşlenme Süreleri (devam)

İzmir ili için 2017 yılı günlük güneşlenme süresi (saat).

Γ\ν/Αψ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	8,20	9,20	7,10	10,70	11,10	12,60	12,30	13,10	12,10	2,10	9,80	4,30
2	8,50	9,10	2,90	11,30	12,00	12,60	12,50	12,60	10,30	10,10	9,40	0,50
3	6,90	0,50	9,70	10,00	11,80	8,80	12,40	12,70	11,60	10,80	9,60	4,10
4	1,60	5,30	10,00	0,00	12,20	2,10	12,10	5,30	10,90	10,80	8,70	1,30
5	2,50	1,70	9,70	10,20	12,80	5,90	12,60	6,20	11,50	10,00	0,30	0,20
6	0,00	2,30	8,70	8,80	11,60	12,00	12,40	11,70	11,40	9,50	8,10	5,60
7	0,60	0,00	6,70	7,40	11,20	11,90	13,00	12,20	11,50	6,30	9,10	8,50
8	6,90	2,40	0,00	10,90	4,90	3,60	13,10	12,00	11,40	7,50	8,60	6,60
9	0,00	7,90	0,40	12,10	7,40	11,60	12,80	12,20	10,60	0,00	7,30	8,40
10	0,00	7,30	1,20	11,70	13,10	13,10	12,70	11,30	10,40	10,10	7,90	1,10
11	6,00	8,50	1,80	9,90	12,40	11,10	12,60	12,10	10,90	9,90	8,40	2,00
12	3,00	8,60	0,00	1,30	8,10	6,60	13,00	11,70	11,10	10,60	9,00	5,30
13	8,60	9,60	4,50	7,80	6,00	10,20	12,70	12,70	11,50	9,80	6,50	3,60
14	1,60	9,80	4,10	12,10	11,50	12,80	12,90	11,50	11,10	10,00	3,00	6,40
15	1,20	7,90	5,40	10,20	12,60	11,50	12,30	12,50	11,10	10,20	7,20	5,70
16	2,70	9,70	6,60	10,90	8,20	12,30	12,60	12,00	11,00	6,20	8,20	7,90
17	0,00	9,60	6,10	1,50	6,10	11,90	12,20	12,20	10,30	9,90	8,10	0,70
18	5,30	6,70	10,70	9,00	4,80	1,00	8,80	11,80	10,80	9,10	5,90	0,00
19	2,10	4,00	3,60	11,80	5,80	9,00	12,00	12,00	10,70	9,50	2,00	0,00
20	2,20	5,00	11,20	3,20	12,60	11,30	12,60	12,20	11,00	10,00	4,00	2,50
21	8,80	1,40	10,90	0,00	10,40	12,90	12,30	10,40	7,60	9,60	2,30	7,30
22	8,40	4,10	7,80	0,00	10,70	12,90	12,40	10,90	10,80	9,90	8,40	3,80
23	5,10	7,20	11,00	11,00	12,60	12,50	12,60	12,00	10,50	8,30	8,40	0,00
24	0,00	3,50	11,10	12,20	12,80	12,50	12,40	12,40	10,90	2,40	8,30	2,60
25	0,00	9,00	11,00	13,10	6,20	12,50	12,30	12,20	6,80	3,60	8,40	7,00
26	2,60	3,50	10,00	12,60	11,40	13,30	12,30	12,20	9,80	8,90	5,60	8,40
27	9,10	0,00	4,90	12,70	4,90	12,30	12,20	12,20	10,00	9,50	5,60	7,40
28	9,10	3,60	11,40	12,60	6,70	12,50	12,10	11,80	10,40	2,50	0,00	1,00
29	9,00	□	10,20	12,40	4,50	12,30	12,80	11,80	6,00	7,40	1,90	3,00
30	6,70	□	9,00	10,00	6,80	12,20	12,80	10,10	5,10	9,40	7,90	0,00
31	9,20	□	0,50	□	12,30	□	12,60	11,80	□	9,80	□	0,80

Ek 3: Kütahya İli için Isı Kaybı Hesapları

Proje Adı	10 m ² tasarım binası															
Yer	Kütahya - Türkiye															
Dış Sıcaklık	-3,3 °C															
Toprak Sıcaklığı	8 °C															
OCAK AYI İÇİN ISI KAYBI HESAP CETVELİ (DETAYLI)																
#	Oda	Yön	Uzunluk	Yükseklik	Duvar Alanı	Çıkarılan Alan	Hesaba Giren Alan	Isı Geçiş Katsayısı	Oda Sıcaklığı	Sıcaklık Farkı	Isı Kaybı	Kat Yükseklik Artırım Katsayısı	Isıtma düzenlilik Katsayısı	İnfiltrasyon	Toplam Isı Kaybı	
			L	H	A1	A2	A	U	°C	D-t	Q				Q _{İS}	
1.KAT																
1	GIRIS	101	10,00 M2								269 W/m2				373 W/m2	
1,1	DIS DUVAR-1	DD1	G	5,00 m.	2,60 m.	13,0 m ²	3,2 m ²	9,8 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	23,3 °C	561 W	0%	-5%	15%	618 W
1,2	DIS DUVAR-1	DD2	K	5,00 m.	2,60 m.	13,0 m ²	0,0 m ²	13,0 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	23,3 °C	743 W	0%	5%	15%	892 W
1,3	DIS DUVAR-1	DD3	D	2,00 m.	2,60 m.	5,2 m ²	0,0 m ²	5,2 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	23,3 °C	297 W	0%	0%	15%	342 W
1,4	DIS DUVAR-1	DD4	B	2,00 m.	2,60 m.	5,2 m ²	0,0 m ²	5,2 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	23,3 °C	297 W	0%	0%	15%	342 W
1,5	PENCERE-1	P1	G	1,00 m.	1,50 m.	1,5 m ²	0,0 m ²	1,5 m ²	4,27 W/m ² hK	20 °C	23,3 °C	149 W	0%	5%	15%	309 W
1,6	KAPI	P1	G	0,80 m.	2,10 m.	1,7 m ²	0,0 m ²	1,7 m ²	4,27 W/m ² hK	20 °C	23,3 °C	167 W	0%	5%	15%	309 W
1,7	TABAN	F						10,0 m ²	1,74 W/m ² hK	20 °C	12 °C	209 W	0%	0%	15%	241 W
1,8	ÇATI	F						10,0 m ²	2,20 W/m ² hK	20 °C	12 °C	263 W	0%	0%	15%	303 W
1,9	TOPLAM	T										2688 W				3734 W

Ek 3: Kütahya İli İçin Isı Kaybı Hesapları (devam)

Proje Adı	10 m ² tasarım binası															
Yer	Kütahya - Türkiye															
Dış Sıcaklık	-2,4 °C															
Toprak Sıcaklığı	8 °C															
ŞUBAT AYI İÇİN ISI KAYBI HESAP CETVELİ (DETAYLI)																
#	Oda	Yön	Uzunluk	Yükseklik	Duvar Alanı	Çıkarılan Alan	Hesaba Giren Alan	Isı Geçiş Katsayısı	Oda Sıcaklığı	Sıcaklık Farkı	Isı Kaybı	Kat Yükseklik Artırım Katsayısı	Isıtma düzenlilik Katsayısı	İnfiltrasyon	Toplam Isı Kaybı	
			L	H	A1	A2	A	U	°C	D-t	Q				Q _{İS}	
1.KAT																
1	GIRIS	101	10,00 M2								260 W/m2				361 W/m2	
1,1	DIS DUVAR-1	DD1	G	5,00 m.	2,60 m.	13,0 m ²	3,2 m ²	9,8 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	22,4 °C	540 W	0%	-5%	15%	594 W
1,2	DIS DUVAR-1	DD2	K	5,00 m.	2,60 m.	13,0 m ²	0,0 m ²	13,0 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	22,4 °C	714 W	0%	5%	15%	857 W
1,3	DIS DUVAR-1	DD3	D	2,00 m.	2,60 m.	5,2 m ²	0,0 m ²	5,2 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	22,4 °C	286 W	0%	0%	15%	329 W
1,4	DIS DUVAR-1	DD4	B	2,00 m.	2,60 m.	5,2 m ²	0,0 m ²	5,2 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	22,4 °C	286 W	0%	0%	15%	329 W
1,5	PENCERE-1	P1	G	1,00 m.	1,50 m.	1,5 m ²	0,0 m ²	1,5 m ²	4,27 W/m ² hK	20 °C	22,4 °C	143 W	0%	5%	15%	297 W
1,6	KAPI	P1	G	0,80 m.	2,10 m.	1,7 m ²	0,0 m ²	1,7 m ²	4,27 W/m ² hK	20 °C	22,4 °C	161 W	0%	5%	15%	297 W
1,7	TABAN	F						10,0 m ²	1,74 W/m ² hK	20 °C	12 °C	209 W	0%	0%	15%	241 W
1,8	ÇATI	F						10,0 m ²	2,20 W/m ² hK	20 °C	12 °C	263 W	0%	0%	15%	303 W
1,9	TOPLAM	T										2603 W				3610 W

Ek 3: Kütahya İli için Isı Kaybı Hesapları (devam)

Proje Adı	10 m ² tasarım binası															
Yer	Kütahya - Türkiye															
Dış Sıcaklık	-0,2 °C															
Toprak Sıcaklığı	8 °C															
MART AYI İÇİN ISI KAYBI HESAP CETVELİ (DETAYLI)																
#	Oda	Yön	Uzunluk	Yükseklik	Duvar Alanı	Çıkarılan Alan	Hesaba Giren Alan	Isı Geçiş Katsayısı	Oda Sıcaklığı	Sıcaklık Farkı	Isı Kaybı	Kat Yükseklik Artırım Katsayısı	Isıtma düzenlilik Katsayısı	İnfiltrasyon	Toplam Isı Kaybı	
			L	H	A1	A2	A	U	°C	D-t	Q				Q _{ıs}	
1.KAT																
1	GIRIS	101	10,00 M2								239 W/m2				331 W/m2	
1,1	DIS DUVAR-1	DD1	G	5,00 m.	2,60 m.	13,0 m ²	3,2 m ²	9,8 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	20,2 °C	487 W	0%	-5%	15%	535 W
1,2	DIS DUVAR-1	DD2	K	5,00 m.	2,60 m.	13,0 m ²	0,0 m ²	13,0 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	20,2 °C	644 W	0%	5%	15%	773 W
1,3	DIS DUVAR-1	DD3	D	2,00 m.	2,60 m.	5,2 m ²	0,0 m ²	5,2 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	20,2 °C	258 W	0%	0%	15%	296 W
1,4	DIS DUVAR-1	DD4	B	2,00 m.	2,60 m.	5,2 m ²	0,0 m ²	5,2 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	20,2 °C	258 W	0%	0%	15%	296 W
1,5	PENCERE-1	P1	G	1,00 m.	1,50 m.	1,5 m ²	0,0 m ²	1,5 m ²	4,27 W/m ² hK	20 °C	20,2 °C	129 W	0%	5%	15%	268 W
1,6	KAPI	P1	G	0,80 m.	2,10 m.	1,7 m ²	0,0 m ²	1,7 m ²	4,27 W/m ² hK	20 °C	20,2 °C	145 W	0%	5%	15%	268 W
1,7	TABAN	F						10,0 m ²	1,74 W/m ² hK	20 °C	12 °C	209 W	0%	0%	15%	241 W
1,8	ÇATI	F						10,0 m ²	2,20 W/m ² hK	20 °C	12 °C	263 W	0%	0%	15%	303 W
1,9	TOPLAM	T										2393 W				3309 W

Ek 3: Kütahya İli için Isı Kaybı Hesapları (devam)

Proje Adı	10 m ² tasarım binası															
Yer	Kütahya - Türkiye															
Dış Sıcaklık	3,8 °C															
Toprak Sıcaklığı	8 °C															
NİSAN AYI İÇİN ISI KAYBI HESAP CETVELİ (DETAYLI)																
#	Oda	Yön	Uzunluk	Yükseklik	Duvar Alanı	Çıkarılan Alan	Hesaba Giren Alan	Isı Geçiş Katsayısı	Oda Sıcaklığı	Sıcaklık Farkı	Isı Kaybı	Kat Yükseklik Artırım Katsayısı	Isıtma düzenlilik Katsayısı	İnfiltrasyon	Toplam Isı Kaybı	
			L	H	A1	A2	A	U	°C	D-t	Q				Q _{İS}	
1.KAT																
1	GIRIS	101	10,00 M2								201 W/m2				276 W/m2	
1,1	DIS DUVAR-1	DD1	G	5,00 m.	2,60 m.	13,0 m ²	3,2 m ²	9,8 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	16,2 °C	390 W	0%	-5%	15%	429 W
1,2	DIS DUVAR-1	DD2	K	5,00 m.	2,60 m.	13,0 m ²	0,0 m ²	13,0 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	16,2 °C	517 W	0%	5%	15%	620 W
1,3	DIS DUVAR-1	DD3	D	2,00 m.	2,60 m.	5,2 m ²	0,0 m ²	5,2 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	16,2 °C	207 W	0%	0%	15%	238 W
1,4	DIS DUVAR-1	DD4	B	2,00 m.	2,60 m.	5,2 m ²	0,0 m ²	5,2 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	16,2 °C	207 W	0%	0%	15%	238 W
1,5	PENCERE-1	P1	G	1,00 m.	1,50 m.	1,5 m ²	0,0 m ²	1,5 m ²	4,27 W/m ² hK	20 °C	16,2 °C	104 W	0%	5%	15%	215 W
1,6	KAPI	P1	G	0,80 m.	2,10 m.	1,7 m ²	0,0 m ²	1,7 m ²	4,27 W/m ² hK	20 °C	16,2 °C	116 W	0%	5%	15%	215 W
1,7	TABAN	F						10,0 m ²	1,74 W/m ² hK	20 °C	12 °C	209 W	0%	0%	15%	241 W
1,8	ÇATI	F						10,0 m ²	2,20 W/m ² hK	20 °C	12 °C	263 W	0%	0%	15%	303 W
1,9	TOPLAM	T										2013 W				2762 W

Ek 3: Kütahya İli İçin Isı Kaybı Hesapları (devam)

Proje Adı	10 m ² tasarım binası															
Yer	Kütahya - Türkiye															
Dış Sıcaklık	7,7 °C															
Toprak Sıcaklığı	8 °C															
MAYIS AYI İÇİN ISI KAYBI HESAP CETVELİ (DETAYLI)																
#	Oda	Yön	Uzunluk	Yükseklik	Duvar Alanı	Çıkarılan Alan	Hesaba Giren Alan	Isı Geçiş Katsayısı	Oda Sıcaklığı	Sıcaklık Farkı	Isı Kaybı	Kat Yükseklik Artırım Katsayısı	Isıtma düzenlilik Katsayısı	İnfiltrasyon	Toplam Isı Kaybı	
			L	H	A1	A2	A	U	°C	D-t	Q				Q _{İS}	
1.KAT																
1	GIRIS	101	10,00 M2								164 W/m2				223 W/m2	
1,1	DIS DUVAR-1	DD1	G	5,00 m.	2,60 m.	13,0 m ²	3,2 m ²	9,8 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	12,3 °C	296 W	0%	-5%	15%	326 W
1,2	DIS DUVAR-1	DD2	K	5,00 m.	2,60 m.	13,0 m ²	0,0 m ²	13,0 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	12,3 °C	392 W	0%	5%	15%	471 W
1,3	DIS DUVAR-1	DD3	D	2,00 m.	2,60 m.	5,2 m ²	0,0 m ²	5,2 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	12,3 °C	157 W	0%	0%	15%	180 W
1,4	DIS DUVAR-1	DD4	B	2,00 m.	2,60 m.	5,2 m ²	0,0 m ²	5,2 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	12,3 °C	157 W	0%	0%	15%	180 W
1,5	PENCERE-1	P1	G	1,00 m.	1,50 m.	1,5 m ²	0,0 m ²	1,5 m ²	4,27 W/m ² hK	20 °C	12,3 °C	79 W	0%	5%	15%	163 W
1,6	KAPI	P1	G	0,80 m.	2,10 m.	1,7 m ²	0,0 m ²	1,7 m ²	4,27 W/m ² hK	20 °C	12,3 °C	88 W	0%	5%	15%	163 W
1,7	TABAN	F						10,0 m ²	1,74 W/m ² hK	20 °C	12 °C	209 W	0%	0%	15%	241 W
1,8	ÇATI	F						10,0 m ²	2,20 W/m ² hK	20 °C	12 °C	263 W	0%	0%	15%	303 W
1,9	TOPLAM	T										1642 W				2228 W

Ek 3: Kütahya İli İçin Isı Kaybı Hesapları (devam)

Proje Adı	10 m ² tasarım binası															
Yer	Kütahya - Türkiye															
Dış Sıcaklık	5,5 °C															
Toprak Sıcaklığı	8 °C															
EKİM AYI İÇİN ISI KAYBI HESAP CETVELİ (DETAYLI)																
#	Oda	Yön	Uzunluk	Yükseklik	Duvar Alanı	Çıkarılan Alan	Hesaba Giren Alan	Isı Geçiş Katsayısı	Oda Sıcaklığı	Sıcaklık Farkı	Isı Kaybı	Kat Yükseklik Artırım Katsayısı	Isıtma düzenlilik Katsayısı	İnfiltrasyon	Toplam Isı Kaybı	
			L	H	A1	A2	A	U	°C	D-t	Q				Q _{İS}	
1.KAT																
1	GIRIS	101	10,00 M2								185 W/m2				253 W/m2	
1,1	DIS DUVAR-1	DD1	G	5,00 m.	2,60 m.	13,0 m ²	3,2 m ²	9,8 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	14,5 °C	349 W	0%	-5%	15%	384 W
1,2	DIS DUVAR-1	DD2	K	5,00 m.	2,60 m.	13,0 m ²	0,0 m ²	13,0 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	14,5 °C	462 W	0%	5%	15%	555 W
1,3	DIS DUVAR-1	DD3	D	2,00 m.	2,60 m.	5,2 m ²	0,0 m ²	5,2 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	14,5 °C	185 W	0%	0%	15%	213 W
1,4	DIS DUVAR-1	DD4	B	2,00 m.	2,60 m.	5,2 m ²	0,0 m ²	5,2 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	14,5 °C	185 W	0%	0%	15%	213 W
1,5	PENCERE-1	P1	G	1,00 m.	1,50 m.	1,5 m ²	0,0 m ²	1,5 m ²	4,27 W/m ² hK	20 °C	14,5 °C	93 W	0%	5%	15%	192 W
1,6	KAPI	P1	G	0,80 m.	2,10 m.	1,7 m ²	0,0 m ²	1,7 m ²	4,27 W/m ² hK	20 °C	14,5 °C	104 W	0%	5%	15%	192 W
1,7	TABAN	F						10,0 m ²	1,74 W/m ² hK	20 °C	12 °C	209 W	0%	0%	15%	241 W
1,8	ÇATI	F						10,0 m ²	2,20 W/m ² hK	20 °C	12 °C	263 W	0%	0%	15%	303 W
1,9	TOPLAM	T										1851 W				2529 W

Ek 3: Kütahya İli İçin Isı Kaybı Hesapları (devam)

Proje Adı	10 m ² tasarım binası															
Yer	Kütahya - Türkiye															
Dış Sıcaklık	1,8 °C															
Toprak Sıcaklığı	8 °C															
KASIM AYI İÇİN ISI KAYBI HESAP CETVELİ (DETAYLI)																
#	Oda	Yön	Uzunluk	Yükseklik	Duvar Alanı	Çıkarılan Alan	Hesaba Giren Alan	Isı Geçiş Katsayısı	Oda Sıcaklığı	Sıcaklık Farkı	Isı Kaybı	Kat Yükseklik Artırım Katsayısı	Isıtma düzenlilik Katsayısı	İnfiltrasyon	Toplam Isı Kaybı	
			L	H	A1	A2	A	U	°C	D-t	Q				Q _{İS}	
1.KAT																
1	GIRIS	101	10,00 M2								220 W/m2				304 W/m2	
1,1	DIS DUVAR-1	DD1	G	5,00 m.	2,60 m.	13,0 m ²	3,2 m ²	9,8 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	18,2 °C	439 W	0%	-5%	15%	482 W
1,2	DIS DUVAR-1	DD2	K	5,00 m.	2,60 m.	13,0 m ²	0,0 m ²	13,0 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	18,2 °C	581 W	0%	5%	15%	697 W
1,3	DIS DUVAR-1	DD3	D	2,00 m.	2,60 m.	5,2 m ²	0,0 m ²	5,2 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	18,2 °C	232 W	0%	0%	15%	267 W
1,4	DIS DUVAR-1	DD4	B	2,00 m.	2,60 m.	5,2 m ²	0,0 m ²	5,2 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	18,2 °C	232 W	0%	0%	15%	267 W
1,5	PENCERE-1	P1	G	1,00 m.	1,50 m.	1,5 m ²	0,0 m ²	1,5 m ²	4,27 W/m ² hK	20 °C	18,2 °C	117 W	0%	5%	15%	241 W
1,6	KAPI	P1	G	0,80 m.	2,10 m.	1,7 m ²	0,0 m ²	1,7 m ²	4,27 W/m ² hK	20 °C	18,2 °C	131 W	0%	5%	15%	241 W
1,7	TABAN	F						10,0 m ²	1,74 W/m ² hK	20 °C	12 °C	209 W	0%	0%	15%	241 W
1,8	ÇATI	F						10,0 m ²	2,20 W/m ² hK	20 °C	12 °C	263 W	0%	0%	15%	303 W
1,9	TOPLAM	T										2203 W				3035 W

Ek 3: Kütahya İli İçin Isı Kaybı Hesapları (devam)

Proje Adı	10 m ² tasarım binası															
Yer	Kütahya - Türkiye															
Dış Sıcaklık	-1,2 °C															
Toprak Sıcaklığı	8 °C															
ARALIK AYI İÇİN ISI KAYBI HESAP CETVELİ (DETAYLI)																
#	Oda	Yön	Uzunluk	Yükseklik	Duvar Alanı	Çıkarılan Alan	Hesaba Giren Alan	Isı Geçiş Katsayısı	Oda Sıcaklığı	Sıcaklık Farkı	Isı Kaybı	Kat Yükseklik Artırım Katsayısı	Isıtma düzenlilik Katsayısı	İnfiltrasyon	Toplam Isı Kaybı	
			L	H	A1	A2	A	U	°C	D-t	Q				Q _{İS}	
1.KAT																
1	GIRIS	101	10,00 M2								249 W/m2				345 W/m2	
1,1	DIS DUVAR-1	DD1	G	5,00 m.	2,60 m.	13,0 m ²	3,2 m ²	9,8 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	21,2 °C	511 W	0%	-5%	15%	562 W
1,2	DIS DUVAR-1	DD2	K	5,00 m.	2,60 m.	13,0 m ²	0,0 m ²	13,0 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	21,2 °C	676 W	0%	5%	15%	811 W
1,3	DIS DUVAR-1	DD3	D	2,00 m.	2,60 m.	5,2 m ²	0,0 m ²	5,2 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	21,2 °C	270 W	0%	0%	15%	311 W
1,4	DIS DUVAR-1	DD4	B	2,00 m.	2,60 m.	5,2 m ²	0,0 m ²	5,2 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	21,2 °C	270 W	0%	0%	15%	311 W
1,5	PENCERE-1	P1	G	1,00 m.	1,50 m.	1,5 m ²	0,0 m ²	1,5 m ²	4,27 W/m ² hK	20 °C	21,2 °C	136 W	0%	5%	15%	281 W
1,6	KAPI	P1	G	0,80 m.	2,10 m.	1,7 m ²	0,0 m ²	1,7 m ²	4,27 W/m ² hK	20 °C	21,2 °C	152 W	0%	5%	15%	281 W
1,7	TABAN	F						10,0 m ²	1,74 W/m ² hK	20 °C	12 °C	209 W	0%	0%	15%	241 W
1,8	ÇATI	F						10,0 m ²	2,20 W/m ² hK	20 °C	12 °C	263 W	0%	0%	15%	303 W
1,9	TOPLAM	T										2488 W				3446 W

Ek 4: İzmir İli İçin Isı Kaybı Hesapları

Proje Adı	10 m ² tasarım binası															
Yer	İzmir - Türkiye															
Dış Sıcaklık	5,7 °C															
Toprak Sıcaklığı	8 °C															
OCAK AYI İÇİN ISI KAYBI HESAP CETVELİ (DETAYLI)																
#	Oda	Yön	Uzunluk	Yükseklik	Duvar Alanı	Cıkarılan Alan	Hesaba Giren Alan	Isı Geçiş Katsayısı	Oda Sıcaklığı	Sıcaklık Farkı	Isı Kaybı	Kat Yükseklik Artırım Katsayısı	Isıtma düzenlilik Katsayısı	İnfiltrasyon	Toplam Isı Kaybı	
			L	H	A1	A2	A	U	°C	D-t	Q				Q_{ıs}	
1.KAT																
1	GIRIS	101	10,00 M2								183 W/m2				250 W/m2	
1,1	DIS DUVAR-1	DD1	G	5,00 m.	2,60 m.	13,0 m ²	3,2 m ²	9,8 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	14,3 °C	345 W	0%	-5%	15%	379 W
1,2	DIS DUVAR-1	DD2	K	5,00 m.	2,60 m.	13,0 m ²	0,0 m ²	13,0 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	14,3 °C	456 W	0%	5%	15%	547 W
1,3	DIS DUVAR-1	DD3	D	2,00 m.	2,60 m.	5,2 m ²	0,0 m ²	5,2 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	14,3 °C	182 W	0%	0%	15%	210 W
1,4	DIS DUVAR-1	DD4	B	2,00 m.	2,60 m.	5,2 m ²	0,0 m ²	5,2 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	14,3 °C	182 W	0%	0%	15%	210 W
1,5	PENCERE-1	P1	G	1,00 m.	1,50 m.	1,5 m ²	0,0 m ²	1,5 m ²	4,27 W/m ² hK	20 °C	14,3 °C	92 W	0%	5%	15%	189 W 299 W
1,6	KAPI	P1	G	0,80 m.	2,10 m.	1,7 m ²	0,0 m ²	1,7 m ²	4,27 W/m ² hK	20 °C	14,3 °C	103 W	0%	5%	15%	189 W 313 W
1,7	TABAN	F						10,0 m ²	1,74 W/m ² hK	20 °C	12 °C	209 W	0%	0%	15%	241 W
1,8	ÇATI	F						10,0 m ²	2,20 W/m ² hK	20 °C	12 °C	263 W	0%	0%	15%	303 W
1,9	TOPLAM	T										1832 W				2501 W

Ek 4: İzmir İli İçin Isı Kaybı Hesapları (devam)

Proje Adı		10 m ² tasarım binası														
Yer		İzmir - Türkiye														
Dış Sıcaklık		6,1 °C														
Toprak Sıcaklığı		8 °C														
ŞUBAT AYI İÇİN ISI KAYBI HESAP CETVELİ (DETAYLI)																
#	Oda	Yön	Uzunluk	Yükseklik	Duvar Alanı	Çıkarılan Alan	Hesaba Giren Alan	Isı Geçiş Katsayısı	Oda Sıcaklığı	Sıcaklık Farkı	Isı Kaybı	Kat Yükseklik Artırım Katsayısı	Isıtma düzenlilik Katsayısı	İnfiltrasyon	Toplam Isı Kaybı	
			L	H	A1	A2	A	U	°C	D-t	Q				Q _{İS}	
1.KAT																
1 GIRIS		101	10,00 M2								179 W/m2				245 W/m2	
1,1	DIS DUVAR-1	DD1	G	5,00 m.	2,60 m.	13,0 m ²	3,2 m ²	9,8 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	13,9 °C	335 W	0%	-5%	15%	368 W
1,2	DIS DUVAR-1	DD2	K	5,00 m.	2,60 m.	13,0 m ²	0,0 m ²	13,0 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	13,9 °C	443 W	0%	5%	15%	532 W
1,3	DIS DUVAR-1	DD3	D	2,00 m.	2,60 m.	5,2 m ²	0,0 m ²	5,2 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	13,9 °C	177 W	0%	0%	15%	204 W
1,4	DIS DUVAR-1	DD4	B	2,00 m.	2,60 m.	5,2 m ²	0,0 m ²	5,2 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	13,9 °C	177 W	0%	0%	15%	204 W
1,5	PENCERE-1	P1	G	1,00 m.	1,50 m.	1,5 m ²	0,0 m ²	1,5 m ²	4,27 W/m ² hK	20 °C	13,9 °C	89 W	0%	5%	15%	184 W
1,6	KAPI	P1	G	0,80 m.	2,10 m.	1,7 m ²	0,0 m ²	1,7 m ²	4,27 W/m ² hK	20 °C	13,9 °C	100 W	0%	5%	15%	184 W
1,7	TABAN	F						10,0 m ²	1,74 W/m ² hK	20 °C	12 °C	209 W	0%	0%	15%	241 W
1,8	ÇATI	F						10,0 m ²	2,20 W/m ² hK	20 °C	12 °C	263 W	0%	0%	15%	303 W
1,9	TOPLAM	T										1794 W				2447 W

Ek 4: İzmir İli İçin Isı Kaybı Hesapları (devam)

Proje Adı	10 m ² tasarım binası															
Yer	İzmir - Türkiye															
Dış Sıcaklık	7,5 °C															
Toprak Sıcaklığı	8 °C															
MART AYI İÇİN ISI KAYBI HESAP CETVELİ (DETAYLI)																
#	Oda	Yön	Uzunluk	Yükseklik	Duvar Alanı	Çıkarılan Alan	Hesaba Giren Alan	Isı Geçiş Katsayısı	Oda Sıcaklığı	Sıcaklık Farkı	Isı Kaybı	Kat Yükseklik Artırım Katsayısı	Isıtma düzenlilik Katsayısı	İnfiltrasyon	Toplam Isı Kaybı	
			L	H	A1	A2	A	U	°C	D-t	Q				Q _{İS}	
1.KAT																
1	GIRIS	101	10,00 M2								166 W/m2				225 W/m2	
1,1	DIS DUVAR-1	DD1	G	5,00 m.	2,60 m.	13,0 m ²	3,2 m ²	9,8 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	12,5 °C	301 W	0%	-5%	15%	331 W
1,2	DIS DUVAR-1	DD2	K	5,00 m.	2,60 m.	13,0 m ²	0,0 m ²	13,0 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	12,5 °C	399 W	0%	5%	15%	478 W
1,3	DIS DUVAR-1	DD3	D	2,00 m.	2,60 m.	5,2 m ²	0,0 m ²	5,2 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	12,5 °C	159 W	0%	0%	15%	183 W
1,4	DIS DUVAR-1	DD4	B	2,00 m.	2,60 m.	5,2 m ²	0,0 m ²	5,2 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	12,5 °C	159 W	0%	0%	15%	183 W
1,5	PENCERE-1	P1	G	1,00 m.	1,50 m.	1,5 m ²	0,0 m ²	1,5 m ²	4,27 W/m ² hK	20 °C	12,5 °C	80 W	0%	5%	15%	166 W
1,6	KAPI	P1	G	0,80 m.	2,10 m.	1,7 m ²	0,0 m ²	1,7 m ²	4,27 W/m ² hK	20 °C	12,5 °C	90 W	0%	5%	15%	166 W
1,7	TABAN	F						10,0 m ²	1,74 W/m ² hK	20 °C	12 °C	209 W	0%	0%	15%	241 W
1,8	ÇATI	F						10,0 m ²	2,20 W/m ² hK	20 °C	12 °C	263 W	0%	0%	15%	303 W
1,9	TOPLAM	T										1661 W				2255 W

Ek 4: İzmir İli İçin Isı Kaybı Hesapları (devam)

Proje Adı	10 m ² tasarım binası															
Yer	İzmir - Türkiye															
Dış Sıcaklık	10,6 °C															
Toprak Sıcaklığı	8 °C															
KASIM AYI İÇİN ISI KAYBI HESAP CETVELİ (DETAYLI)																
#	Oda	Yön	Uzunluk	Yükseklik	Duvar Alanı	Çıkarılan Alan	Hesaba Giren Alan	Isı Geçiş Katsayısı	Oda Sıcaklığı	Sıcaklık Farkı	Isı Kaybı	Kat Yükseklik Artırım Katsayısı	Isıtma düzenlilik Katsayısı	İnfiltrasyon	Toplam Isı Kaybı	
			L	H	A1	A2	A	U	°C	D-t	Q				Q _{İS}	
1.KAT																
1	GIRIS	101	10,00 M2								137 W/m2				183 W/m2	
1,1	DIS DUVAR-1	DD1	G	5,00 m.	2,60 m.	13,0 m ²	3,2 m ²	9,8 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	9,4 °C	226 W	0%	-5%	15%	249 W
1,2	DIS DUVAR-1	DD2	K	5,00 m.	2,60 m.	13,0 m ²	0,0 m ²	13,0 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	9,4 °C	300 W	0%	5%	15%	360 W
1,3	DIS DUVAR-1	DD3	D	2,00 m.	2,60 m.	5,2 m ²	0,0 m ²	5,2 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	9,4 °C	120 W	0%	0%	15%	138 W
1,4	DIS DUVAR-1	DD4	B	2,00 m.	2,60 m.	5,2 m ²	0,0 m ²	5,2 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	9,4 °C	120 W	0%	0%	15%	138 W
1,5	PENCERE-1	P1	G	1,00 m.	1,50 m.	1,5 m ²	0,0 m ²	1,5 m ²	4,27 W/m ² hK	20 °C	9,4 °C	60 W	0%	5%	15%	125 W
1,6	KAPI	P1	G	0,80 m.	2,10 m.	1,7 m ²	0,0 m ²	1,7 m ²	4,27 W/m ² hK	20 °C	9,4 °C	67 W	0%	5%	15%	125 W
1,7	TABAN	F						10,0 m ²	1,74 W/m ² hK	20 °C	12 °C	209 W	0%	0%	15%	241 W
1,8	ÇATI	F						10,0 m ²	2,20 W/m ² hK	20 °C	12 °C	263 W	0%	0%	15%	303 W
1,9	TOPLAM	T										1366 W				1831 W

Ek 4: İzmir İli İçin Isı Kaybı Hesapları (devam)

Proje Adı	10 m ² tasarım binası															
Yer	İzmir - Türkiye															
Dış Sıcaklık	7,5 °C															
Toprak Sıcaklığı	8 °C															
ARALIK AYI İÇİN ISI KAYBI HESAP CETVELİ (DETAYLI)																
#	Oda	Yön	Uzunluk	Yükseklik	Duvar Alanı	Çıkarılan Alan	Hesaba Giren Alan	Isı Geçiş Katsayısı	Oda Sıcaklığı	Sıcaklık Farkı	Isı Kaybı	Kat Yükseklik Artırım Katsayısı	Isıtma düzenlilik Katsayısı	İnfiltrasyon	Toplam Isı Kaybı	
			L	H	A1	A2	A	U	°C	D-t	Q				Q _{ıs}	
1.KAT																
1	GIRIS	101	10,00 M2								166 W/m2				225 W/m2	
1,1	DIS DUVAR-1	DD1	G	5,00 m.	2,60 m.	13,0 m ²	3,2 m ²	9,8 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	12,5 °C	301 W	0%	-5%	15%	331 W
1,2	DIS DUVAR-1	DD2	K	5,00 m.	2,60 m.	13,0 m ²	0,0 m ²	13,0 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	12,5 °C	399 W	0%	5%	15%	478 W
1,3	DIS DUVAR-1	DD3	D	2,00 m.	2,60 m.	5,2 m ²	0,0 m ²	5,2 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	12,5 °C	159 W	0%	0%	15%	183 W
1,4	DIS DUVAR-1	DD4	B	2,00 m.	2,60 m.	5,2 m ²	0,0 m ²	5,2 m ²	2,45 W/m ² hK	20 °C	12,5 °C	159 W	0%	0%	15%	183 W
1,5	PENCERE-1	P1	G	1,00 m.	1,50 m.	1,5 m ²	0,0 m ²	1,5 m ²	4,27 W/m ² hK	20 °C	12,5 °C	80 W	0%	5%	15%	166 W
1,6	KAPI	P1	G	0,80 m.	2,10 m.	1,7 m ²	0,0 m ²	1,7 m ²	4,27 W/m ² hK	20 °C	12,5 °C	90 W	0%	5%	15%	166 W
1,7	TABAN	F						10,0 m ²	1,74 W/m ² hK	20 °C	12 °C	209 W	0%	0%	15%	241 W
1,8	ÇATI	F						10,0 m ²	2,20 W/m ² hK	20 °C	12 °C	263 W	0%	0%	15%	303 W
1,9	TOPLAM	T										1661 W				2255 W

Ek 5: Ezinc Firması Düzlemsel Yüzeyle Güneş Kolektörü Kataloğu

STANDARTLINE S USB 8 GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜ



Standartline S USB 8 Güneş Kolektörü kasa ve cam çitası profilleri ALMgSi 0.5 (6063) kalite alüminyumdan üretilmiştir. 8 veya 12 mm dış çaplı bakır boru ultrasonik kaynak yöntemi ile birleştirilmesi ile imal edilir. Kanatlar tarafından emilen güneş enerjisinin maksimum oranda boru içerisinde dolaşan suya iletilmesi sağlanır



Teknik Bilgiler

Panel: Bakır borulu, Bakır kanatlı selektif yüzeyle.

Cam: Düz Cam veya Solar Prizmatik Cam

Kasa: Elektrostatik toz boyalı kasa

İzolasyon: Monoblok Poliüretan ilave Camyünü

Özellikler		
Çeşit	Standartline S USB 8	
Özellik	Birim	Değerler
Ölçüler (boy x en x yükseklik)	mm	930x1930x87,5
Brüt Alan	m ²	1,8
Net Alan	m ²	1,6
Cam kalınlığı	mm	4
Cam malzemesi		Prizmatik Cam ve Düz Cam
Boru Malzemesi		Bakır
Boru çapı	mm	Ø 12
Boru sayısı	adet	8
Manifold malzemesi		Bakır
Manifold çapı	mm	Ø 25
Panel Kaynak Tipi		Ultrasonik Kaynak
Panel Yüzey Malzemesi		Siyah Boyalı Bakır boru - Bakır Kanat
Panel Yüzey absorpsiyon		0,81±0,02
Panel Yüzey emisyon		0,05±0,02
Boş kolektör ağırlığı	kg	30
Kasa malzemesi		Elektrostatik Toz Boyalı Bakır Profil
İzolasyon malzemesi		Monoblok Poliüretan ilave Camyünü
İzolasyon kalınlığı	mm	25
Panel sıvı hacmi	lt	3,81
Sistem sıvısı		Antifiriz
Max çalışma basıncı	bar	9
Conta malzemesi		EPDM
Kollektör Isıl performansı	%	72
Ürün kodu		31 201 505 10



Ek 6: Anages Firması Çift Serpantinli Boyler Kataloğu



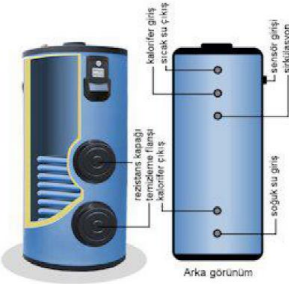
Serpantinli Emaye Boyler

Son teknolojiyle üretilen Anages emaye boylerin içi çift kat titanyum katkılı emaye kaplanarak daha hijyenik olması sağlanmış ve dayanıklılığı artırılmıştır. İlave olarak uygulanan magnezyum anot ile korozyona ve kireçlenmeye karşı ekstra bir çözüm sunulmuştur. Anages boylerin bütün çevresini kaplayan poliüretan ile mükemmel bir izolasyon sağlanmıştır. Şık deri kılıf ise hem izolasyona hem de modern görünümüne ekstra katkı sağlar.

Farklı ihtiyaçlara göre tasarlanan Anages emaye boylerleri ev, villa, otel, restoran, hastane gibi sıcak suya ihtiyaç duyulan her noktada kullanabilirsiniz.

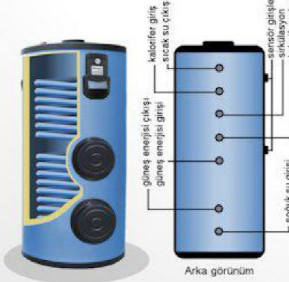


TEK SERPANTİNLİ BOYLER BOYUT TABLOSU



MAMUL ADI	Tek Serpantinli Boyler 100	Tek Serpantinli Boyler 150	Tek Serpantinli Boyler 200	Tek Serpantinli Boyler 250	Tek Serpantinli Boyler 350	Tek Serpantinli Boyler 500	Tek Serpantinli Boyler 750	Tek Serpantinli Boyler 1000	Tek Serpantinli Boyler 1500	Tek Serpantinli Boyler 2000	Tek Serpantinli Boyler 2500	Tek Serpantinli Boyler 3000
MAMUL KODU	AB-KTS 100	AB-KTS 150	AB-KTS 200	AB-KTS 250	AB-KTS 350	AB-KTS 500	AB-KTS 750	AB-KTS 1000	AB-KTS 1500	AB-KTS 2000	AB-KTS 2500	AB-KTS 3000
KAPASİTE	Lt 100	150	200	250	350	500	750	1000	1500	2000	2500	3000
ISITMA YÜZEYİ	m ² 0,57	0,97	1,18	1,32	1,45	2,20	2,76	3,04	4,15	5,75	7,00	7,51
ÇAP (EN)	mm 550	550	550	550	700	700	900	900	1250	1250	1470	1470
BOY	mm 970	1220	1470	1720	1420	1910	1630	2000	2100	2500	2200	2520
AĞIRLIK	kg 58	80	99	110	128	176	260	290	494	572	789	845
ÜRETKENLİK	lt/h 720	1400	1800	1990	2200	2520	2750	2900	3410	3800	5010	5400
ISITICI GİRİŞÇIKIŞ	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"
KULLANMA SUYU	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	2"	2"	2"	2"
SİRKULASYON	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"
İŞLETME BAS. Max	bar 10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
İZOLASYON	Poliüretan	Poliüretan	Poliüretan	Poliüretan	Poliüretan	Poliüretan	Poliüretan	Poliüretan	Poliüretan	Poliüretan	Poliüretan	Poliüretan

ÇİFT SERPANTİNLİ BOYLER BOYUT TABLOSU



MAMUL ADI	Çift Serpantinli Boyler 150	Çift Serpantinli Boyler 200	Çift Serpantinli Boyler 250	Çift Serpantinli Boyler 350	Çift Serpantinli Boyler 500	Çift Serpantinli Boyler 750	Çift Serpantinli Boyler 1000	Çift Serpantinli Boyler 1500	Çift Serpantinli Boyler 2000	Çift Serpantinli Boyler 2500	Çift Serpantinli Boyler 3000
MAMUL KODU	AB-KCS 150	AB-KCS 200	AB-KCS 250	AB-KCS 350	AB-ECS 500	AB-KCS 750	AB-KCS 1000	AB-KCS 1500	AB-KCS 2000	AB-KCS 2500	AB-KCS 3000
KAPASİTE	Lt 150	200	250	350	500	750	1000	1500	2000	2500	3000
ISITMA YÜZEYİ	m ² 0,57	0,70	0,83	1,00	1,40	2,48	2,70	2,10	2,45	2,80	3,35
ISITMA YÜZEYİ (G.ENERJİSİ)	m ² 0,70	0,87	1,10	1,25	2,00	2,76	3,04	3,75	4,90	6,50	7,05
ÇAP (EN)	mm 550	550	550	700	700	900	900	1250	1250	1470	1470
BOY	mm 1220	1470	1720	1420	1910	1630	2000	2100	2500	2120	2520
AĞIRLIK	kg 86	106	120	142	199	300	330	520	590	820	870
ÜRETKENLİK	lt/h 760	1000	1150	1400	1760	1940	1900	2180	2460	3310	3620
ISITICI GİRİŞÇIKIŞ	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"
KULLANMA SUYU GİRİŞÇIKIŞ	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	2"	2"	2"	2"
SİRKULASYON	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"
İŞLETME BASINCI (Max)	bar 10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
İZOLASYON	Poliüretan	Poliüretan	Poliüretan	Poliüretan	Poliüretan	Poliüretan	Poliüretan	Poliüretan	Poliüretan	Poliüretan	Poliüretan

- Her iki tablodaki üretkenlik verileri 20 °C oda sıcaklığı soğuk su girişi 10 °C sıcak su çıkışı 45 °C ısıtıcı akışkan 90 °C değerler baz alınarak yapılmıştır.
- Tek ve çift serpantinli olarak üretilen Anages boylerlerini güneş enerjisi ile de entegre olarak kullanmak mümkündür.

UYARI : Ürünlerin garanti kapsamına girebilmesi için emniyet ventili ve basınç düşürücü kullanılmamalıdır !

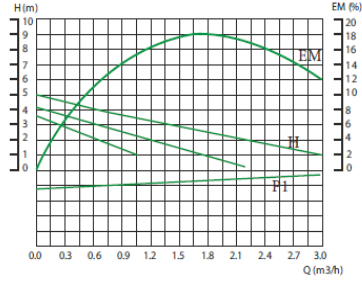
Ek 7: Nova Pompa Firması Sirkülasyon Pompası Kataloğu



www.novapompa.com.tr

RS 25/4 G

MONOFAZE



Motor

Koruma Seviyesi: IP 44 • Yalıtım Sınıfı: F

Malzemeler

Pompa Gövdesi: Döküm • Pompa Çarkı: PP
Pompa Şaftı: Seramik • Rulmanlar: Seramik

MODEL	GÜÇ (W)	GİRİŞ / ÇIKIŞ
RS 25/4 G	72 / 53 / 38	1 ½"
MAX DEBİ (m³/h)	MAX BASINÇ (mss)	Fiyat (Euro)
3 / 2,16 / 1,08	4,5 / 4 / 3	45.00 €

Pompa Bağlantı Rekor Seti 1": 4.20 €

Kazan Kapasitesi: 20.000 kcal/h

Bağlantı Uzunluğu: 130 mm

Uygun Sınırlar

Sıcak Su Su/glikol max.karışım oranı: 1:1

Performans

Akışkan Sıcaklığı: -10 C ile +110 C arası.
Maksimum işletme basıncı: 10 bar (1000 kpa).

Ek 8: Tommatech Firması Polikristal Silikon Fotovoltaik Panel Kataloğu

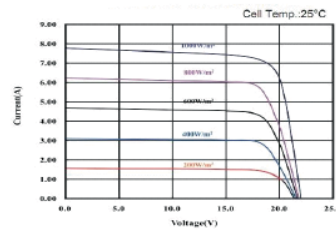
CWT-120-155-36P POLYCRYSTALLINE PHOTOVOLTAIC MODULES



CE

- 10 Year Manufacturing Warranty
- 25 Year transferrable power output warranty, 5 years 95%, 12 years 90%, 18 years 85%, 25 years 80%
- Modules certified by TUV to with stand high level of wind loads (2400 Pa) and snow loads (5400 Pa)
- Anodized Aluminum Frame

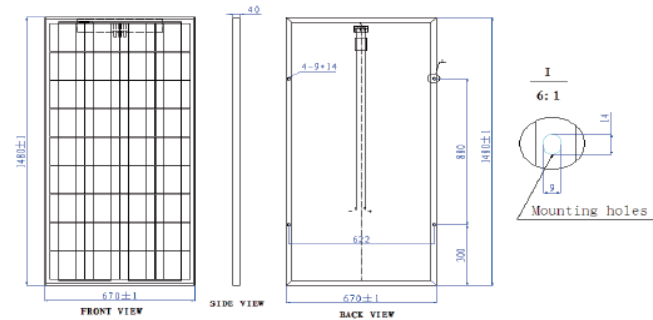
Model No			CWT-120-36P	CWT-130-36P	CWT-135-36P	CWT-145-36P	CWT-150-36P	CWT-155-36P	
Rated Maximum Power	Pmax	Wp	120Wp	130Wp	135Wp	145Wp	150Wp	155Wp	
Power Tolerance		%		-+3	-+3	-+3	-+3	-+3	
Maximum Power Voltage	Vmp	V	17.2	17.2	17.4	18.1	18.4	18.6	
Maximum Power Current	Imp	A	6.98	7.56	7.76	8.00	8.17	8.34	
Open Circuit Voltage	Voc	V	21.6	21.8	21.9	21.6	21.8	22.0	
Short Circuit Current	Isc	A	7.70	7.85	8.00	8.51*	8.71	8.39	
Maximum System Voltage	VDC	V				1000			
Encaps. Solar Cell Efficiency	η_c	%	14.12	15.30	15.89	17.06	17.65	18.24	
Module Efficiency	η_m	%	12.10	13.11	13.61	14.62	15.13	15.63	
Solar Cell and Configuration			MC4 Connector IP65 water proof Junction Box, 12AWG TUV certificated Solar Cable						
Temperature Coef. of Power		%/°C				-0.5 W			
Temperature Coef. of Voc		%/°C				-0.35 V			
Temperature Coef. of Isc		%/°C				-0.06 A			
Operating Temperature		°C				-45 ~ +85			



PACKING

26 pcs per carton and one carton per pallet
434 pcs per 20 ft cubic container
930 pcs per 40 ft cubic container

Mechanical Charecteristics (1480 x 670 x 40 mm)



Ek 9: Pompalar İçin Kontrol Yazılımı

```
#include <max6675.h>
```

```
#include <LiquidCrystal.h>
```

```
#include <Wire.h>
```

```
int a=0;
```

```
int b=0;
```

```
int farka =0;
```

```
int farkb =0;
```

```
int layer[2]={A1,A2};
```

```
int lm35Pin = A0;
```

```
int gelen_veri = 0;
```

```
float sicaklik = 0;
```

```
float voltaj_deger = 0;
```

```
int thermo_bir_DO = 5;
```

```
int thermo_bir_CS = 6;
```

```
int thermo_bir_CLK = 7;
```

```
int thermo_iki_DO = 2;
```

```
int thermo_iki_CS = 3;
```

```
int thermo_iki_CLK = 4;
```

```
MAX6675 thermocouple_bir(thermo_bir_CLK, thermo_bir_CS, thermo_bir_DO);
```

```
MAX6675 thermocouple_iki(thermo_iki_CLK, thermo_iki_CS, thermo_iki_DO);
```

Ek 9: Pompalar İçin Kontrol Yazılımı (devam)

```
LiquidCrystal lcd(13, 12, 11, 10, 9, 8);

// make a cute degree symbol
uint8_t degree[8] = {140,146,146,140,128,128,128,128};

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  // use Arduino pins

  lcd.begin(16, 2);
  lcd.createChar(0, degree);

  for(int i = 0; i<2; i++)
  {
    pinMode(layer[i], OUTPUT);
  }

  // wait for MAX chip to stabilize
  delay(500);

  // digitalWrite(layer[0],1);
  // delay(1500);
  // digitalWrite(layer[1],1);
  // delay(1500);
  // digitalWrite(layer[0],0);
  // digitalWrite(layer[1],0);

}
```

Ek 9: Pompalar İçin Kontrol Yazılımı (devam)

```
void loop() {  
    // basic readout test, just print the current temp  
  
    gelen_veri = analogRead(lm35Pin);  
    voltaj_deger = ((gelen_veri/1023.0)*5000);  
    sicaklik = voltaj_deger/ 10.0;  
  
    lcd.clear();  
    lcd.setCursor(0, 0);  
    lcd.print("1.Ter ");  
    lcd.setCursor(6, 0);  
    lcd.print("2.Ter ");  
    lcd.setCursor(12, 0);  
    lcd.print("lm35");  
  
    lcd.setCursor(0,1);  
    lcd.print(thermocouple_bir.readCelsius());  
    lcd.setCursor(6,1);  
    lcd.print(thermocouple_iki.readCelsius());  
    lcd.setCursor(12,1);  
    lcd.print(sicaklik);  
    a= thermocouple_bir.readCelsius();  
    b= thermocouple_iki.readCelsius();  
    farka= a-b;  
    farkb= b-a;  
    if (farka > 3)  
    {
```


Ek 9: Pompalar İçin Kontrol Yazılımı (devam)

```
digitalWrite(layer[0],1);
}
else
{

digitalWrite(layer[0],0);
}

if (sicaklik < 20)
{
if (thermocouple_iki.readCelsius())>60)
{
digitalWrite(layer[1],1);
}
}
if (sicaklik > 19)
{

digitalWrite(layer[1],0);
}
delay(10000);
}
```

Ek 10: Kontrol Paneli Çalıştırılması ve Sıcaklık Ayarlamaları ile Yapılan Denemeler



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı: Zafer Ahmet GÖK

Doğum Tarihi: 26.08.1984

Ünvanı: Elektrik Mühendisi

Öğrenim Durumu:

	Alan	Üniversite	Yılı
Lisans	Elektrik Mühendisliği	İstanbul Teknik Üniversitesi	2003-2008

