

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BİNALARDA ISITMA VE ELEKTRİK ENERJİSİ TEMİNİ İÇİN SU BAZLI
FOTOVOLTAİK TERMAL HİBRİT SİSTEM TASARIMI**

Ece BÜYÜKALTAY

Danışman

Doç. Dr. Kıvanç BAŞARAN



MANİSA-2023

**ECE
BÜYÜKALTA Y**

**BİNALARDA ISITMA VE ELEKTRİK ENERJİSİ TEMİNİ İÇİN SU BAZLI
FOTOVOLTAİK TERMAL HİBRİT SİSTEM TASARIMI**

2023

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını, tezin herhangi bir yapay zeka uygulamasına yazdırılmadığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Ece BÜYÜKALTAY



TEZ ONAYI

Ece BÜYÜKALTAY tarafından hazırlanan "**Binalarda Isıtma ve Elektrik Enerjisi Temini için Su Bazlı Fotovoltaik Termal Hibrit Sistem Tasarımı**" adlı tez çalışması .././2023 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Doç. Dr. Kıvanç Başaran
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

.....

Jüri Üyesi

Dr.Öğr.Üyesi Özgür Solmaz
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

.....

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Kadir Gök
İzmir Bakırçay Üniversitesi

.....

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	III
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IV
TABLolar DİZİNİ	V
TEŞEKKÜR.....	VI
ÖZET.....	VII
ABSTRACT	VIII
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Güneş Enerjisi.....	3
2.2. Fotovoltaik Termal (PV/T) Hibrit Güneş Enerjisi Sistemleri.....	5
2.3. Literatür Taraması.....	9
2.4. Tezin Amacı.....	18
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER.....	20
3.1. Referans Ev İçin Isı Gereksinimi Hesabı.....	22
3.2. Referans Ev İçin Yerden Isıtma Hesabı.....	24
3.3. Referans Ev İçin Kullanım Suyu İhtiyacının Belirlenmesi.....	25
3.4. Referans Ev İçin Elektrik Enerjisi Kullanımı	26
3.5. Referans Ev İçin Boyler Hesabı.....	27
3.6. Referans Ev İçin PV/T Panel Hesabı	28
3.7. Referans Ev İçin Pompa Hesabı	30
3.8. Referans Ev İçin İnverter Hesabı	30
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	32
4.1. Yerden Isıtma Sisteminde Kullanılan Su Miktarının Hesabı.....	32
4.2. Rezistans Gücü Hesabı	34
4.3. Termal & Elektrik Enerji Hesabı	35
4.3.1. 1 Adet PV/T Kolektörün Termal & Elektrik Enerjisi Hesabı	36
4.3.2. 2 Adet PV/T Kolektörün Termal & Elektrik Enerjisi Hesabı	39
4.3.3. 3 Adet PV/T Kolektörün Termal & Elektrik Enerjisi Hesabı	42
4.3.4. 4 Adet PV/T Kolektörün Termal & Elektrik Enerjisi Hesabı	45
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	49
KAYNAKLAR	52
EKLER.....	57
EK A. Isı Hesabında Kullanılan Tablolar	57

EK B. PV/T Kolektör Teknik Özellikleri.....	61
EK C. Termal & Elektrik Enerjisi Hesabı Grafikleri.....	64
EK D. Visual Basic Program Çıktısı.....	74
ÖZGEÇMİŞ	75



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Q_h	Isı gereksinimi değeri
Q_i	Artırılmış iletimsel ısı gereksinimi
Q_s	Hava sızıntısı ısı gereksinimi
a	Hava sızdırma katsayısı
L	Pencere veya kapının açılır uzunluğu
R	Oda durum katsayısı
H	Yapı durum katsayısı
ΔT	iç-dış sıcaklık farkı
ZE	Dış duvar pencere sayısından kaynaklı katsayı
E	Yapı durum katsayısı için düzeltme faktörü
$\dot{q}_ü$	Borudan üst döşemeye yayılan ısı
\dot{q}_a	Borudan alt döşemeye yayılan ısı
$Z_ü$	Üst döşemeye uzaklık
Z_a	Alt döşemeye uzaklık
$S_ü, S_a$	Isı iletimi şekil faktörü
$R_ü$	Üst ısı direnci
R_a	Alt ısı direnci
T_{sm}	Boru eksenindeki ortalama sıcaklık
$T_{yü}$	Üst döşemede yüzey sıcaklığı
T_{ya}	Alttaki hacmin iç ortam sıcaklığı
T_{sg}	Suyun giriş sıcaklığı
$T_{sç}$	Suyun çıkış sıcaklığı
c	Suyun özgül ısı
m	Boiler içindeki su kütlesi
Q_{termal}	PV/T panelin ısı kazancı
F_R	Düzeltilme faktörü
$(\tau\alpha)_{PV}$	PV hücrelerin geçirgenlik-soğurma katsayısı
G	Güneş ışınım miktarı
F'	Kolektör verim faktörü
h_{pVA}	PV hücreyle emici plaka arasındaki bağ direncinin ısı transfer katsayısı
$h_{akışkan}$	Soğutma kanalı içindeki zorlanmış ısı transfer katsayısı
$U_{kayıp}$	Sistemdeki toplam kayıp katsayısı
U_t	Üst kayıp katsayısı
N_g	Cam kapak sayısı
ϵ_p	Yüzey yayılımı
ϵ_g	Cam yayılımı
U_b	Alt kayıp katsayısı
U_e	kenar kayıp katsayısı
$Q_{elektrik}$	PV/T sistemde üretilen elektrik enerjisi
Pr	Performans oranı
η	Elektriksel verimi
s	Sızdırmazlık faktörü
$(\tau\alpha)_T$	Termal emicilik faktörü

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Güneş enerjisi potansiyel atlası	4
Şekil 2.2. Manisa ili günlük ışıınım değerleri ve saatlik güneşlenme süreleri	4
Şekil 2.3. PV/T sistemlerin sınıflandırılması	6
Şekil 2.4. Su soğutmalı PV/T hibrit kolektör	8
Şekil 2.5. Su soğutmalı PV/T sistemler	8
Şekil 3.1. Su soğutmalı hibrit PV/T sistem blok şeması.....	20
Şekil 3.2. Çalışmanın gerçekleştirildiği dairenin planı	22
Şekil 3.3. Çift serpantinli boyler	27
Şekil 4.1. Kasım - Mart ayları termal – elektrik tüketim ve üretim ortalama ölçüm verileri	37
Şekil 4.2. Yıllık ortalama ölçüm verileri	38
Şekil 4.3. Yıllık toplam ölçüm verileri	38
Şekil 4.4. Kasım - Mart ayları termal – elektrik tüketim ve üretim ortalama ölçüm verileri ortalama ölçüm verileri.....	40
Şekil 4.5. Yıllık ortalama ölçüm verileri	40
Şekil 4.6. Yıllık toplam ölçüm verileri	41
Şekil 4.7. Kasım - Mart ayları termal – elektrik tüketim ve üretim ortalama ölçüm verileri ortalama ölçüm verileri.....	43
Şekil 4.8. Yıllık ortalama ölçüm verileri	43
Şekil 4.9. Yıllık toplam ölçüm verileri	44
Şekil 4.10. Kasım - Mart ayları termal – elektrik tüketim ve üretim ortalama ölçüm verileri ortalama ölçüm verileri.....	46
Şekil 4.11. Yıllık ortalama ölçüm verileri	46
Şekil 4.12. Yıllık toplam ölçüm verileri	47

TABLolar DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Düz levha tipi PV/T sistemlerin karşılaştırılması	7
Tablo 2.2. Su soğutmalı PV/T sistemlerin karşılaştırılması	9
Tablo 3.1. Su soğutmalı hibrit PV/T kolektör mekanik aksanları.....	21
Tablo 3.2. İç ve dış duvar malzeme detayı.....	23
Tablo 3.3. Yerden ısıtma sistemlerinde kullanılan boruların özellikleri.....	25
Tablo 3.4. Kişi başına düşen sıcak su tüketimi	26
Tablo 3.5. Referans ev için günlük elektrik enerjisi kullanımı	26
Tablo 3.6. Farklı yapı türleri için tahmini su tüketim miktarları (l/h) ve katsayılar..	28
Tablo 3.7. PV/T panel termal enerji hesap verileri	29
Tablo 4.1. Rezistans hesap verileri.....	35

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamın her aşamasında yol gösteren, ilgi ve desteklerini esirgemeyen başta tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Kıvanç BAŞARAN olmak üzere tecrübelerinden faydalandığım Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'ndeki kıymetli tüm hocalarıma ve bu süreçte desteklerini her daim yanımda hissettiğim sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

Ece BÜYÜKALTAY
Manisa, 2023



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Ece BÜYÜKALTAY
Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Kıvanç BAŞARAN

Güneş enerjisi kullanılarak termal ve elektrik enerjisi üretimi yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretiminde önemli bir yere sahiptir. Türkiye'nin coğrafi konumu nedeniyle güneşlenme süresinin en yüksek olduğu ülkeler arasında yer alması, güneş enerjisinin Türkiye için potansiyel bir enerji kaynağı olduğunu göstermektedir. Güneş enerjisi uygulamalarından biri olan fotovoltaik termal (PV/T) hibrit güneş enerjisi sistemleri, fotovoltaik panellerin ve termal güneş enerjili sistemlerin bir araya gelmesiyle oluşturulmuştur. Bu çalışmada Manisa ili iklim koşullarında standart iki kişilik bir hane özelinde ihtiyaç duyulan termal ve elektrik enerjisi temini için su bazlı hibrit PV/T tasarım kriterleri, sistemin çalışma prensibi, binalarda ısıtma ve elektrik enerjisi ihtiyacını karşılama potansiyeli incelenmiştir. 40 m²'lik referans ev için her biri 300 W gücüne sahip 1 adet, 2 adet, 3 adet ve 4 adet PV/T kolektörün kullanıldığı dört ayrı senaryo üzerinde durulmuştur. Sistem 15 Kasım – 15 Mart tarihleri arasında çalıştırılmıştır. Senaryolarda, PV/T sistemlerde üretilen en düşük termal enerji Aralık ve Ocak aylarında, en düşük elektrik enerjisi Aralık ayında gerçekleşirken en yüksek kazanç Mart ayında elde edilmiştir. Bir adet PV/T kolektörün kullanıldığı sistemde ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin %20'si, termal enerjinin %8'i karşılanırken bu değerler dört adet PV/T kolektörün kullanıldığı sistemde sırasıyla %83 ve %32'dir. Elde edilen sonuçlar fosil kökenli ve karbon emisyonunu artıran doğal gaza alternatif olarak kullanılabilceğini göstermektedir. PV/T kolektör sisteminin kullanılması ile yaklaşık 309,51 kg CO₂ salınımına engel olunacağı görülmüştür. Turgutlu ilçesinde güneş enerjisi, doğal gaza alternatif bir kaynak olarak kullanılabilceği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca yerli ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olan güneş enerjisinden faydalanılması ile enerjide dışa bağımlılığın azaltılması ve ekonomiye olumlu katkı yapması beklenilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi, Su Bazlı PV/T Kolektör, Mekan Isıtması, CO₂ Emisyonu.

2023, 86 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

Ece BÜYÜKALTAY

**Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Energy Systems Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Kıvanç BAŞARAN

Thermal and electrical energy production using solar energy has an important place in energy production from renewable energy sources.

The fact that Turkey is among the countries with the highest sunshine duration due to its geographical location shows that solar energy is a potential energy source for Turkey. Photovoltaic thermal (PV/T) hybrid solar energy systems, which is one of the solar energy applications, is a combination of photovoltaic panels and thermal solar energy systems formed by combining. In this study, the water-based hybrid PV/T design criteria, the working principle of the system, the potential to meet the heating and electrical energy needs in buildings were examined for the supply of thermal and electrical energy needed for a standard two-person household in the climatic conditions of Manisa province. For a reference house of 40 square meters, four different scenarios were discussed in which 1, 2, 3 and 4 PV/T collectors, each with 300 W power, were used. The system was operated between November 15 and March 15. In the scenarios, the lowest thermal energy produced in PV/T systems was realized in December and January, while the highest gain was achieved in March. In the system where one PV/T collector is used, twenty percent of the electrical energy needed and eight percent of the thermal energy are met while these values are met by four PV/T collectors. In the system where PV/ T collector is used, it is eighty-three percent and thirty-two percent, respectively. The results obtained show that it can be used as an alternative to fossil-based natural gas that increases carbon emissions. It has been observed that approximately 309.51 kg of CO₂ emission will be prevented by using the PV/T collector system. It has been concluded that solar energy can be used as an alternative source to natural gas in Turgutlu district. It is expected that the use of solar energy, which is a domestic and renewable energy source, will reduce foreign dependency in energy and make a positive contribution to the economy.

Keywords: Solar Energy, Water-Based PV/T Collector, Space Heating, CO₂ Emission.

2023, 86 pages

1. GİRİŞ

Dünya enerji tüketimi sürekli olarak artarken, ihtiyaç duyulan enerji genellikle fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Fosil yakıt kaynaklarının kullanılması ile sera etkisi veren gazların artması (O₃, CH₄, N₂O, H₂O, CO₂) küresel sıcaklığın yükselmesine neden olarak, yangın, sel, hortum gibi doğal afetlerin artışına ve iklim değişikliklerine neden olmaktadır [1,2]. Fosil yakıt rezervlerindeki kısıtlılık ve çevre üzerinde meydana getirdikleri zararlar dikkate alındığında hem yeni enerji kaynaklarının hem de enerji üretimine yönelik alternatif tekniklerin bulunması zorunluluk olmuştur [3]. Bu bağlamda; yenilenebilir enerji kaynakları (hidrojen enerjisi, rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, hidrolik enerjisi, jeotermal enerji, biokütle enerjisi) fosil kaynakların yerini alabilecek, çevre dostu ve sürdürülebilir enerji kaynakları olarak öne çıkmıştır [4].

Güneş enerjisi kullanılarak termal ve elektrik enerjisi üretimi gerçekleştirilmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretiminde önemli bir yere sahiptir. Bu enerji kaynağından faydalanmanın en önemli avantajlarından biri, elektrik üretimi sırasında çevreye zararlı gaz salınımının olmaması ve güneşin sınırsız bir kaynak olmasıdır [5]. Türkiye'nin coğrafi konumu nedeniyle güneşlenme süresinin en yüksek olduğu ülkeler arasında yer alması, güneş enerjisinin Türkiye için potansiyel bir enerji kaynağı olduğunu göstermektedir. Türkiye genelinde güneş enerjisinin yaygınlaşması, enerji bağımlılığı sorununa çözüm olabilir [6].

Enerji maliyetlerinin optimize edilmesi ve binalardaki karbon ayak izinin en aza indirilmesi için enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyeli üzerine bilimsel çalışmalar uzun süredir devam etmektedir. Örneğin Orta Avrupa ülkelerinde, tüketiciler ısı şebekesine ve elektrik şebekesine bağlanırken, kendi dağıtılmış yenilenebilir enerji üretimine sahip olmakla giderek daha fazla tüketici olmaya teşvik edilmektedirler [7]. Bunun sonucunda, konut sektöründe karbon ayak izi etkili bir şekilde azaltılmakta ve sonuç olarak düşük ve sıfır karbonlu binaların yaygınlaşması beklenmektedir. Bu yaklaşımda ortaya çıkan teknolojilerden biri, ısı ve güç üretimini birleştiren ve kolayca binalara entegre edilebilen Fotovoltaik-Termal (PV/T) hibrit güneş kolektörleridir [8].

PV/T hibrit güneş enerjisi sistemleri, fotovoltaik modüllerin ve termal güneş enerjili sistemlerin avantajlarının bir araya geldiği bir sistemdir. Bu sistemler, mevcut fotovoltaik panellerin ideal çalışma sıcaklığının (25°C) üzerinde oluşan sıcaklık değerlerinde kullanılarak, bu sistemlerin soğutulması ve yüksek elektrik enerjisi verimlerine ulaşılması sağlanır. Aynı zamanda bu soğutma işlemi sırasında ortaya çıkan atık ısı da faydalı enerji olarak kullanılır.

Tezin giriş bölümünde enerjinin önemi, çeşitleri ve karbon salınımı konuları ele alınmıştır. Genel bilgiler başlığı altında güneş enerjisinin oluşumu, kullanımı, fotovoltaik termal hibrit kolektörlerin çeşitleri, su soğutmalı fotovoltaik termal hibrit kolektörler ve binalarda enerji verimliliği uygulamaları gibi konulara değinilerek, ilgili alanlardaki literatüre göndermeler yapılmıştır. Tezin üçüncü bölümü olan Materyal ve Yöntemler kısmında, çalışmanın şematik gösterimi, hesaplamalarda kullanılan formüller ve yöntemler anlatılmıştır. Dördüncü bölüm olan Araştırma Bulguları ve Tartışma kısmında elde edilen sonuçlar grafikleştirilmiş ve yorumlanmıştır. Son bölümde ise çalışma sonucu elde edilen veriler özetlenerek literatüre katkısına değinilmiş ve gelecek çalışmalar için öneriler de bulunulmuştur.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Güneş Enerjisi

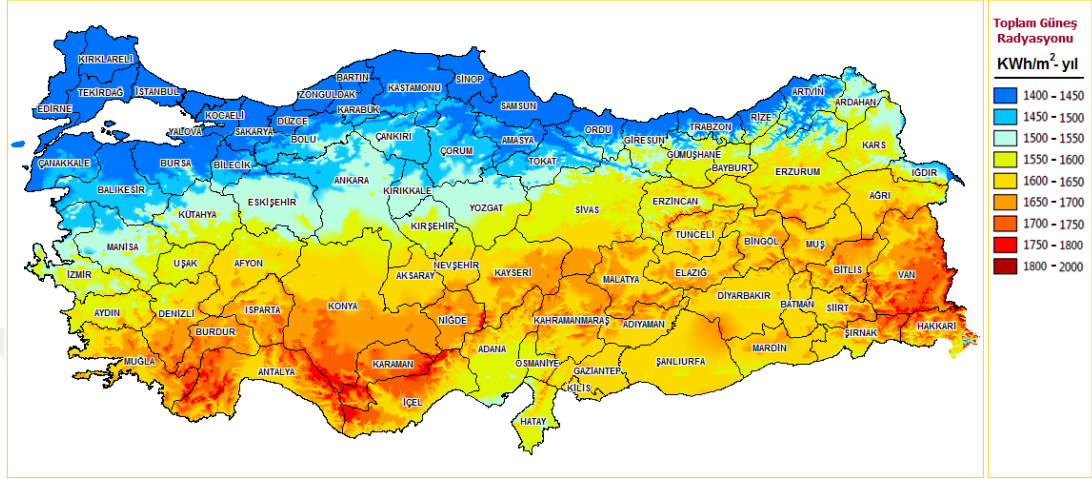
Kaynağını doğadan alan ve sürdürülebilir enerji kaynağı olan yenilenebilir enerji kaynakları arasında en büyük ve en önemli olanı güneş enerjisidir. %90'ı hidrojen, %10'u da helyum gazından oluşmuş bir yıldız olan güneş, ortalama 6000 K sıcaklığa sahiptir. Bünyesinde bulunan sıcaklık nedeniyle hafif elementlerden biri olan hidrojen atomu füzyon adı verilen birleşme tepkimesine girerek ağır element olan helyuma dönüşür ve enerji açığa çıkar. Bu enerji, farklı dalga boylarında dünyaya ışınlar halinde ulaşmaktadır ve yaklaşık 180 MW/s gücündedir [9].

Günümüzde birçok alanda kullanılabilirliği olan güneş enerjisi uygulamalarını üç grupta toplayabiliriz [10].

- Düşük sıcaklık (20 – 100 °C) uygulamaları
 - Kullanım sıcak suyu eldesi
 - Konut ısıtma – soğutma
 - Kurutma
 - Sera
 - Deniz suyundan tatlı su eldesi
 - Tuz üretimi
 - Güneş ocakları
- Orta sıcaklık (100 – 300 °C) uygulamaları
 - Endüstride kullanılmak üzere buhar üretimi
 - Büyük ısıtma – soğutma sistemleri
 - Elektrik üretimi
- Yüksek sıcaklık (> 300 °C) uygulamaları
 - Güç santralleri
 - Güneş fırınları

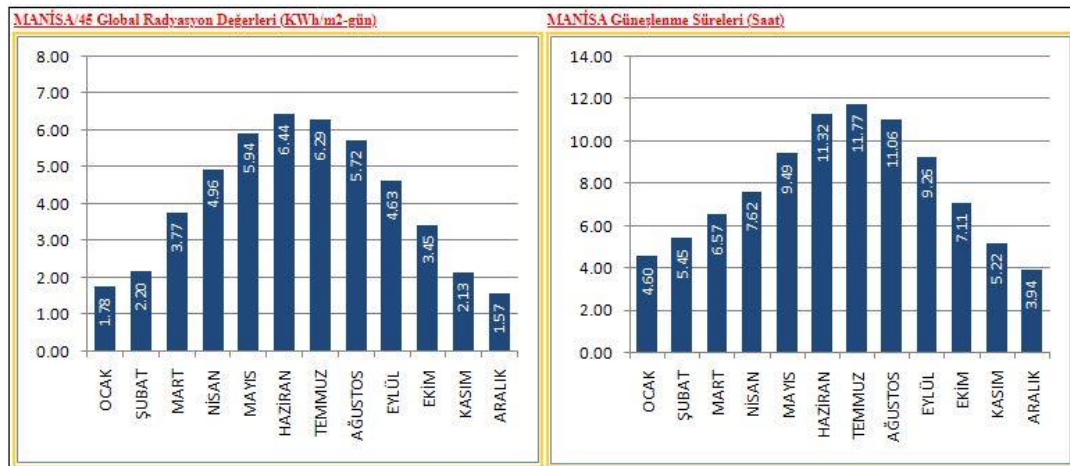
Türkiye, coğrafi konumu itibarıyla yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip bir ülkedir. Şekil 2.1'de Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan

güneş enerjisi potansiyel atlasına (GEPA) göre en yoğun güneş ışınımına maruz kalan kısımların Ege, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri olduğu gözükmektedir. Ayrıca Türkiye'nin yıllık toplam güneşlenme süresi 2741 saat ve yıllık toplam güneşlenme miktarı ise 1527 kWh/m²yıl olarak belirlenmiştir [11].



Şekil 2.1. Güneş enerjisi potansiyel atlası [11]

Şekil 2.2'de Manisa ili için global ışınım değerleri ve güneşlenme süreleri verilmiştir [12]. Manisa'nın Nisan-Eylül ayları arasında yüksek ışınım ve güneşlenme süresine sahip olduğu görülmektedir.



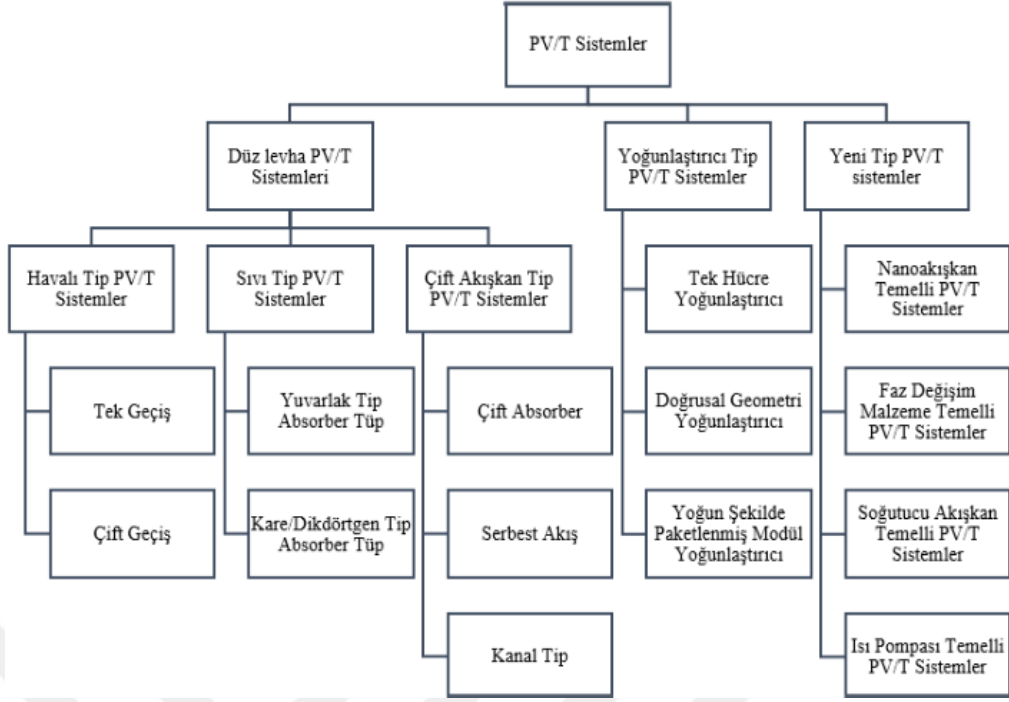
Şekil 2.2. Manisa ili günlük ışınım değerleri ve saatlik güneşlenme süreleri [12]

2.2. Fotovoltaik Termal (PV/T) Hibrit Güneş Enerjisi Sistemleri

Fotovoltaik termal (PV/T) hibrit güneş enerjisi sistemleri, fotovoltaik panellerin ve termal güneş enerjili sistemlerin bir araya gelmesiyle oluşturulmuştur. PV/T hibrit sistemlerde, mevcut fotovoltaik panellerin ideal çalışma sıcaklığının (25 °C) üzerinde de oluşan sıcaklık değerlerinde kullanılarak, bu sistemlerin soğutulması ve bu soğutma sürecinde ortaya çıkan atık ısının da faydalı enerji olarak kullanılması sağlanır.

Fotovoltaik paneller tarafından kullanılan güneş enerjisinin büyük kısmı gelen hava sıcaklığı, rüzgar hızı, bulutluluk oranı gibi faktörler yüzünden elektrik enerjisine dönüştürülemez ve ısı enerjisi olarak panelde bulunur. Bu ısı enerjisi fotovoltaik panellerin ısınmasına, dolayısıyla elektrik veriminde azalmaya sebep olur [13]. Paneldeki bu sıcaklığın bir akışkan yardımı ile çekilmesi suretiyle, elektrik verimi daha yüksek seviyelerde tutulabilir. Bunu sağlamak için PV/T hibrit sistemler oluşturulmuştur. PV/T sistemlerde, PV kısmında, güneş enerjisinden yarı iletken malzemeler ile elektrik enerjisi üretilirken, termal kısımda PV panelin üzerinde oluşan fazla ısı ile güneş ısı panel arkasında bulunan bakır borular içerisinden geçen suya aktarılarak enerjinin kullanımı sağlanır. Böylece eş zamanlı olarak elektrik ve termal enerji üretilmektedir [14].

PV/T sistemler düz levha, yoğunlaştırıcı tip ve yeni tip şeklinde sınıflandırılır (Şekil 2.3) [15]. Düz levha tipi PV/T sistemler çalışma akışkanına bağlı olarak hava akışkanlı, su akışkanlı ve çift (hem hava hem su) akışkanlı olmak üzere üç grupta incelenmektedir. Yoğunlaştırıcı tip PV/T sistemler, güneş ışınımını tek bir nokta veya bölgeye yoğunlaştırarak enerji üretimi gerçekleştirmektedir. Son yıllarda nanoakışkan, faz değiştiren malzeme ve soğutucu akışkanların kullanıldığı ile ısı pompası temelli PV/T sistemler ise yeni tip PV/T sistemler olarak sınıflandırılmaktadır.



Şekil 2.3. PV/T sistemlerin sınıflandırılması [15]

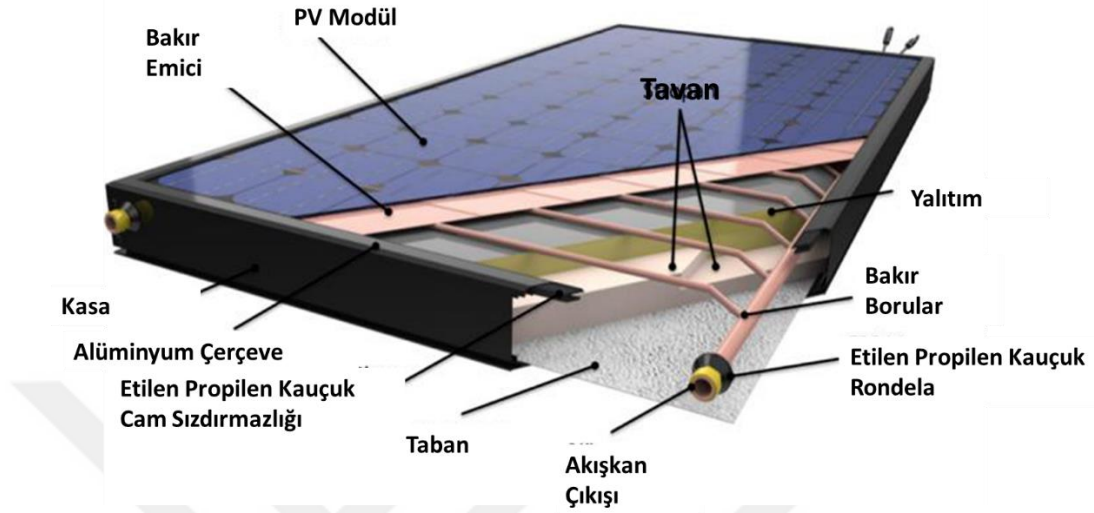
PV/T sistem içindeki enerji aktarımı süreçleri karmaşık olduğundan hesaplamaları basitleştirmek ve yaklaşık simülasyon modelleri geliştirmek için varsayımlar yapılmaktadır. Genellikle, PV/T bileşenlerinin, ortam sıcaklığı ve güneş ışınımı yoğunluğu değiştiğinde hemen yarı kararlı duruma ulaştığı varsayılır. Isı transferi tek boyutlu ve yarı kararlı durum olarak kabul edilir. PV/T bileşenlerinin (çalışma sıvısı hariç) ısı kapasiteleri ihmal edilebilir ve tüm bileşenlerin ısıl iletkenliği sabit kabul edilir. Bu varsayımlardan sonra, sistemin her parçası için enerji dengesi denklemleri oluşturulabilir. PV/T için, çalışma sıcaklığı ışınım yoğunluğu, ortam sıcaklığı, rüzgâr hızı, bileşen malzemesi ve çalışma akışkanının giriş sıcaklığından etkilenir [16].

Tablo 2.1. Düz levha tipi PV/T sistemlerin karşılaştırılması [17]

Düz Levha PV/T Tipler	Çalışma Sıvı	Avantajları	Dezavantajları	Uygulamaları
Havalı Tip PV/T	• Hava	• Basit tasarım • Düşük bakım maliyeti	• Düşük termal performans • Daha az ısıtılmış hava uygulaması	• Alan ısıtma • Tarımsal uygulamalar
Sıvılı Tip PV/T	• Su • Faz değişim malzemeleri • Nano akışkanlar	• Yüksek ısı taşıma kapasitesi • Havalı tip PV/T sistemine göre daha yüksek termal ve elektriksel verim • PV sisteminin termal yönetimi için verimli bir şekilde kullanılır • Mükemmel performans • Uygun sıcaklık iletkenliği	• Karmaşık tasarım • Yüksek maliyet • PV/T sistemi ile entegre • Sınırlı uygulama	• Alan ısıtma • Sıcak su • Su filtreleme sistemleri • Deniz suyu filtreleme • Binalarla entegre sistem •
Çift Akışkan Tip PV/T	• Hava ve Su	• Yüksek Elektriksel ve Termal Verim • Sıcak su ve Sıcak Hava aynı anda sağlanır • PV panellerin çok iyi soğutulması	• Karmaşık tasarım • Yüksek maliyet • Sınırlı uygulama	• Alan ısıtma • Sıcak su ihtiyacı

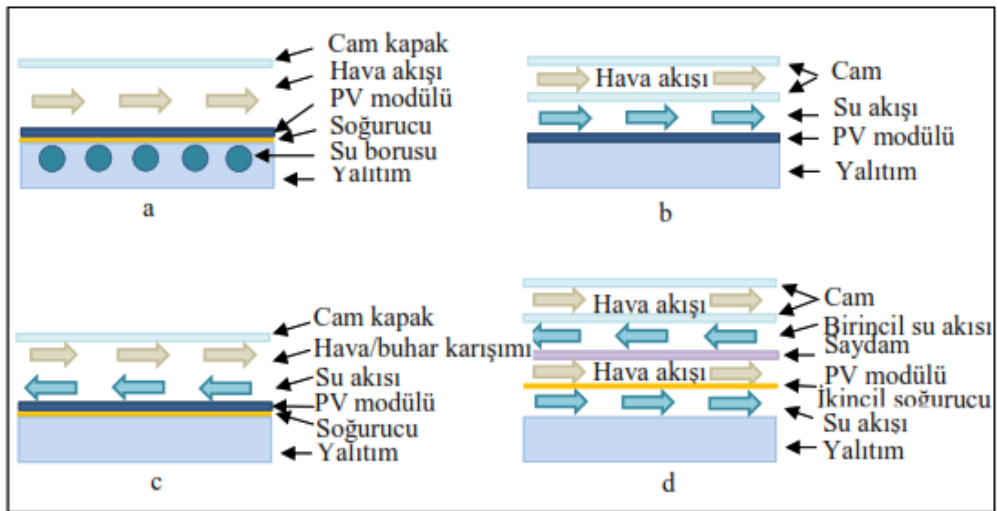
Tablo 2.1’de verilen düze levha tipi PV/T sistemler, düz konvansiyonel güneş enerjisi sistemlerine benzemektedir. Şekil 2.4’te verilen su akışkanlı PV/T hibrit sistemlerde PV modülün alt kısmında, içerisinde su akan serpantin bakır borular bulunur. Bu borular içerisinden akmakta olan su sıcaklığı düşük olduğunda PV hücreler soğutularak yüksek elektrik verimi elde edilir. PV hücrelerin ısınımlı soğuran su, istenilen bölgeye ısıtma amacıyla gönderilir. Özgül ısı değeri havaya göre yüksek olan su, PV/T sistemlerde etkin soğutma sağlayarak elektriksel ve termal verimi artırır. Su soğutmalı PV/T modül performansı; fotovoltaik hücre tipi (monokristal, polikristal vb.), su akış kanalı boyutları ve geometrisi, su akış sıcaklığı ve hızı, dış ortam şartları doğrultusunda değişen ısı ve elektriksel verimleri vasıtasıyla ölçülmektedir.

Alüminyum düz levha tipi su akışkanlı bir PV/T sistemin, güneş kolektörü sistemine göre ısı enerjisi üretimi %39, PV sisteme göre elektrik enerjisi üretimi ise %8,6 daha fazladır [17].



Şekil 2.4. Su soğutmalı PV/T hibrit kolektör [17]

Şekil 2.5'te verilen su soğutmalı PV/T sistemler, soğurucu tabaka ve borulu (a), su kanallı (b), kanal içerisinde serbest yüzeyli su akışlı (c) ve çift su geçişli, çift soğurucu tabakalı (d) olmak üzere 4 grupta incelenmektedir. Su soğutmalı PV/T kolektörlerin avantaj – dezavantajları Tablo 2.2'de verilmiştir [18].



Şekil 2.5. Su soğutmalı PV/T sistemler [18]

Tablo 2.2. Su soğutmalı PV/T sistemlerin karşılaştırılması [18]

Sulu Tip PV/T Sistemleri	Avantajları	Dezavantajları	Performans optimizasyonu
Levha ve tüp PV/T Kolektör	Gelişmiş ve olgun teknoloji	Basit tasarım Düşük bakım maliyeti	Uygun sayıda üst kapak
Kanalı Tip PV/T Kolektör	Daha yüksek termal verimlilik	Ağır ama kırılabilir yapı Çalışma sıvısı için sınırlı seçenek	Şeffaf PV panel kullanımı ve şeffaf malzemelerin maliyetinin düşürülmesi
Serbest Akışlı PV/T Kolektör	Düşük yansımalar ve malzeme maliyetleri	Yüksek sıcaklıkta kararsızlık Buharlaşma nedeniyle büyük ısı kaybı	Uygun çalışma sıvısı kullanılması
Çift Akışkanlı PV/T Kolektör	Daha iyi mekanik yapı Daha yüksek termal verimlilik	Ağır ama kırılabilir yapı	Birincil ve ikincil kanallar arasında şeffaf yalıtım katmanının kullanılması

2.3. Literatür Taraması

Bu çalışma kapsamında literatür taramasında daha çok sıvı bazlı PV/T sistemler üzerinde durulmuştur.

Rawat ve arkadaşları [20], tarafından yapılan çalışmada, güneş enerjisi PV/T hava ve su toplayıcı hibrid sistemlerinin tasarlandığı ve karşılaştırmalı bir çalışmanın yapıldığı belirtilmiştir. Çalışmada, polikristal silikon PV modülü kullanılarak ticari bir PV modülünün hava ve su soğutmasıyla birlikte PV/T hava güneş kolektörü olarak yapılandırıldığı ve zorlamalı akışla çalışan PV/T su güneş kolektörünün incelendiği ifade edilmektedir. Bu çalışma, farklı PV/T sistem yapılandırmalarının ve soğutma yöntemlerinin araştırıldığını göstermektedir. Hava soğutmalı ve su soğutmalı PV/T sistemlerinin incelenmesi, bu sistemlerin performansının ve verimliliğinin değerlendirilmesini sağlamaktadır. Yapılan deneylerle, PV/T sistemlerinin enerji ve ekserji performansının çeşitli kütle akış hızları için belirlendiği belirtilmektedir. Önerilen tasarım ve çalışma koşullarıyla, günlük PV/T hava ve güneş PV/T suyu için elektrik verimlilik oranlarının sırasıyla %6,56 ve %7,54 olduğu ve güneş PV/T hava için günlük termal verimlilik oranının yaklaşık olarak %56,47 ve %70 olduğu ifade edilmektedir. Güneş PV/T suyu ve sisteminin toplam verimliliğinin, hava bazlı PV/T

ve su bazlı PV/T için sırasıyla %62,57 ve %70'in üzerinde olduğu belirtilmektedir. Sonuç olarak, PV/T sistemlerine termal enerji entegre edilerek, sistemin genel performansının sadece PV kullanıldığı durumlardan daha fazla arttığı gözlemlenmiştir. Bu çalışma, PV/T teknolojisinin gelişimi ve uygulama alanlarının genişletilmesi için önemli bilgiler sunmaktadır.

Fudholi ve arkadaşları [21] bu çalışmada, PV/T su toplayıcılarının performans analizi yapılmıştır. 500-800 W/m² güneş ışınımı seviyeleri altında PV/T su sistemlerinin elektriksel ve termal performansları belirlenmiştir. Farklı güneş ışınımı seviyelerinde, 0,011 kg/s ila 0,041 kg/s arasında değişen kütle akış hızları kullanılmıştır. PV/T toplayıcıları, PV verimliliği, termal verimlilik ve PV/T verimliliği açısından test edilmiştir. Sonuç olarak %68,4 PV/T verimi, %13,8 PV verimi ve %54,6 termal verim elde etmiştir. Ayrıca, 0,011-0,041 kg/s kütle akış hızında %79 ila %91 arasında birincil enerji tasarrufu sağlanmıştır.

İbrahim ve arkadaşları [22] bu çalışmada, binaya entegre bir PV/T sistem, yüksek verimli birçok kristalli PV modülü ve spiral akış emici ile gerçekleştirilmiştir. Emicinin düz plaka tek camlı polikristal silikon PV modülünün altına yerleştirildiği ve suyun ısı transfer ortamı olarak kullanıldığı bir BIPVT (Binaya Entegre PV/T) uygulaması incelenmiştir. Enerji ve ekserji analizlerine dayanarak BIPVT sisteminin performansı değerlendirilmiş ve Malezya'nın iklim koşullarına bağlı olarak ekserji iyileştirme potansiyeli (IP) değerlendirilmiştir. Sonuçlar, BIPVT sistemi için saatlik değişimin PV/T enerji verimliliğinin %55-62 aralığında olduğunu göstermiştir, bu değer PV/T ekserji verimliliğinden daha yüksektir (%12-14). İyileştirme potansiyeli, artan güneş ışınımı ile birlikte artmış ve 98 ila 404 W arasında değişmiştir. Ayrıca, BIPVT sistemi %73 ila %81 arasında birincil enerji tasarrufu verimliliği sağlamıştır.

Daghigh ve arkadaşları [23], amorf ve kristal silikon esaslı fotovoltaik güneş enerjisi kolektörlerinin performans tahmini araştırılmıştır. BIPVT (Binaya Entegre PV/T) sistemi, verimliliğini artırmak için iyileştirmelerle değerlendirilmiştir. Binaya entegre uygulamalar için su bazlı bir PV/T toplayıcının yeni tasarım konsepti oluşturulmuş ve değerlendirilmiştir. Amorf silikon (a-Si) ve kristal silikon (c-Si) PV/T modül tipleri için yapılan simülasyon çalışması, Malezya'nın tipik bir gününde gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, 0,02 kg/s akış hızında, 700 ila 900 W/m² güneş

radasyonu seviyesi ve 22 ila 32 °C ortam sıcaklığı için PV/T (a-Si) sisteminin elektriksel, termal ve kombine fotovoltaik termal verimliliklerinin sırasıyla %4,9, %72 ve %77 olduğunu göstermiştir. Ayrıca, PV/T (c-Si) sisteminin elektriksel, fotovoltaik termal verimliliklerinin %11,6, %51 ve %63 olduğu belirlenmiştir. Burada düşük olan verim değeri normal haldeki verimdir.

İbrahim ve arkadaşları [24] çalışmalarında, entegre uygulamalar için uygun olan hibrit PV/T hava ve su bazlı güneş kolektörlerinin incelenmesine odaklanmaktadır. İki farklı fotovoltaik termal güneş kolektörü tasarlanmış ve üretilmiştir. İlk kolektör, sıcak su ve elektrik üretmek amacıyla spiral akış soğurucu kolektör olarak bilinir. PV/T sisteminin verimliliğini artırmak için, siyah mat içeren amorf silikon hücre gibi başka tiplerde fotovoltaik hücrelerin kullanımı önerilmiştir. Bu, güneş paneli ve altındaki tüpler arasındaki temas yüzeylerini optimize etmeyi amaçlamaktadır. Sonuç olarak, deneyler ve tasarımlar üzerinden elde edilen veriler, hibrit fotovoltaik termal hava ve su bazlı güneş kolektörlerinin performansını artırmak için farklı kütle akış hızlarının önemini vurgulamaktadır. Ayrıca, amorf silikon hücreler gibi farklı fotovoltaik hücre tiplerinin kullanımı ile PV/T sisteminin verimliliğinin daha da geliştirilebileceği belirtilmektedir.

Ramos vd. [25] bu çalışma, düşük maliyetli PV/T sistemlerinin konut sektöründe kojenerasyon (eş zamanlı elektrik ve ısı üretimi) için kWh enerji üretimi hedefini ele almaktadır. On Avrupa bölgesinde yerel hava koşulları ve güneş ışınımıyla ilgili verilere dayanarak, önerilen sistemlerin uygulanabilirlik ve uygunluk analizi yapılmıştır. Sevilla, Roma, Madrid ve Bükreş gibi bölgeler, yıllık simülasyonlarla en umut verici yerler olarak belirlenmiştir. En verimli sistem yapılandırması, PV/T panellerinin termal çıkışını kullanarak sudan suya ısı pompalarına bağlanmayı içermiştir. TRNSYS adlı yazılım kullanılarak yapılan saatlik çözümlenmiş geçici modeller, sistem performansının ayrıntılı tahminlerini sağlamak için kullanılmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre, PV/T sistemlerinin belirtilen dört lokasyondaki evlerin %60'ını ve evlerin soğutma taleplerinin neredeyse %100'ünü karşılayabilecek potansiyele sahip olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, bu sistemler için yükseltilmiş enerji maliyetinin 0,06-0,12 kWh aralığında olduğu bulunmuştur ki bu eşdeğer PV sistemlerine göre %30-40 daha düşük bir maliyettir.

Ibrahim ve arkadaşları [26] bu çalışmada, farklı tasarımlara sahip fotovoltaik termal (PV/T) kolektörlerin performansı incelenmiştir. PV/T'nin toplam verimliliği olarak adlandırılan termal ve hücre verimliliklerinin kombinasyonu, birçok sistem tasarım parametresi ve çalışma koşulu tarafından etkilenmektedir. Bu nedenle, yedi farklı absorbe edici tasarım konfigürasyonu tasarlanmış, araştırılmış ve karşılaştırılmıştır. Simülasyonlar kullanılarak, en yüksek verimliliği (toplam verimlilik) sağlayan en iyi absorbe edici tasarımı belirlemek için analizler yapılmıştır. Bu simülasyonlarda, sistem güneş ışınımı, ortam sıcaklığı ve akış koşulları gibi parametrelerle analiz edilmiştir. Termal toplayıcı, tek cam tabakalı düz plaka şeklinde temsil edilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre, spiral akış tasarımının en yüksek termal verim (%50,12) ve hücre verimi (%11,98) ile en iyi tasarım olduğu kanıtlanmıştır. Bu bulgular, absorbe edici tasarımının PV/T sistemlerinin performansını önemli ölçüde etkilediğini ve spiral akış tasarımının en verimli seçenek olduğunu göstermektedir.

Tripanagnostopoulos ve Kalogirou [27] bu çalışmada, hibrid PV/T sistemlerinin kullanım sıcak suyu ve elektrik üretimi için potansiyeli incelenmiştir. Pasif ve aktif evsel sıcak su uygulamaları için hibrid PV/T güneş sistemlerinin performansı TRNSYS simülasyonlarıyla analiz edilmiştir. Polikristal silikon (pc-Si) ve amorf silikon (a-Si) PV modülleri kullanılarak su ısı ekstraksiyon üniteleriyle prototip modeller test edilmiş ve elektriksel ile termal verimlilikleri değerlendirilmiştir. Simülasyon sonuçları, farklı enlemlerde (Lefkoşa, Atina, Madison) gerçekleştirilen üç farklı yerde PV/T sistemlerine dayanmaktadır. Çalışma, ev tipi termosifonik sistem ve apartman blokları veya küçük ofis binaları için daha büyük bir aktif sistem üzerinde yoğunlaşmıştır. Sonuçlar, PV/T sistemlerinin önemli miktarda termal ve elektrik enerjisi üretebildiğini ve ekonomik olarak uygulanabilirliklerinin artırılabilirliğini göstermektedir. Bu nedenle, özellikle evsel uygulamalarda elektrik ve sıcak su ihtiyacının olduğu durumlarda PV/T sistemlerinin daha başarılı olabileceği vurgulanmıştır.

Yaxiu ve arkadaşları [28] bu araştırmada, güneşlenme süresinin düşük olduğu İsveç'teki bir PV/T kolektör için tekno-ekonomik analiz yapılmış ve analitik bir model geliştirilmiştir. Monte Carlo simülasyonu kullanılarak yapılan analiz, çoklu enerji dengesi/finansal denklemler ve çeşitli değişkenlerin risklerini içermektedir. Analizde,

elektrik/termal verim, ortalama günlük güneş işınımı, yönetim ve işletme maliyeti, faiz oranı, PV/T fiyatları ve sermaye maliyeti gibi kriterler dikkate alınmıştır. Detaylı bir simülasyon yoluyla sistemin performansı değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, 10,37 m2 alana sahip bir PV/T kolektörün 25 yıllık kullanım ömrü boyunca sağladığı sermaye maliyeti 4482–5378 SEK/m2 aralığında değişmektedir. Ayrıca, sistem amortisman süresi 10 yıl olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, PV/T kolektörlerinin İsveç gibi güneşlenme süresinin düşük olduğu bölgelerde ekonomik açıdan kullanılabilir bir seçenek olduğunu göstermektedir.

Tripanagnostopoulos ve arkadaşları [29] bu çalışmada, Patras niversitesi'nde su soğutmalı hibrit PV/T sistemlerinin ekonomik analizi SimaPro programı kullanılarak yapılmıştır. Farklı senaryolar, eğimli ve yatay çatı montajı için simüle edilmiş ve sistem için amortisman süresi ve maliyet hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, sistemin çevresel ve enerji değerlendirmesi için yaşam döngüsü değerlendirmesi yöntemi uygulanmıştır. Analiz sonuçları, 1500 litre depolama tankı ve 30 m2 aktif yüzey alanına sahip bir sistem için eğimli çatı montajı için kurulum maliyetinin 30 £/m2 ve yatay çatı montajı için 50 £/m2 olduğunu göstermektedir. Bu verilere dayanarak, sistemlerin ekonomik değerlendirmesi yapılmıştır.

Othman ve arkadaşları [30], bu laboratuvar çalışmasında, güneş simülatörü kullanılarak PV/T kolektörde hem hava hem de su akışkanı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre, 1200mm x 537mm x 46mm boyutlarına sahip Sharp Solar NE-80EJEA model PV/T kolektöründe en yüksek ısıl verim %76, elektriksel verim ise %17 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, kolektörün termal ve elektriksel performansının belirlenmesine yardımcı olmuştur.

Huo ve arkadaşları [31], bu laboratuvar çalışmasında, su akışkanlı PV/T kolektör üzerinde demir talaşı ile doldurulmuş boruların yer aldığı bir tasarım kullanılmıştır. Deneyler, güneş simülatörü kullanılarak gerçekleştirilmiştir ve işınım değeri 400-800 W/m2 arasında değiştirilmiştir. Sonuçlara göre, bu su akışkanlı PV/T kolektörlerinin elektriksel veriminde %25,3, ısıl veriminde %10,7 ve toplam veriminde ise %12,7 oranında bir artış elde edilmiştir. Bu bulgular, demir talaşı dolgulu su akışkanlı kolektörlerin performansını iyileştirmede etkili olduğunu göstermektedir.

Braun ve arkadaşları [32], bu çalışma, PVT sistemlerinin ofis binalarının ısıtma ve soğutma potansiyelini üç farklı iklim bölgesinde araştırmıştır. Çalışma, yüksek güneş fraksiyonları elde etmek ve birincil enerji tasarrufu sağlamak amacıyla PV elektriğinin maksimum kullanımını hedeflemiştir. Aynı zamanda, ısıtma, havalandırma, iklimlendirme, aydınlatma ve diğer elektrik taleplerini de içermektedir. Bu çalışma, PVT sistemlerinin ofis binalarında enerji tüketimini optimize etme potansiyeline işaret etmektedir.

Abdullah ve arkadaşları [33], bu çalışma, su bazlı bir PV/T sistemin iç mekan deneysel çalışmalarını ve MATLAB programında kullanılan deneysel verileri incelemiştir. PV/T su sisteminin yeni tasarımı olan çift salımlı soğurucusunun sonuçlarını soğutma sistemi olmayan normal bir PV paneliyle karşılaştırmışlardır. Yapılan analizler, maksimum elektrik veriminin 500 W/m² ve 6 l/dk'da %11,5, maksimum termal verimliliğin 1000 W/m² ve 5 l/dk'da %58,64, ve toplam verimliliğin 1000 W/m² ve 5 l/dk'da %66,87 olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar, su bazlı PV/T sisteminin potansiyelini ve performansını ortaya koymaktadır.

Menon ve arkadaşları [34], bu çalışmada, su ve bakır oksit bazlı nanoakışkanın kullanıldığı bir fotovoltaik termal (PVT) sistemin elektriksel ve termal performansı araştırılmıştır. Soğutmasız bir PVT sistemiyle karşılaştırıldığında, su ve nanoakışkan soğutmalı PVT sistemi, ortalama elektrik verimini sırasıyla %12,32 ve %35,67 artırarak %14,58 ve %17,61 seviyelerine ulaşmıştır. Bu sonuçlar, nanoakışkan soğutmanın PVT sisteminin performansını artırabileceğini göstermektedir.

Li ve arkadaşları [35], bu çalışmada, farklı gereksinimlere sahip binalar için faz değiştiren malzemeye sahip PV/T-PCM geliştirilmiştir. Sistemin genel verimliliği %39,4 olarak belirlenmiş ve enerji tasarrufu verimliliği %64,2 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, sistemin amorti süresi 13,1 yıl olarak hesaplanmış ve yılda maksimum 156,1 kg CO₂ emisyonunun azaltıldığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu çalışma, PV/T-PCM sistemlerinin enerji verimliliği, ekonomik geri dönüş süresi ve çevresel etkiler açısından olumlu sonuçlar sunduğunu göstermektedir.

Adun ve arkadaşları [36], farklı bölgelerdeki tipik bir dört kişilik konut yerleşimi için elektrik ve sıcak su üretimi sağlayan su soğutmalı bir fotovoltaik/termal

sistemin performansını simüle ettikleri çalışmada, sistemin maksimum yıllık üretimini 1735 kWh/kWp olarak belirlemişlerdir.

Kyriaki ve Giama [37] çalışmalarında, bir konut binasına entegre edilen fotovoltaik/termal kolektörden enerjisini alan bir kombi sisteminin performansını incelemişler ve doğal gazlı ısıtmaya göre evsel ısıtma suyu ve alan ısıtmasında %5-7 arasında bir verim artışı elde ettiklerini belirlemişlerdir.

Podder ve arkadaşları [38], farklı kütle akış hızlarında fotovoltaik termal (PVT) sistemlerinin performansı incelenmiştir. Akış hızının artmasıyla birlikte, elektriksel ve ısı verimlerin arttığı gözlemlenmiştir. Akış hızının 0,004 kg/s'den 0,08 kg/s'ye çıkmasıyla maksimum elektriksel verim %89,96'ya ve ısı verim ise %11,47'ye ulaşmıştır. Bu sonuçlar, PVT sistemlerinde akış hızının verimliliği etkileyen önemli bir faktör olduğunu göstermektedir.

Wang ve Ji [39] kırsal binada PV/T duvarlarıyla entegre edilmiş kapsamlı bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. PV/T duvarlarının sayısal modellerini bina enerji yazılımıyla birleştiren yeni bir simülasyon yaklaşımı önermişler ve deneysel olarak doğrulamışlardır. Optimize edilmiş enerji depolama sistemine sahip demo binası, 1355,32 kWh temiz elektrik ve su ısıtması için 455,3 kWh ısı kazancı sağlamış ve soğutma ve ısıtma yüklerini sırasıyla %5 ve %12 azaltmıştır.

Wang vd. [40] geleneksel Çin binalarından esinlenerek, çok amaçlı kavisli PV/T çatı sistemleri tasarlamışlar ve test etmişlerdir. Çalışma sonucunda PV/su ısıtma modunda ortalama elektriksel verimliliğin %6,57 ve günlük termal verimliliğin %25,28 olduğunu göstermektedir. PV/hava ısıtma modunda ortalama elektriksel verimlilik %5,68'e ulaşırken, termal verimlilik %39,62'dir. Karşılaştırmalı deneyler, PV-doğal havalandırma modunda elektriksel verimlilikte %6,93 ve PV/su-doğal havalandırma modunda %1,93 artış olduğunu göstermektedir.

Ben Seddik vd. [41] Fas merkezli yaptıkları çalışmada, PV, PV/T ve Güneş destekli su ısıtma sistemlerinin enerji, ekserji, çevre ve ekonomik açıdan ele almışlar, Matlab ve TRNSYS programları ile simüle etmişlerdir. Sonuçlar, enerji açısından Fas yapı sektörünün üç güneş enerjisi sistemi için uygun bir zemin olduğunu göstermiştir.

Ekserji performansı açısından, PVT sistemi %12'lik daha yüksek bir toplam ekserji verimine sahipken, PV sistemi %11 ve Güneş destekli su ısıtma sistemi %3'lük bir verime sahiptir. Çevresel performans açısından, PVT ve Güneş destekli su ısıtma sistemleri, daha yüksek enerji üretimi nedeniyle (PV için minimum 351 kgCO₂/yıl ve Güneş destekli su ısıtma için maksimum 1809 kgCO₂/yıl) PV sistemini geride bırakmaktadır.

Zhou vd. [42] yaklaşık sıfır enerjili binalar ile ilgili araştırmalarında mekan ısıtması için PV/T kolektör kullandıkları TRNSYS modellemesi yapmışlardır. Simülasyon sonucunda termal verimlilikte %16,21, elektriksel verimlilikte %6,17 iyileşme görülmüştür.

Xie vd. [43] geleneksel PV/T sistemler ile ısı borulu PV/T sistemleri karşılaştırdıkları çalışmalarında, tanklı geleneksel sistemlerin ısı borulu sistemlere göre daha verimli oldukları sonucuna ulaşmışlardır.

Türkiye’de son yıllarda PV/T sistemlerin verimliliği ile ilgili çalışmalar hız kazanmıştır.

Ömeroğlu [44] hesaplamalı akışkanlar dinamiği programı kullanarak PV/T sistemlerin elektriksel ve termal veriminin aktif soğutma yapılarak nasıl iyileştirildiği yapay güneş ışınımı akısı altında incelemiştir.

Öksüz vd. [45] hesaplamalı akışkanlar dinamiği programı kullanarak hava ve su akışkanlı PV/T sistemleri incelemiştir. Sonuç olarak hava akışkanlı PV/T kolektörlerde su akışkanlı kolektörlere göre debinin artmasından dolayı verim artışı daha fazla olduğunu belirtmiştir.

Kılış [46] CO₂ salınımını azaltmak için yatay ve yaygın kentleşme modeli oluşturmuş ve örnek olarak güneş PV/T ve rüzgar enerjili hidrojen evi tasarlamıştır.

Yalılı Kılıç vd. [47] Bursa’da bir apartmanın elektrik ihtiyacının karşılanması için şebekeye bağlı PV/T sistem tasarımı gerçekleştirerek HOMER Pro programı ile maliyet analizi yapmıştır.

Atız [48] değişen, günlük, sabit güneş ışıını miktartarı ve değişen soğutma kulesi için EES programı ile analizler gerçekleştirmiştir. PV/T en yüksek günlük verimi su akışkanlı kolektörde %58.01, hava akışkanlı kolektörde %38.74 olarak hesaplamıştır.

Ökten [49] alışmasında PV panel, U borulu kolektör, PV/T kolektörleri ayrı ayrı ve birlikte kullanımını incelemiş. Nanoakışkan kullanılan PV/T sistemlerin su akışkanlı olan sistemlere göre %19.41 daha verimli olduğunu belirtmiştir.

PV/T sistemler ile ilgili yapılan yüksek lisans tez çalışmalarından Doğanay [50] Kırklareli ili iklim şartlarında, TRNSYST programı ile Kırklareli evre ve şehircilik İl Müdürlüğü Hizmet Binası için PV/T sistem analizi gerçekleştirmiştir.

Uçman [51] Osmaniye ili iklim şartlarında, binalara entegreli PV/T (BIPV/T) sistem deneyi gerçekleştirmiştir. Kapalı evrim kontrole sahip BIPV/T sisteminin standart BIPV/T sisteme göre elektrik ve termal veriminin iyi olduğunu hesaplamıştır.

Ezcan [52] İstanbul ili iklim şartlarında, MATLAB programı kullanılarak PV/T sistemin termal ve elektriksel verim ve g analizini yapmıştır. Elde edilen verilerin hem ekonomik kazanç hem de fosil yakıt tüketimindeki azalış sağladığını belirtmiştir.

Soydan [53] orum ili iklim şartlarında, Ağustos ayında yapmış olduğu deneysel çalışma sonucunda PV/T için en yüksek ısıl verimi %74, en yüksek elektriksel verimi %14,4 olarak hesaplamıştır. Sistemde kullandığı soğutma sistemi le yüzey ısısının düşürülmesiyle elektriksel verim %7.11 artmıştır.

Göksel [54] Ankara ili iklim şartlarında su soğutma işlemi yapılmayan PV panel genel verimini %16,12, su soğutması yapılan PV/T sistemin toplam verimini %69,38 olarak bulmuştur.

Bulakıbaşı [55] yüksek lisans çalışmasında Van ilinde bulunan bir ceviz işleme tesisinin enerji gereksiniminin PV/T sistem ile karşılanabileceğini hesaplamıştır. KFVT sistem kullanımı ile kurutma yapılması durumunda ise belirli

kurutma süreleri için (19-40 saat arası) doğalgaz ve fuel-oil kullanımına göre daha düşük ısıtma maliyetleri elde edilmiştir.

Koç [56] PV/T kolektörün elektriksel ve ısı performans değerlendirmesini yaparak yıllık enerji üretim miktarını belirlemiştir. Yapılan değerlendirme sonuçlarına göre ekonomik analiz yapılmış ve sistemlerin yatırım geri dönüş sürelerini hesaplamıştır. Sistemin matematiksel modelini MATLAB/Simulink programı ile çıkarmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda Manisa ilinde 7 yıl yatırım geri dönüş süresine sahip olduğu görülmüştür.

Yukarıdaki literatür taramalarında görüldüğü gibi bu tezin konusuna yakın çalışmalar yapılmış olmasına rağmen tezimizin ana amacı olan bir evin ısıtma ve elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanmasında su bazlı fotovoltaik termal hibrit bir sistemin bir bütün olarak çalışıldığı bir makale, bildiri ya da tez çalışmasına rastlanmamıştır.

2.4. Tezin Amacı

Manisa ili güneşlenme potansiyeli yüksek bir bölgedir. Bu potansiyel güneş enerjisi yatırımlarına elverişli hale getirmektedir. Güneş enerjisinden faydalanma daha çok fotovoltaik (PV) paneller ile elektrik üretimi ve termal kolektörler ile sıcak su üretimi olarak gerçekleştirilmektedir. Günümüz teknolojisiyle üretilen PV/T kolektörlerden ise elektrik enerjisinin yanı sıra termal enerji de elde edilebilmektedir.

Bu çalışmanın başlıca amacı, binalarda ısıtma ve elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanmasında su bazlı fotovoltaik termal hibrit sistemlerin tasarımının gerçekleştirilmesidir. Ayrıca PV/T kolektörlerin Manisa ili için uygunluğu araştırılarak, bölgedeki ev ısıtma alışkanlığının değiştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu sayede karbon emisyonunda azalma oluşacağı ve bu durumun iklim değişikliğine olumlu etki yapacağı düşünülmektedir.

Evlerde ısıtma için kullanılan elektrik ve doğal gaz enerjisi oldukça pahalıya mal olmaktadır, fosil yakıtlar ise çevre için zararlıdır ve doğalgaz hatları bölgede oldukça sınırlı bir alanda mevcuttur. Bölgedeki yüksek güneş potansiyeli göz önüne

alındığında PV/T kolektörler kullanılarak hem ısıtma hem de elektrik enerjisi elde ederek ihtiyaç duyulan enerjiyi daha ucuza ve daha sağlıklı olarak karşılamak mümkündür. Bu nedenle yapılan çalışma Manisa ili için oldukça büyük önem taşımaktadır.

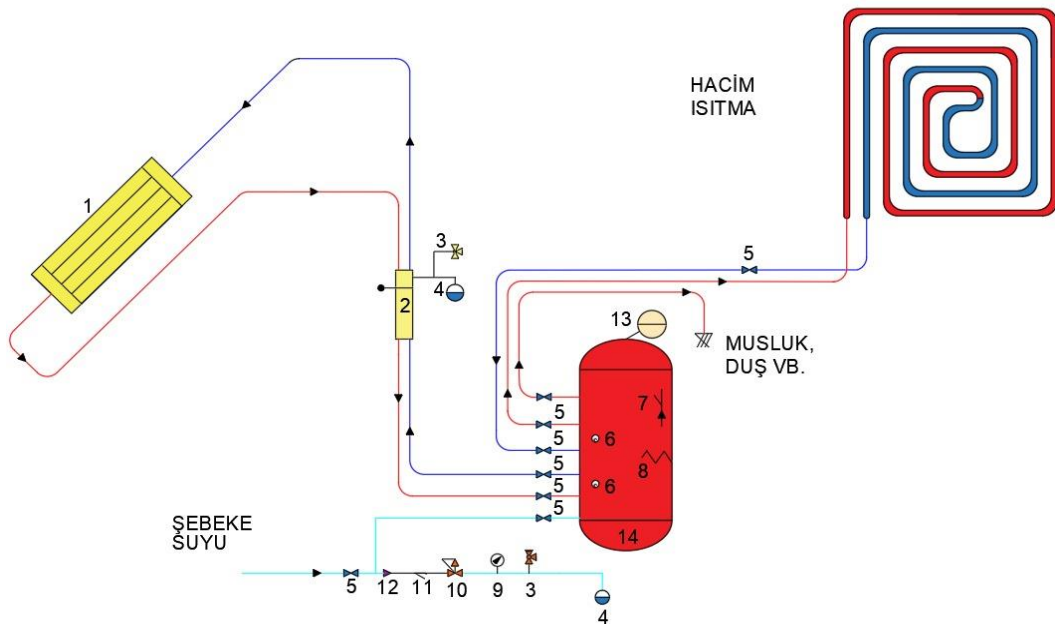
Bu tez çalışması, sürdürülebilir enerji kaynaklarının kullanımının teşvik edilmesi ve binalardaki enerji tüketiminin azaltılması potansiyeline sahip su bazlı fotovoltaik termal hibrit sistemlerinin tasarımı hakkında önemli ve anlaşılır bilgiler sunmayı hedeflemektedir.



3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

Bu çalışmada Manisa ili iklim koşullarında standart iki kişilik bir hane özelinde ihtiyaç duyulan termal ve elektrik enerjisi temini için su bazlı hibrit PV/T tasarım kriterleri, sistemin çalışma prensibi, binalarda ısıtma ve elektrik enerjisi ihtiyacını karşılama potansiyeli incelenmiştir. PV/T kollektörler için detaylı literatür taraması yapılarak, bu çalışma için sıvı tip PV/T kollektör uygun bulunmuştur. Seçilen PV/T kollektörün Ek-2’de verilen katalog teknik bilgileri kullanılarak teorik hesaplama yapılmıştır [56]. Yapılan teorik hesaplamalarda 2020 yılın ait saatlik sıcaklık ve ışınım değerleri kullanılmıştır. PV/T panelin 2020 yılına ait ürettiği elektrik enerjisi ve termal enerji hesaplanmıştır. Hesaplanan enerji değerleri hanemizin tükettiği elektrik enerjisi ve termal enerji ile orantılanmıştır. Böylelikle PV/T kolektörden bir yıllık elektrik ve termal enerjiden ne kadar yararlanabildiğimizi teorik olarak ifade edilmiştir. Excel platformu üzerinde yapılan işlemlerde kullanılan formüller Visual Basic programı kullanılarak kodlama yapılmıştır ve hesaplamalar teyit edilmiştir.. Hesaplanan değerler üzerinden CO₂ hesabı yapılarak engellenen CO₂ emisyonu hesaplanmıştır.

Sisteminin çalışma prensibinin blok şeması Şekil 3.1’de gösterildiği şekildedir.



Şekil 3.1. Su soğutmalı hibrit PV/T sistem blok şeması

Sistemde, ilk olarak şebekeden gelen su çift serpantinli boylerde depolanmaktadır. Daha sonra boylerden PV/T kolektöre iletilen su, burada ısınarak dönmekte ve evsel kullanım için iletilmektedir. Evsel kullanım sırasında soğuyan su tekrar boylere dönmekte ve oradan PV/T panele iletilmektedir. Kullanım suyu eğer PV/T kolektörlerde uygun sıcaklığa ulaşamadıysa boyler içerisinde bulunan rezistans ile ısıtılmaktadır.

Tablo 3.1. Su soğutmalı hibrit PV/T kolektör mekanik aksanları

SİSTEM ELEMANLARI	
1- PV/T Kolektör	8- Rezistans
2- Pompa ve Emniyet Grubu	9- Manometre
3- Emniyet Valfi	10- Çekvalf
4- Genleşme Tankı	11- Filtre
5- Vana	12- Basınç Düşürücü
6- Sıcaklık Sensörü	13- Basınç Sensörü
7- Termometre	14- Boyler Depo

Sistemde kullanılan ekipmanlar şu şekildedir.

PV/T Kolektör: Fotovoltaik ve termal kolektörleri bir araya getiren hibrit bir güneş panelidir. Hem elektrik üretir hem de ısıtma işlemi yapar.

Pompa ve Emniyet Grubu: Isıtma sisteminin sirkülasyon pompasını ve güvenlik bileşenlerini içeren bir kontrol grubudur.

Emniyet Valfi: Sistemdeki aşırı basıncı engellemek için tasarlanmış bir valftir.

Genleşme Tankı: Isıtma sistemindeki suyun sıcaklık değişimlerine bağlı olarak genişmesini karşılamak için kullanılan bir tanktır.

Vana: Su akışını kontrol etmek için kullanılan bir aygıttır.

Sıcaklık Sensörü ve Termometre: Sistemdeki sıcaklık değerlerini algılamak ve göstermek için kullanılır.

Rezistans: Gerekirse sistemin ısıtma işlemini elektrik enerjisiyle sağlamak için kullanılan bir bileşendir.

Manometre: Sistemdeki basıncı ölçmek için kullanılan bir cihazdır.

Çekvalf: Sistemin su kaybı durumunda suyun geri dönmesini önlemek için tasarlanmış bir valftir.

Filtre: Sistemdeki suyu temizlemek ve tortu birikimini önlemek için kullanılır.

Basınç Düşürücü: Yüksek basınçlı suyu düşük basınca indirmek için kullanılan bir cihazdır.

Basınç Sensörü: Sistemdeki basıncı algılayarak kontrol ve güvenlik amacıyla kullanılır.

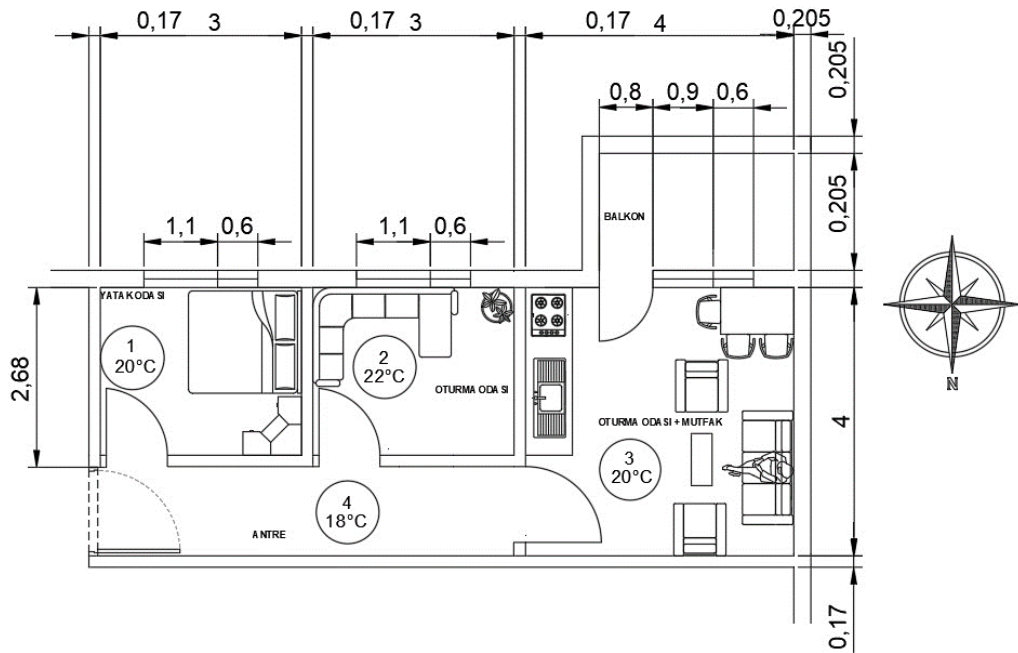
Boylar Depo: Sistemdeki ısıtılmış suyu depolamak ve gerektiğinde kullanmak için kullanılan bir depodur.

3.1. Referans Ev İçin Isı Gereksinimi Hesabı

Isıtma yapılacak olan ortamlar için gerçek ısı gereksinimi değeri; artırımlı iletimsel ısı gereksinimi (Q_i) ile hava sızıntısı ısı gereksinimi (Q_s) değerlerinin toplanması ile belirlenir (Eş.3.1) [57].

$$Q_h = Q_i + Q_s \quad (3.1)$$

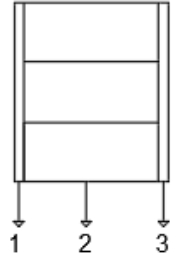
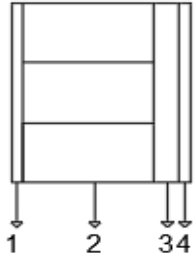
Bitişik düzen, çok serbest yapı özelliklerine sahip binanın 40 m² alana sahip dairenin planı Şekil 3.2'de gösterildiği şekildedir.



Şekil 3.2. Çalışmanın gerçekleştirildiği dairenin planı

Tablo 3.2’de iç ve dış duvarların malzeme detayı gösterilmiştir. Dairede bulunan pencereler, iç kapılar ve balkon kapısı ahşap basit ve tek camlı olup aralıksızdır.

Tablo 3.2. İç ve dış duvar malzeme detayı

		Malzeme	Kalınlık (m)	Isı iletim katsayısı (W/mK)
İç duvar		1. İç sıva	0,01	0,87
		2. Gazbeton	0,15	0,22
		3. İç sıva	0,01	0,87
Dış duvar		1. İç sıva	0,01	0,87
		2. Gazbeton	0,15	0,22
		3. Yalıtım	0,03	0,04
		4. Dış sıva	0,015	0,87

İç duvar için toplam ısı geçirme katsayısı hesabı Eşitlik 3.2’de dış duvar için toplam ısı geçirme katsayısı hesabı ise Eşitlik 3.3’te verilmiştir [57].

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{d_1}{\lambda_{h1}} + \frac{d_2}{\lambda_{h2}} + \frac{d_3}{\lambda_{h3}} + \frac{1}{\alpha_i} \quad (3.2)$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{d_1}{\lambda_{h1}} + \frac{d_2}{\lambda_{h2}} + \frac{d_3}{\lambda_{h3}} + \frac{d_4}{\lambda_{h4}} + \frac{1}{\alpha_d} \quad (3.3)$$

Bu eşitliklerde; U : Toplam ısı transfer katsayısını, α_i : İç yüzey termal iletkenlik direncini, d_1, d_2, d_3 : Malzeme kalınlıklarını, $\lambda_{h1}, \lambda_{h2}, \lambda_{h3}$: Malzeme ısı iletim katsayılarını, α_1 : İç yüzey ısı geçiş katsayısını, d_4 : Dış yüzey termal direncini, λ_{h4} :

Dış yüzey malzeme ısı iletkenlik katsayısını, a_d : Dış yüzey termal iletkenlik direncini ifade etmektedir.

Artırımılı iletimsel ısı gereksinimi (Q_i) Eşitlik 3.5'te gösterildiği şekildedir. Bu eşitlikte; Q_i : İletilen ısı miktarını, Q_0 : İlk kaynak ısı miktarını, %ZH: Hava akışı kaynaklı ısı kaybı yüzdesini, %ZD: Doğal konveksiyon kaynaklı ısı kaybı yüzdesini, %ZW: Işınım kaynaklı ısı kaybı yüzdesini ifade etmektedir.

$$Q_0 = \sum UA(T_i - T_d) \quad (3.4)$$

Artırımısız ısı değeri Q_0 (watt) ise Eşitlik 3.6'te ki formül kullanılarak hesaplanır [45]. Burada; U ısı geçirme katsayısı (W/m^2K), A alan (m^2), T_i ortam sıcaklığı ($^{\circ}C$), T_d merkezler için olan sıcaklığı ($^{\circ}C$) ifade etmektedir.

$$Q_i = Q_0 \times (1 + \%ZH + \%ZD + \%ZW) \quad (3.5)$$

Hava sızıntısı ısı gereksinimi Q_s (watt) ise Eşitlik 3.6'te ki formül kullanılarak hesaplanır [45]. Burada; a hava sızdırma katsayısını (m^3/mh), L pencere veya kapının açılır uzunluğunu (m), R oda durum katsayısını, H yapı durum katsayısını, ΔT iç-dış sıcaklık farkını, ZE dış duvar pencere sayısından kaynaklı katsayıyı ve E yapı durum katsayısı için düzeltme faktörünü ifade etmektedir.

$$Q_s = \sum a \times L \times R \times H \times \Delta T \times ZE \times E \quad (3.6)$$

TS 2164 binalarda ısıtma sistemi projelendirilmesine esas ısı gereksinim hesabı standartına göre Manisa ili için alınan değerler, oda durum katsayıları, alanları ve ısı geçirgenlik değerleri Ek 1'de gösterilmiştir.

3.2. Referans Ev İçin Yerden Isıtma Hesabı

Yerden ısıtma sistemleri, sıcaklık farkını düşürmek için yüzey alanını genişleterek daha az enerji harcanmasına yönelik yapılan mekan ısıtma sistemleridir . Homojen ısı dağılımı sağlanarak, daha konforlu bir ısıtma ile yakıt tasarrufu

sağlanmaktadır. İdeal ortam sıcaklığını elde etmek için yerden ısıtma maksimum 33°C dönüş suyu sıcaklığına göre tasarım yapılmalıdır. Kışın uç soğuk günlerinde ise bu değer en fazla 5 derece artış göstermelidir .

Yerden ısıtma sistemlerinde su girişi ile su çıkışı arasındaki sıcaklık farkının 5 ila 10 derece olması önerilmektedir [58]. Tablo 3.3'te yerden ısıtma sistemlerinde kullanılan boruların özellikleri verilmiştir [59]. Tablo 3.3'teki veriler farklı çaplardaki boruların et kalınlığı, ağırlık, su taşıma kapasitesi ve rulo boyu gibi önemli özelliklerini karşılaştırmak için kullanılmaktadır.

Tablo 3.3. Yerden ısıtma sistemlerinde kullanılan boruların özellikleri

Çap (mm)	14	16	17	18	20	26	32
Et kalınlığı (mm)	2	2	2	2	2	3	3
Ağırlık (kg/m)	0,078	0,091	0,098	0,104	0,12	0,22	0,26
Su taşıma kapasitesi (l/m)	0,079	0,113	0,133	0,154	0,201	0,314	0,531
Rulo boyu (m)	200	200	200	200	200	100	50

Yerden ısıtma sisteminin çalışma sıcaklık değer aralığı 30-40 °C'dir. 1 m² bir alan için ortalama 7 m boru uzunluğu gerekmektedir [58]. Çalışma alanı 40 m² için yerden ısıtma sisteminde kullanılan boru uzunluğu toplam 280 m'dir. Bu veriler ışığında yerden ısıtma sistemi boru çapı 18 mm, su taşıma kapasitesi 0,154 l/m olarak belirlenmiştir [59].

3.3. Referans Ev İçin Kullanım Suyu İhtiyacının Belirlenmesi

Dâhili sıcak su kullanımı olan birimlerde, sıcak su tüketim miktarı, tüketim birimindeki insanların hayat standartları, alışkanlıkları, kültür ve eğitim düzeyleri ile ilişkili olmakla birlikte en önemli gösterge ekonomik gelir seviyesidir. Tablo 3.4'te ekonomik gelir seviyesine göre kişi başına düşen sıcak su tüketimi gösterilmiştir [56].

Tablo 3.4. Kişi başına düşen sıcak su tüketimi

Ekonomik Gelir	Kişi Başına Düşen Sıcak Su Miktarı (l/gün)
Dar gelir grubu	30-50
Orta gelir grubu	50-70
Üst gelir grubu	70-90
En üst gelir grubu	90-150

Orta gelir grubuna dâhil bir aile için kişi başı günlük sıcak su ihtiyacı ortalama en az 50 litre olarak belirlenmiştir.

3.4. Referans Ev İçin Elektrik Enerjisi Kullanımı

Güneş enerjisi ile elektrik üretmek için tasarlanan sistemde, günlük enerji kaybı, yüklerin ortalama güçleri ile yükün maksimum gücü, sistemin çalışma gerilimi ve miktarı dikkate alınması gereken önemli parametrelerdir.

Tablo 3.5. Referans ev için günlük elektrik enerjisi kullanımı

Yük	Ortalama Güç (W)	Çalışma Süresi (h)	Adet	Günlük Enerji Tüketimi (Wh)	Haftalık Enerji Tüketimi (Wh)
Aydınlatma	12	5	4	240	1680
Buzdolabı	200	10	1	2000	14000
Çamaşır makinesi	1500	2 (haftalık)	1	-	3000
Ütü	2000	2 (haftalık)	1	-	4000
Televizyon	120	4	1	480	3360
Bilgisayar	150	3	2	900	6300

Temel ihtiyaçlar göz önünde bulundurularak hazırlanan Tablo 3.5'te iki kişilik bir ailenin ortalama günlük elektrik enerjisi kullanımı verilmiştir. Bu verilere doğrultusunda dört kişilik bir ailenin ortalama haftalık elektrik enerjisi tüketimi 32,340 Wh ve ortalama günlük elektrik enerjisi tüketimi ise yaklaşık 4,6 kWh'dir.

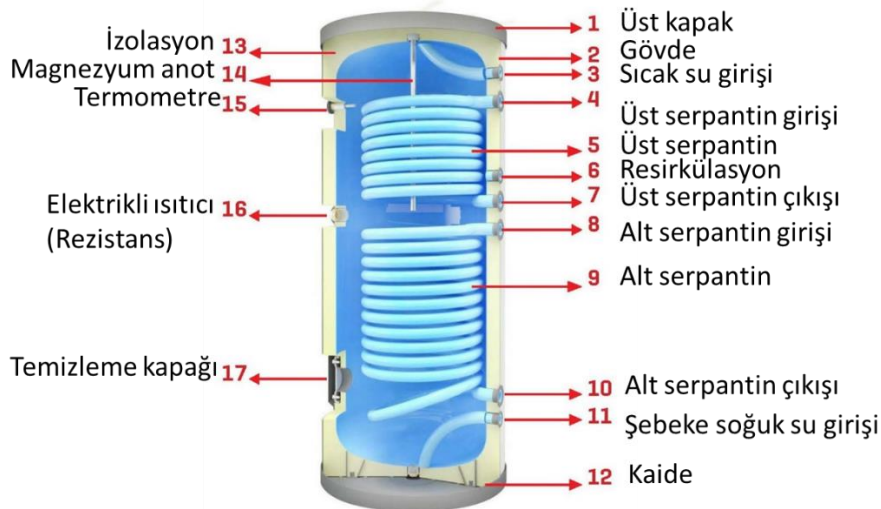
3.5. Referans Ev İçin Boyler Hesabı

Boyerler, hastane, okul, fabrika, apartman gibi merkezi sıcak su hazırlama sistemi kullanılan yerlerde genelde elektrik enerjisinden sıcak suyu temin eden ve depolayan cihazlardır. Boylerler, esas itibarıyla ısı değiştiricilerdir. Isıtma hattı sıcak suyu (ya da buharı) yardımıyla, kullanım amaçlı 40-60 °C sıcaklıkta su üretirler. Genel olarak yapılarda sağlanması gereken kullanma suyu sıcaklığı, ihtiyaca bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Konut kullanımlarında 40-45 °C olarak; otel (çamaşırhane), sauna, sanayi tesisi gibi kullanımlarda 60 °C olarak kabul edilebilir.

Kullanım yeri büyüklüğü ve amacına göre tek veya çift serpantinli olabilirler. Isıtıcı akışkanın ısıyı serpantinler ile kullanım suyuna aktarılır. Çift serpantinli boylerler, güneş enerjisi sistemleri, kalorifer kazanları, ısı pompası gibi iki ısı kaynağından aynı anda aldığı ısıyı kullanabilen sistemlerdir. Şekil 3.3'te çift serpantinli boylerin şeması gösterilmiştir [60].

Boyerlerin içerdikleri su miktarının sıcaklık değerleri farkına göre ısı yük hesabı Eşitlik 3.7'de gösterildiği şekildedir [61]. Burada; c suyun özgül ısısını (4.186 kJ/kg°C), m ise boyler içindeki su kütlesini belirtmektedir.

$$Q = m \times c \times \Delta T \quad (3.7)$$



Şekil 3.3. Çift serpantinli boyler [62]

Esnek serpantin grubu, TS ISO 1129 standartlarına ve Basıncılı Ekipmanlar Yönetmeliği (97/23/AT) gerekliliklerine uygun olarak tasarlanmıştır. Isıtıcı akışkan, serpantin aracılığıyla kullanım suyuna aktarılır, böylece kullanma suyu ısıtıcı kaynağından aldığı enerjiyle sıcak suya dönüşür. Sistem, otomasyonlu bir pompa tarafından kontrol edilen ve yalnızca ihtiyaç olduğunda çalışan bir yapıya sahiptir. Dik tip depolama sisteminde TS EN 12897 ve TS 736 standartlarına uygun olarak temizleme kapağı bulunur ve gerektiğinde elektrikli bir ısıtıcı takılabilir. Ayrıca, sistem rezistans girişiyle elektrikli ısıtıcıya destek olacak şekilde hazırlanmıştır.

Tablo 3.6. Farklı yapı türleri için tahmini su tüketim miktarları (l/h) ve katsayılar

	Apartman (Konut)	Hastane	Otel	Fabrika	Konut (Özel)	Okul (Yatılı)
Özel lavabo	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Genel banyo	5-15	20	30	40	-	50
Banyo	150-250	250	250	-	250	-
Duş	250	250	250	750	250	250
Mutfak eviyesi	35	70	70	70	35	35
Çamaşırılık eviyesi	70	75	75	-	70	-
Bulaşık makinesi	40	200-400	200-600	75-300	40	75-300
Kullanma Katsayısı	0,3	0,25	0,25	0,4	0,3	0,4
Depolama Katsayısı	1,25	0,6	0,8	1	0,7	1

Tablo 3.6’da, farklı yapı türleri için farklı kullanım alanlarında bulunan tesisat ekipmanlarının (lavabo, banyo, duş, mutfak eviyesi vb.) tahmini su tüketim miktarlarını ve kullanma katsayılarını göstermektedir. Ayrıca, depolama katsayıları da belirli bir yapı türünde kullanılan suyun depolanma kapasitesini temsil etmektedir [62].

3.6. Referans Ev İçin PV/T Panel Hesabı

PV/T sistemlerin termal ve elektriksel kazançlarını analiz etmek amacıyla Hottel-Whillier denklemleri geliştirilmiştir [63,64].

$$Q_{termal} = A F_R ((\tau\alpha)_{PV} G - U_{kayıp} (T_g - T_ç)) \quad (3.8)$$

Bu denklemde, Q_{termal} ; PV/T panelin ısı kazancını (kW), A ; panel alanını (m^2), F_R ; düzeltme faktörünü, $(\tau\alpha)_{PV}$; PV hücrelerin geçirgenlik-soğurma katsayısını, G ; güneş ışınım miktarını (W/m^2), $U_{kayıp}$; ısı kayıp katsayısını (W/m^2K), T_g ; kolektörden geçen akışkan sıcaklığını (K) ve $T_ç$; çevre sıcaklığını (K) belirtmektedir.

PV/T sistemde üretilen elektrik enerjisi ($Q_{elektrik}$) Eşitlik 3.9 ile bulunur [66,67].

$$Q_{elektrik} = Pr \times A \times G \times \eta \times t \quad (3.13)$$

Burada; Pr performans oranını, η elektriksel verimi göstermektedir.

PV/T panelin termal enerji hesabında kullanılan veriler Tablo 3.7’de verilmiştir. Manisa ili çevre sıcaklığı ($T_ç$) değerleri için Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden alınan günlük veriler kullanılmıştır. PV/T panelin teknik bilgileri Ek-2’de verilmiştir.

Tablo 3.7. PV/T panel termal enerji hesap verileri

Özellik	Simge	Değer
Alan (m^2)	A	1,68
Kolektör ısı kazanç faktörü	F_R	0,85
PV etkin geçirgenlik soğurma katsayısı	$(\tau\alpha)_{PV}$	0,83
Toplam ısı kayıp katsayısı (W/m^2K)	$U_{kayıp}$	6,18
Panel verimi (%)	η	0,215
Performans oranı	Pr	0,75
Kolektörden geçen akışkan sıcaklığı (K)	T_g	40
Zaman (h)	t	1

3.7. Referans Ev İçin Pompa Hesabı

Sirkülasyon pompası, boiler kazanda ısıtılan suyun ısı yayıcı cihazlara ulaştırılan mekanik cihazlardır. Yerden ısıtım sistemlerinde pompa hesabı yapılırken Eşitlik 3.10 ve Eşitlik 3.11’den faydalanılır [65,67].

$$\dot{V} = \frac{\text{kazan kapasitesi}}{1000 \cdot \Delta T} \left(\frac{m^3}{h} \right) \quad (3.10)$$

$$\dot{V}_{\text{boiler}} = 0,05 V_{\text{boiler}} \left(\frac{m^3}{h} \right) \quad (3.11)$$

Sistem tesisatındaki basınç kayıpları basma yüksekliği (H) olarak adlandırılır ve Eşitlik 3.12 ile bulunur [68].

$$H = 0,04 \text{ Binanın (Eni + Boyu + Yüksekliği)} (mSS) \quad (3.12)$$

Referans olarak alınan dairenin ihtiyacını karşılayan pompanın özellikleri;

- $\dot{V} = \frac{\text{kazan kapasitesi}}{1000 \cdot \Delta T} = \frac{13,54 \text{ kWh} \cdot 860 \frac{\text{kcal}}{\text{kWh}}}{1000 \cdot (40-30)} = 1,16 \left(\frac{m^3}{h} \right)$
- $H = 0,04 * (25 + 20 + 15) = 2,4 \text{ mSS}$
- $2,4 \text{ mSS} * 0,007500617 \text{ mmHg} = 0,018 \text{ Pa}$

3.8. Referans Ev İçin İnverter Hesabı

Fotovoltaik termal kolektörlerde üretilen doğru akım değerini, alternatif akım elektriğine gereksinim gösteren uygulamalarda kullanılmak üzere inverterlere ihtiyaç duyulur. İnverterler bir konuttaki elektrik harcayan cihazların aynı anda çalışmasında oluşacak yükü kaldırabilmelidir. İnverter gücü ise sisteme bağlı yüklerin toplam gücüne göre belirlenir. İnverter maksimum güç kapasitesi, toplam yükün yaklaşık olarak yüzde 30 fazlası olmalıdır. Bu sistemin sağlıklı bir şekilde çalışması için önemlidir [69,71].

$$\text{Toplam güç (W)} = \text{Cihaz sayısı} \times \text{Cihaz yükü (W)} \quad (3.13)$$

$$\text{İnverter gücü (W)} = \text{Toplam güç (W)} \times 1.3 \quad (3.14)$$

$$\text{İnverter gücü (W)} = [(12 \times 4) + (200 \times 1) + (150 \times 1) + (120 \times 1) + (150 \times 1)] \times 1.3$$

$$\text{İnverter gücü} = 868,4 \text{ W}$$

Bu çalışmada 1.5 kW gücünde 1 adet inverter seçilmiştir.



4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Manisa İli iklim koşullarında standart iki kişilik bir hane özelinde ihtiyaç duyulan termal ve elektrik enerjisi temini için su bazlı hibrit PV/T kullanımı, kış dönemi (15 Kasım – 15 Mart) için saatlik çevre sıcaklığı ve kolektöre gelen güneş ışınım miktarına göre hesaplanmıştır.

4.1. Yerden Isıtma Sisteminde Kullanılan Su Miktarının Hesabı

Yerden ısıtma sisteminde kullanılan su miktarının belirlenmesinde öncelikle 15 Kasım – 15 Mart arası her ayın en soğuk günü için, bu günlere göre evin ısıtılması için gerekli olan ısı miktarı hesaplanmıştır. Bu hesaplama yapılırken bölüm 3.1’de verilen formüller ve tablolardan yararlanılmıştır. Buna göre;

- Kasım ayının en soğuk günü için 1,823 kWh,
- Aralık ayının soğuk günü için 1,692 kWh,
- Ocak ayının en soğuk günü için 1,603 kWh,
- Şubat ayının en soğuk günü için 1.668 kWh,
- Mart ayının en soğuk günü için 1,708 kWh

Isı enerjisi ihtiyacı doğmaktadır. Yerden ısıtmada elde edilecek enerji verimliliği değerinin bu değeri karşılaması gerekmektedir.

280 m uzunluğundaki borulardan geçen su miktarı;

$$\text{Borulardan geçen günlük su miktarı} = 280 \text{ m} * 0,154 \frac{\text{l}}{\text{m}} = 43,12 \text{ l}$$

2 kişilik ailenin günlük su kullanımı ile birlikte toplam gerekli olan su miktarı;

$$\text{Toplam su miktarı} = 45 \text{ l} * 2 + 43,12 \text{ l} = 133,12 \text{ l} \cong 135 \text{ l}$$

olarak hesaplanmıştır.

Kasım ayı için boyler ısıtma yükü hesabında, depodaki 135 litre suyun sıcaklığını 19,3 °C’den 40 °C’ye çıkarmak için gereken ısı enerjisi, 13,54 kWh olarak

hesaplanmaktadır. Bu değer, şebeke suyu sıcaklığı 19,3 °C [12] olarak kabul edildiğinde elde edilmektedir.

$$Q = m \times c \times \Delta T \quad (4.1)$$

$$Q_B = 135 \text{ kg} \times 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \times (40 - 19,3)^\circ\text{C} * 1,16 \frac{\text{Wh}}{\text{kJ}} * \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}}$$

$$Q_B = 13,54 \text{ kWh}$$

40 °C'ye ısıtılan 135 l suyun 45 l'si yerden ısıtma sisteminde dolaşıp 30 °C'ye düşüp depoya dönecektir, depodaki 135 l su ısı kaybedecektir, bu kapalı çevrimde her dönüş yapıldığında depodaki suyun sıcaklığı termodinamiğin 2. Yasası olan enerjinin korunumu yasası ile kütle korunumu yasası kullanılarak hesaplanmıştır (Eş. 4.2) [72]. Kütle korunumu yasası, kapalı olan bir sistemde var olan çevrimler ve işlemler ne olursa olsun kütle sabit kalacağını belirten yasadır [73].

$$m_1 h_1 + m_2 h_2 = m_3 h_3 \quad (4.2)$$

Burada; m kütle (kg), h entalpi değerini (kJ/kg) belirtmektedir. Kütle korunumu formülü kullanılarak entalpi değeri hesaplanmıştır, bu entalpi değerlerine karşılık gelen sıcaklık değeri termodinamik A-4 tablosu kullanılarak bulunmuştur [74].

$$45 \text{ kg } h_{f@30^\circ\text{C}} + (135 - 45) \text{ kg } h_{f@40^\circ\text{C}} = 135 \text{ kg } h_3$$

$$h_3 = 153,6 \text{ kJ/kg}$$

$h_3 = 153,6 \text{ kJ/kg}$ entalpi değerine karşılık gelen sıcaklık değeri Tablo A-4'ten interpolasyon yapılarak 36,7 °C olarak hesaplanmıştır. Günün diğer saatlerinde 45 litre yerden ısıtma sistemi suyu (30 °C)'de döndüğü zaman boylardaki son su sıcaklığı (36,7 °C) ve bu suyun (40 °C)'ye ısıtılması için gerekli olan miktar **2,16 kWh** olarak hesaplanmıştır.

Saat 11:00 ve 15:00 da sistemden banyo ve mutfak kullanımından dolayı 45 litre daha su azaldığı ve bu değer boylara şebeke suyundan ekleme yapıldığı

varsayılmıştır. Kütlenin korunumu formülü kullanılarak boylerdeki son sıcaklık 29,8 °C olarak hesaplanmıştır. Boylerdeki son sıcaklık (29,8 °C) ve bu suyun (40 °C)'ye ısıtılması için gerekli olan güç değeri **6,68 kWh** olarak hesaplanmıştır.

Aralık ayında şebeke suyu sıcaklığı 15,2 °C [12] ve saat 11:00 ve 15:00 da sistemden banyo ve mutfak kullanımından dolayı 45 litre daha su azaldığı ve bu değer boylere şebeke suyundan ekleme yapıldığı varsayılmıştır. Boylerdeki son sıcaklık kütlenin korunumu formülü ile 28,4 °C ve bu suyun (40 °C)'ye ısıtılması için gerekli olan güç değeri **7,59 kWh** olarak hesaplanmıştır.

Ocak ayında şebeke suyu sıcaklığı 12,3 °C [12] ve saat 11:00 ve 15:00 da sistemden banyo ve mutfak kullanımından dolayı 45 litre daha su azaldığı ve bu değer boylere şebeke suyundan ekleme yapıldığı varsayılmıştır. Boylerdeki son sıcaklık kütlenin korunumu formülü ile 27,4 °C ve bu suyun (40 °C)'ye ısıtılması için gerekli olan güç değeri **8,25 kWh** olarak hesaplanmıştır.

Şubat ayında şebeke suyu sıcaklığı 11,1 °C [12] ve saat 11:00 ve 15:00 da sistemden banyo ve mutfak kullanımından dolayı 45 litre daha su azaldığı ve bu değer boylere şebeke suyundan ekleme yapıldığı varsayılmıştır. Boylerdeki son sıcaklık kütlenin korunumu formülü ile 27 °C ve bu suyun (40 °C)'ye ısıtılması için gerekli olan güç değeri **8,51 kWh** olarak hesaplanmıştır.

Mart ayında şebeke suyu sıcaklığı 11,9 °C [12] ve saat 11:00 ve 15:00 da sistemden banyo ve mutfak kullanımından dolayı 45 litre daha su azaldığı ve bu değer boylere şebeke suyundan ekleme yapıldığı varsayılmıştır. Boylerdeki son sıcaklık kütlenin korunumu formülü ile 27,3 °C ve bu suyun (40 °C)'ye ısıtılması için gerekli olan güç değeri **8,31 kWh** olarak hesaplanmıştır.

4.2. Rezistans Gücü Hesabı

PV/T sistemin yetemediği yerlerde boylerde bulunan suyun ısıtılmasında kullanılan rezistansın verileri Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Rezistans hesap verileri

Özellik	Simge	Değer
Rezistans gücü (kW)	P	3000
Suyun kütlesi (kg)	m	135
Suyun öz ısı (kJ/kg°C)	c	1

Boylerde bulunan suyun ilk ısıtması için gereken süre;

$$t = \frac{\text{İhtiyaç duyulan enerji (cal)}}{\text{Harcanan enerji } \left(\frac{\text{cal}}{\text{h}}\right)} = \frac{m \times c \times \Delta T}{P \times 0,24} \quad (4.3)$$

Bu denklemde ihtiyaç duyulan enerji (Q), çalışmanın yapıldığı evin ısınma ve sıcak su ihtiyacının karşılanması için gereken enerji miktarının kalori biriminden değeridir. Harcanan enerji miktarı ise; suyun boylerde ısıtılması için gerekli olan rezistans gücünün (P) watt biriminden değerinin, watt-kalori/saat dönüşüm katsayısı olan 0,24 değeri ile çarpımıdır.

4.3. Termal & Elektrik Enerji Hesabı

Çalışma dört ayrı versiyonda yapıлып sonuç grafikleri çıkartılmıştır. Saatlik, aylık değişimler incelenmiştir ve yıllık toplamlar alınıp tasarlanan sistemden ne kadar yararlanılabildiği bulunmuştur. Saatlik hesaplanan veriler her ay için günlük ortalama grafikleri Ek 3'te gösterilmiştir. Her ayın üretim ve tüketim değerleri, aylardaki artış ve azalışları göstermektedir. En çok hangi saatlerde ve aylarda üretim ve tüketim olduğunu kurduğumuz sistemden en çok yararlanabileceğimiz gün ve aylar görülmektedir.

Excel platformunda hesaplanan termal ve elektrik enerjisi formülleri Visual Basic programı üzerinde kodlanmıştır ve hesaplamalar tekrardan yapılmıştır [75,76]. Visual Basic'ten alınan değerler ile Excel'den hesaplanan değerler birbirini karşılamıştır Ek 4'te gösterilmiştir.

4.3.1. 1 Adet PV/T Kolektörün Termal & Elektrik Enerjisi Hesabı

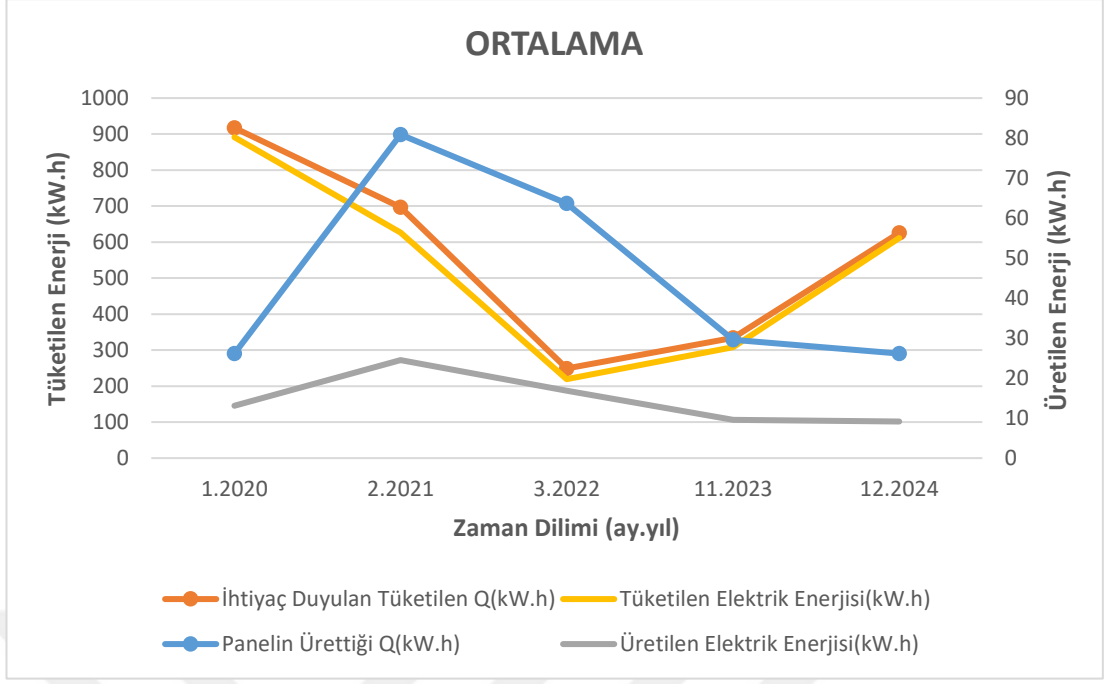
Manisa ili Turgutlu ilçesinde bulunan referans alınan dairede, 15-30 Kasım tarihleri arası 333,67 kW, 01-31 Aralık tarihleri arası 625,60 kW, 01-31 Ocak tarihleri arası 917,25 kW, 01-28 Şubat tarihleri arası 696,73 kW, 01-15 Mart tarihleri arası 248,99 kW olmak üzere toplam 2822,24 kW termal güç değeri ihtiyaç duyulmaktadır.

1 adet PV/T panelin kullanıldığı senaryoda 15-30 Kasım tarihleri arası 29,55 kWh, 01-31 Aralık tarihleri arası 42,78 kWh, 01-31 Ocak tarihleri arası 26,13 kWh, 01-28 Şubat tarihleri arası 80,87 kWh, 01-15 Mart tarihleri arası 63,64 kWh olmak üzere toplam 242,97 kWh termal güç elde edilmiştir.

1 adet PV/T panelin kullanıldığı senaryoda, 15-30 Kasım tarihleri arası 307,93 kWh, 01-31 Aralık tarihleri arası 611,38 kWh, 01-31 Ocak tarihleri arası 891,28 kWh, 01-28 Şubat tarihleri arası 626,65 kWh, 01-15 Mart tarihleri arası 219,22 kW olmak üzere yıllık 2656,46 kWh toplam elektrik tüketimi gerçekleştirilmiştir.

1 adet PV/T panelin kullanıldığı senaryoda, 15-30 Kasım tarihleri arası 9,88 kW, 01-31 Aralık tarihleri arası 17,64 kWh, 01-31 Ocak tarihleri arası 13,45 kWh, 01-28 Şubat tarihleri arası 25,06 kWh, 01-15 Mart tarihleri arası 17,39 kWh olmak üzere yıllık 83,42 kWh toplam elektrik üretimi gerçekleştirilmiştir.

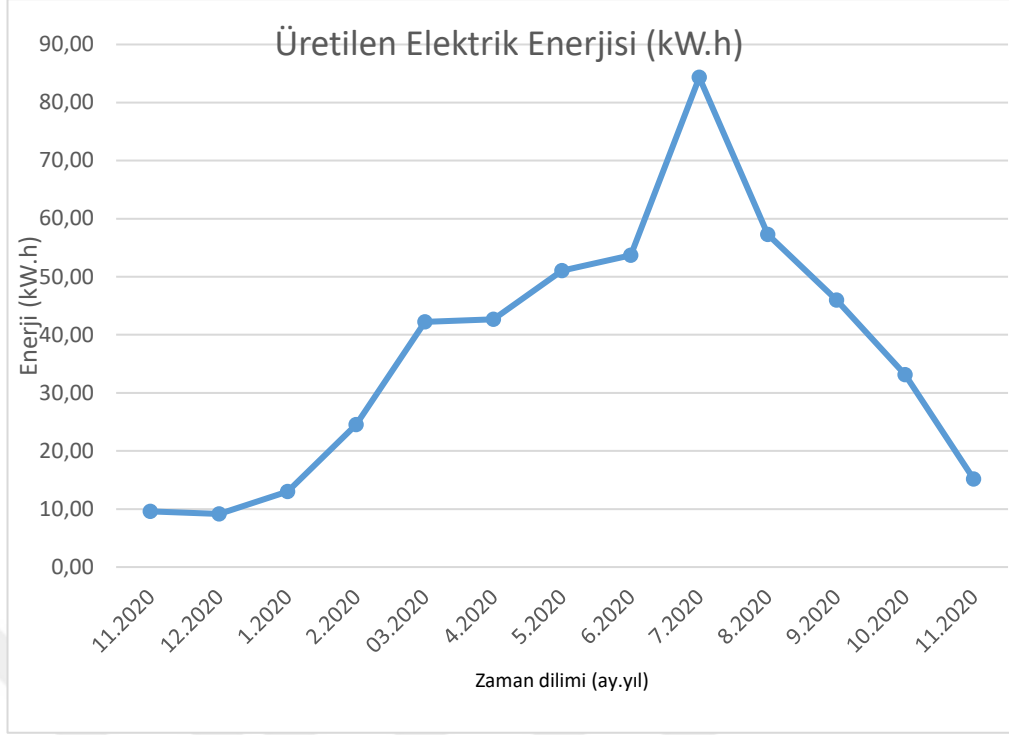
PV/T panelin termal ve elektrik üretim miktarları çevre şartlarına (çevre sıcaklığı, su sıcaklığı, güneş ışınım miktarı, rüzgar vs.) bağlı olarak değişmektedir. Ek 3-A'da verilen grafikler incelendiğinde en düşük ve en yüksek elektrik üretim günleri sırasıyla 4 Aralık (0,15 kWh) ve 11 Mart (1,54 kWh) tarihleridir. En düşük termal enerji üretimi 26 Aralık – 3 Ocak tarihleri arasında (0,01 kWh) gerçekleşirken, en yüksek termal enerji üretimi ise 11 Mart tarihinde 6,5 kWh ile gerçekleşmiştir. Şekil 4.1'de ortalama ölçüm verileri gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Kasım - Mart ayları termal – elektrik tüketim ve üretim ortalama ölçüm verileri

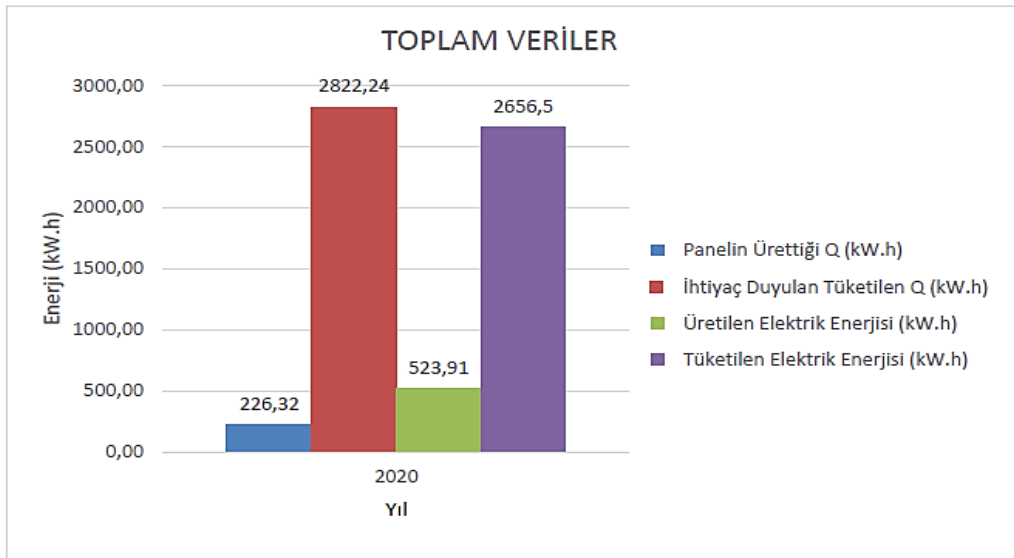
Kasım ayında üretilen elektrik enerjisi miktarı 9,58 kilowatt saat (kWh) iken, Aralık ayında bu miktar 9,15 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu, Kasım ayına kıyasla üretilen elektrik enerjisi miktarının Aralık ayında bir miktar azaldığını göstermektedir. Ocak ayında üretilen elektrik enerjisi miktarı 13,01 kWh olup, Şubat ayında bu miktar 24,50 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu, enerji panelinin kapasitesinin artırıldığını veya hava koşullarının daha elverişli olduğunu göstermektedir. Mart ayında üretilen elektrik enerjisi miktarı 42,21 kWh olup, Nisan ayında bu miktar 42,67 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu dönemde üretilen enerji miktarı hemen hemen aynıdır.

Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında üretilen elektrik enerjisi miktarları ise sırasıyla 51,05 kWh, 53,69 kWh ve 84,33 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu aylarda üretilen elektrik enerjisi miktarının arttığı görülmektedir. Ağustos ayında üretilen elektrik enerjisi miktarı 57,26 kWh iken, Eylül ayında bu miktar 45,99 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu dönemde üretilen enerji miktarı azalmıştır. Ekim ayında üretilen elektrik enerjisi miktarı 33,12 kWh olup, Kasım ayında bu miktar 23,27 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu dönemde üretilen enerji miktarı azalmaya devam etmiştir. Şekil 4.2’de ay bazında üretilen elektrik enerjisi miktarları gösterilmektedir.



Şekil 4.2. Yıllık ortalama ölçüm verileri

Veriler, bir enerji panelinin ürettiği elektrik enerjisi miktarı ile ihtiyaç duyulan enerji miktarı arasındaki önemli farkı göstermektedir (Şekil 4.3). Panel tarafından üretilen elektrik enerjisi 532,03 kWh iken, ihtiyaç duyulan enerji miktarı 2822,24 kWh'dir.



Şekil 4.3. Yıllık toplam ölçüm verileri

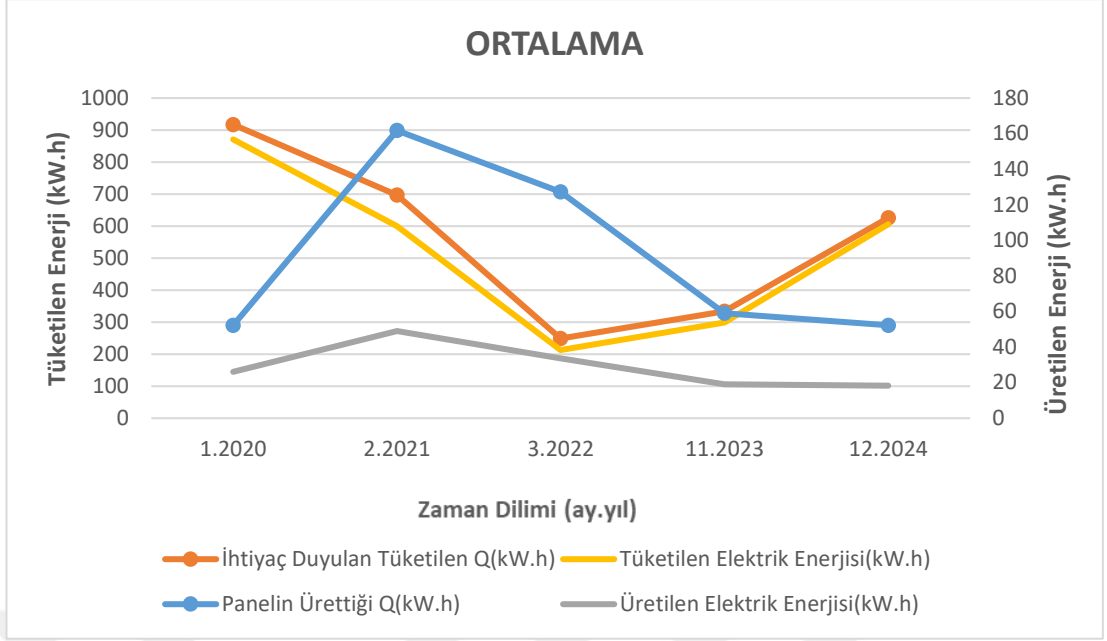
4.3.2. 2 Adet PV/T Kolektörün Termal & Elektrik Enerjisi Hesabı

2 adet PV/T panelin kullanıldığı senaryoda 15-30 Kasım tarihleri arası 59,09 kWh, 01-31 Aralık tarihleri arası 52,26 kWh, 01-31 Ocak tarihleri arası 52,26 kWh, 01-28 Şubat tarihleri arası 161,79 kWh, 01-15 Mart tarihleri arası 127,28 kWh olmak üzere toplam 485,94 kWh termal güç elde edilmiştir.

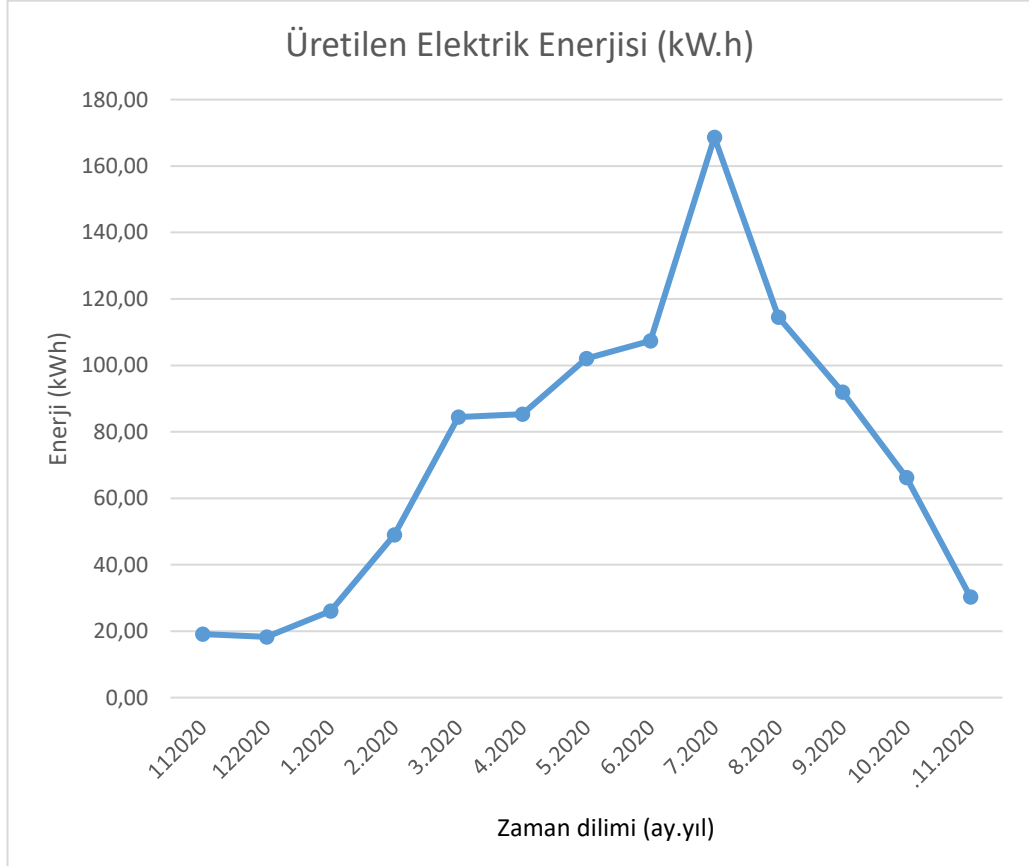
2 adet PV/T panelin kullanıldığı senaryoda, 15-30 Kasım tarihleri arası 298,82 kWh, 01-31 Aralık tarihleri arası 605,71 kWh, 01-31 Ocak tarihleri arası 870,79 kWh, 01-28 Şubat tarihleri arası 600,26 kWh, 01-15 Mart tarihleri arası 212,95 kWh olmak üzere yıllık 2588,53 kWh toplam elektrik tüketimi gerçekleştirilmiştir.

2 adet PV/T panelin kullanıldığı senaryoda, 15-30 Kasım tarihleri arası 19,15 kWh, 01-31 Aralık tarihleri arası 18,29 kWh, 01-31 Ocak tarihleri arası 26,02 kWh, 01-28 Şubat tarihleri arası 49,01 kWh, 01-15 Mart tarihleri arası 33,68 kWh olmak üzere yıllık 166,84 kWh toplam elektrik üretimi gerçekleştirilmiştir.

PV/T panelin termal ve elektrik üretim miktarları çevre şartlarına (çevre sıcaklığı, su sıcaklığı, güneş ışınım miktarı, rüzgar vs.) bağlı olarak değişmektedir. Ek 3-B’de verilen grafikler incelendiğinde en düşük ve en yüksek elektrik üretim günleri sırasıyla 4 Aralık (0,31 kWh) ve 11 Mart (3,08 kWh) tarihleridir. En düşük termal enerji üretimi 26 Aralık – 3 Ocak tarihleri arasında (0,02 kWh) gerçekleşirken, en yüksek termal enerji üretimi ise 11 Mart tarihinde 13,1 kWh ile gerçekleşmiştir. Şekil 4.4’te ortalama ölçüm verileri ile Şekil 4.5’te ay bazında üretilen elektrik enerjisi miktarları gösterilmektedir.



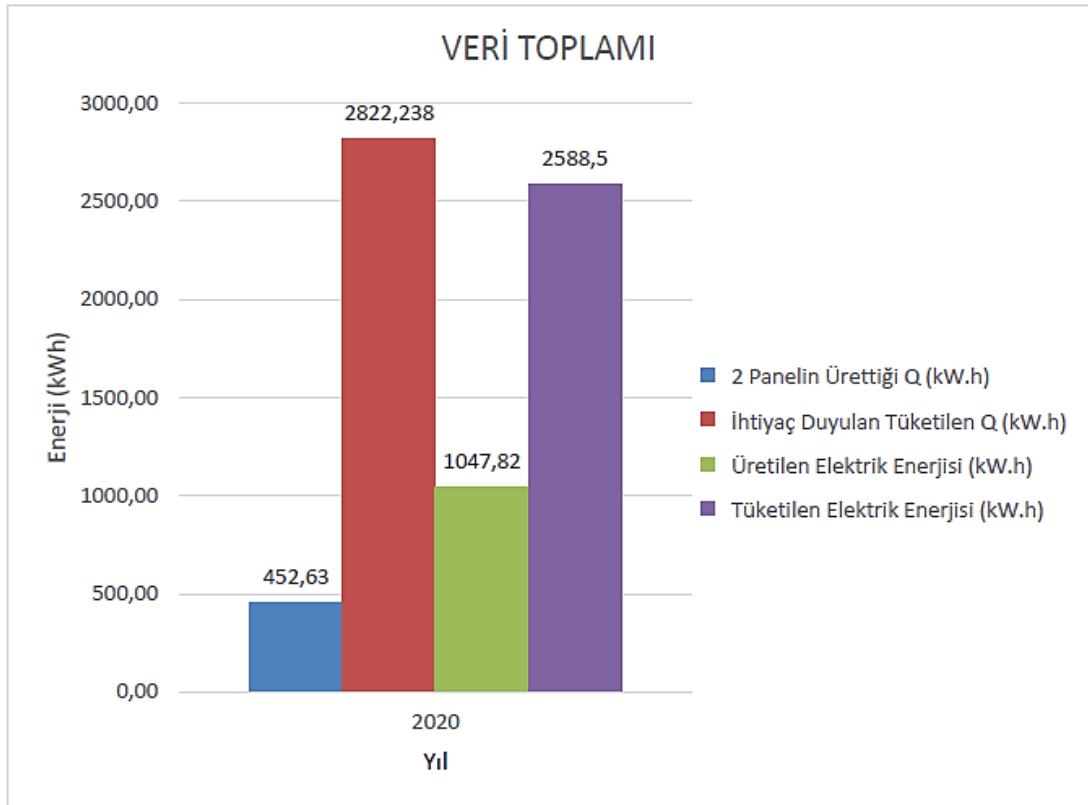
Şekil 4.4. Kasım - Mart ayları termal – elektrik tüketim ve üretim ortalama ölçüm verileri ortalama ölçüm verileri



Şekil 4.5. Yıllık ortalama ölçüm verileri

Kasım ayında üretilen elektrik enerjisi miktarı 19,15 kWh iken, Aralık ayında bu miktar 18,29 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu, Kasım ayına kıyasla üretilen elektrik enerjisi miktarının Aralık ayında bir miktar azaldığını göstermektedir. Ocak ayında üretilen elektrik enerjisi miktarı 26,02 kWh olup, Şubat ayında bu miktar 49,01 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu, enerji panelinin kapasitesinin artırıldığını veya hava koşullarının daha elverişli olduğunu göstermektedir. Mart ayında üretilen elektrik enerjisi miktarı 84,42 kWh olup, Nisan ayında bu miktar 85,35 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu dönemde üretilen enerji miktarı hemen hemen aynıdır.

Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında üretilen elektrik enerjisi miktarları ise sırasıyla 102,10 kWh, 107,38 kWh ve 168,66 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu aylarda üretilen elektrik enerjisi miktarının arttığı görülmektedir. Ağustos ayında üretilen elektrik enerjisi miktarı 114,51 kWh iken, Eylül ayında bu miktar 91,98 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu dönemde üretilen enerji miktarı azalmıştır. Ekim ayında üretilen elektrik enerjisi miktarı 66,24 kWh olup, Kasım ayında bu miktar 23,27 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu dönemde üretilen enerji miktarı azalmaya devam etmiştir.



Şekil 4.6. Yıllık toplam ölçüm verileri

Veriler, bir enerji panelinin ürettiği elektrik enerjisi miktarı ile ihtiyaç duyulan enerji miktarı arasındaki önemli farkı göstermektedir (Şekil 4.6). Panel tarafından üretilen elektrik enerjisi 452,63 kWh iken, ihtiyaç duyulan enerji miktarı 2822,24 kWh'dir.

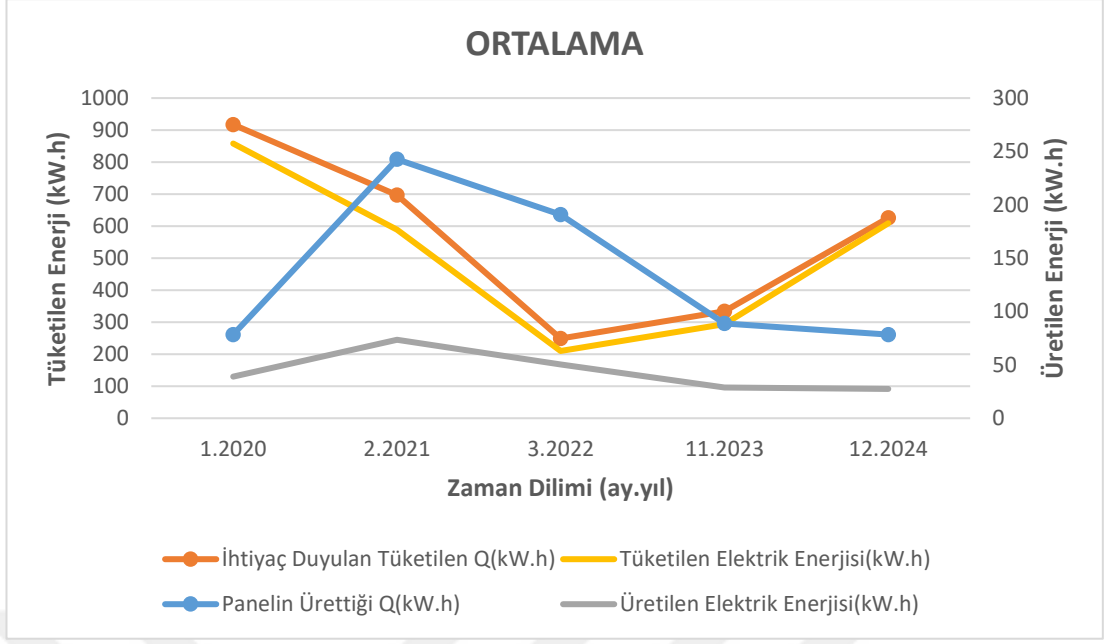
4.3.3. 3 Adet PV/T Kolektörün Termal & Elektrik Enerjisi Hesabı

3 adet PV/T panelin kullanıldığı senaryoda 15-30 Kasım tarihleri arası 88,64 kWh, 01-31 Aralık tarihleri arası 78,39 kWh, 01-31 Ocak tarihleri arası 78,39 kWh, 01-28 Şubat tarihleri arası 242,61 kWh, 01-15 Mart tarihleri arası 190,91 kWh olmak üzere toplam 678,94 kWh termal güç elde edilmiştir.

3 adet PV/T panelin kullanıldığı senaryoda, 15-30 Kasım tarihleri arası 294,16 kWh, 01-31 Aralık tarihleri arası 608,47 kWh, 01-31 Ocak tarihleri arası 858,01 kWh, 01-28 Şubat tarihleri arası 588,94 kWh, 01-15 Mart tarihleri arası 210,01 kW olmak üzere yıllık 2559,59 kWh toplam elektrik tüketimi gerçekleştirilmiştir.

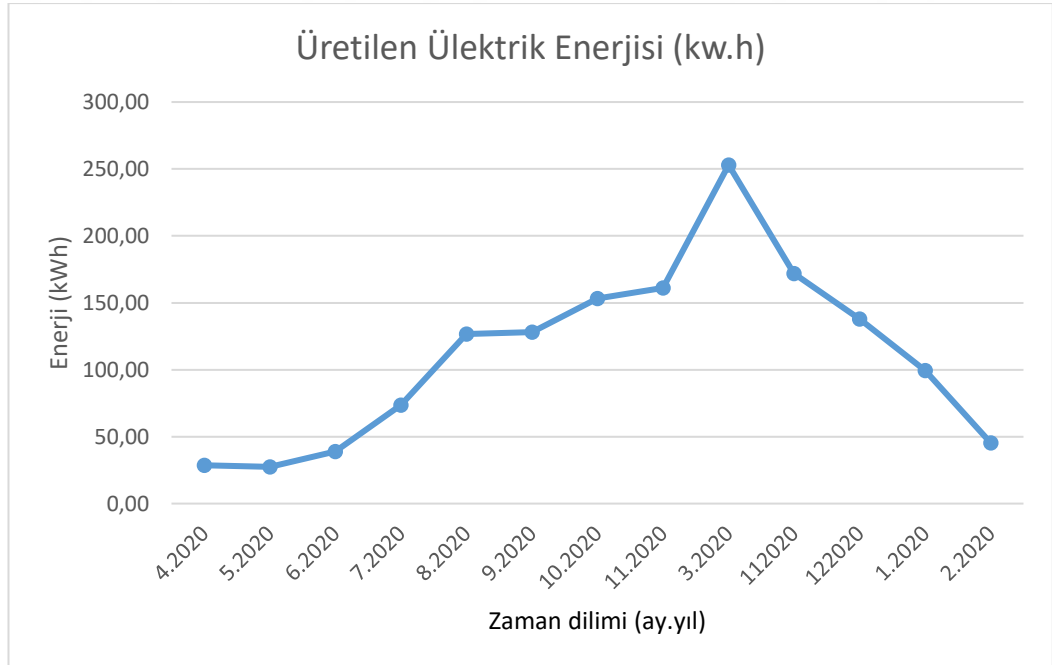
3 adet PV/T panelin kullanıldığı senaryoda, 15-30 Kasım tarihleri arası 28,73 kWh, 01-31 Aralık tarihleri arası 27,44 kWh, 01-31 Ocak tarihleri arası 39,02 kWh, 01-28 Şubat tarihleri arası 73,51 kWh, 01-15 Mart tarihleri arası 50,52 kWh olmak üzere yıllık 219,22 kWh toplam elektrik üretimi gerçekleştirilmiştir.

PV/T panelin termal ve elektrik üretim miktarları çevre şartlarına (çevre sıcaklığı, su sıcaklığı, güneş ışınım miktarı, rüzgar vs.) bağlı olarak değişmektedir. Ek 3-C'de verilen grafikler incelendiğinde en düşük ve en yüksek elektrik üretim günleri sırasıyla 4 Aralık (0,45 kWh) ve 11 Mart (4,6 kWh) tarihleridir. En düşük termal enerji üretimi 26 Aralık – 3 Ocak tarihleri arasında (0,03 kWh) gerçekleşirken, en yüksek termal enerji üretimi ise 11 Mart tarihinde 19,2 kWh ile gerçekleşmiştir. Şekil 4.7'de ortalama ölçüm verileri gösterilmektedir.



Şekil 4.7. Kasım - Mart ayları termal – elektrik tüketim ve üretim ortalama ölçüm verileri ortalama ölçüm verileri

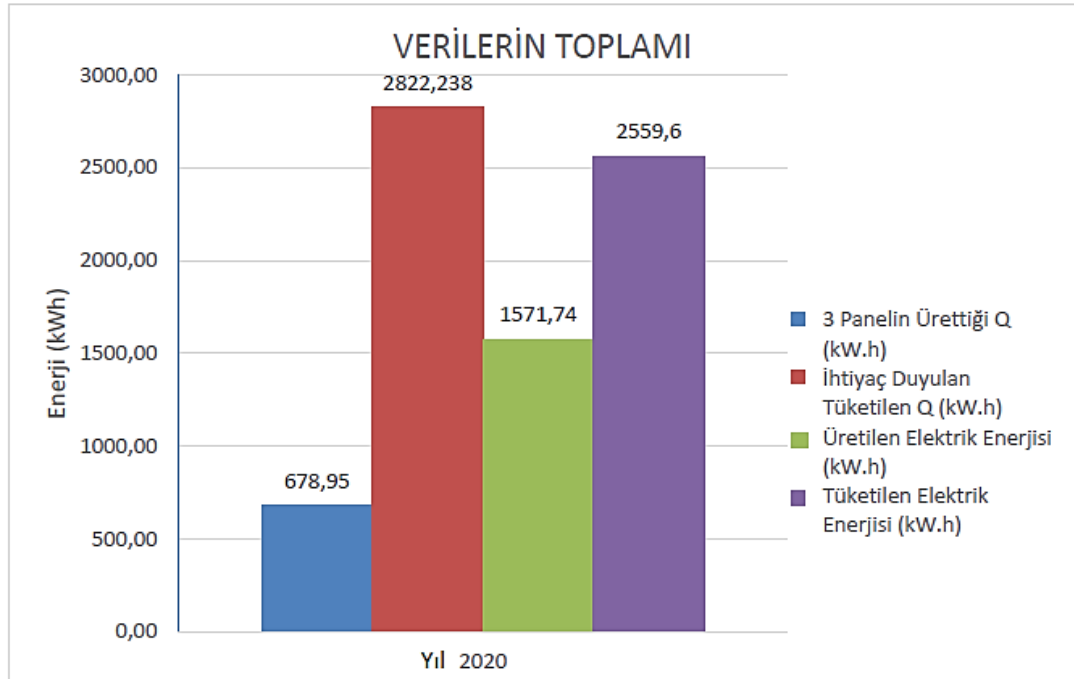
Şekil 4.8’te ay bazında üretilen elektrik enerjisi miktarları gösterilmektedir.



Şekil 4.8. Yıllık ortalama ölçüm verileri

Kasım ayında üretilen elektrik enerjisi miktarı 28,73 kWh iken, Aralık ayında bu miktar 27,44 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu, Kasım ayına kıyasla üretilen elektrik enerjisi miktarının bir miktar azaldığını gösterir. Ocak ayında üretilen elektrik enerjisi miktarı 39,02 kWh olup, Şubat ayında bu miktar 73,51 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu, enerji panelinin kapasitesinin artırıldığını veya hava koşullarının daha elverişli olduğunu göstermektedir. Mart ayında üretilen elektrik enerjisi miktarı 126,63 kWh olup, Nisan ayında bu miktar 128,02 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu dönemde üretilen enerji miktarı hemen hemen aynıdır.

Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında üretilen elektrik enerjisi miktarları ise sırasıyla 153,15 kWh, 161,08 kWh ve 252,99 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu aylarda üretilen elektrik enerjisi miktarının arttığı görülmektedir. Ağustos ayında üretilen elektrik enerjisi miktarı 171,77 kWh iken, Eylül ayında bu miktar 137,97 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu dönemde üretilen enerji miktarı azalmıştır. Ekim ayında üretilen elektrik enerjisi miktarı 99,35 kWh olup, Kasım ayında bu miktar ise 52,20 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu dönemde üretilen enerji miktarı azalmıştır.



Şekil 4.9. Yıllık toplam ölçüm verileri

Veriler, bir enerji panelinin ürettiği elektrik enerjisi miktarı ile ihtiyaç duyulan enerji miktarı arasındaki önemli farkı göstermektedir (Şekil 4.9). Panel tarafından

üretilen elektrik enerjisi 678,95 kWh iken, ihtiyaç duyulan enerji miktarı 2822,24 kWh'dir.

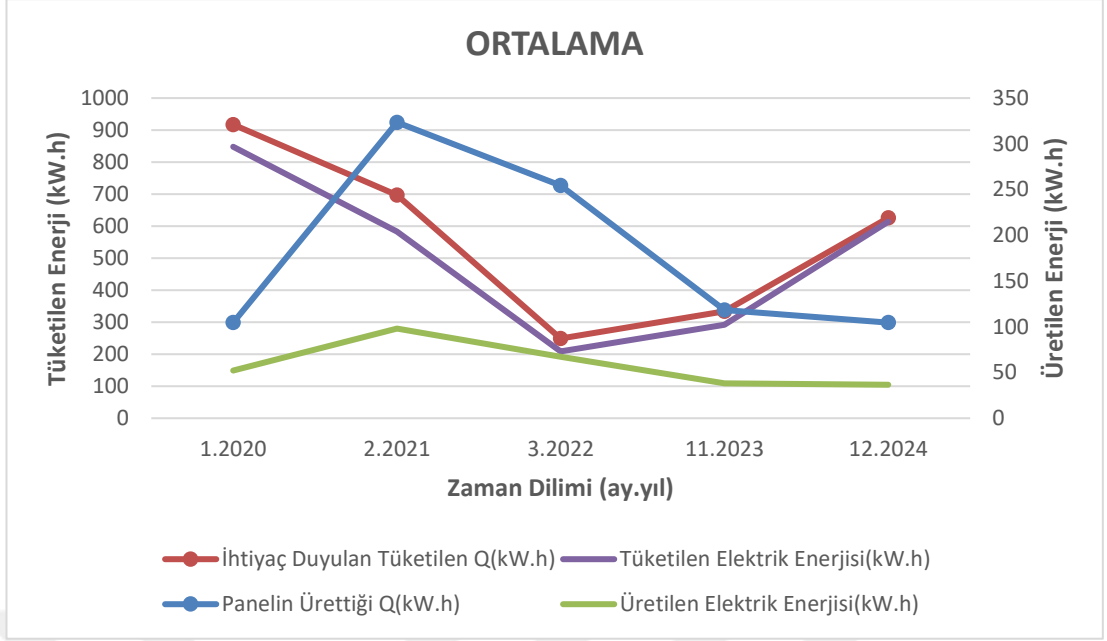
4.3.4. 4 Adet PV/T Kolektörün Termal & Elektrik Enerjisi Hesabı

4 adet PV/T panelin kullanıldığı senaryoda 15-30 Kasım tarihleri arası 118,19 kWh, 01-31 Aralık tarihleri arası 104,52 kWh, 01-31 Ocak tarihleri arası 104,52 kWh, 01-28 Şubat tarihleri arası 323,48 kW, 01-15 Mart tarihleri arası 254,55 kW olmak üzere toplam 905,26 kWh termal güç elde edilmiştir.

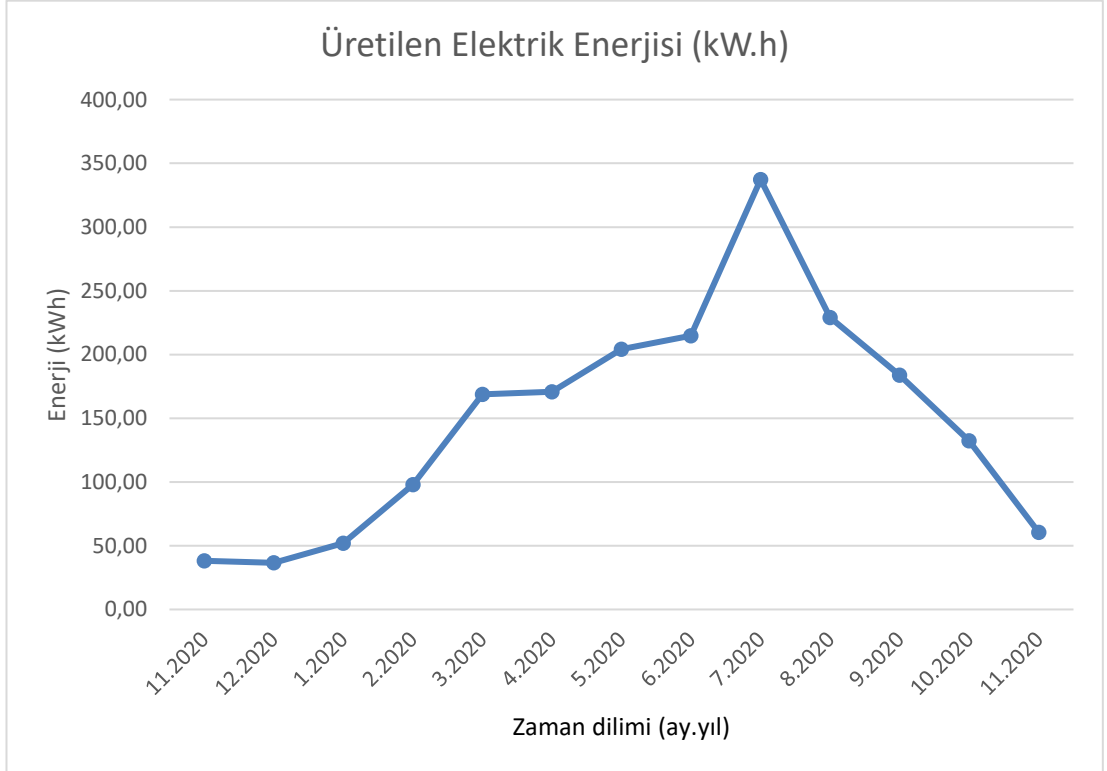
4 adet PV/T panelin kullanıldığı senaryoda, 15-30 Kasım tarihleri arası 291,87 kWh, 01-31 Aralık tarihleri arası 613,45 kWh, 01-31 Ocak tarihleri arası 847,90 kWh, 01-28 Şubat tarihleri arası 583,04 kWh, 01-15 Mart tarihleri arası 208,71 kW olmak üzere yıllık 2544,97 kWh toplam elektrik tüketimi gerçekleştirilmiştir.

4 adet PV/T panelin kullanıldığı senaryoda, 15-30 Kasım tarihleri arası 38,30 kWh, 01-31 Aralık tarihleri arası 36,59 kWh, 01-31 Ocak tarihleri arası 52,03 kWh, 01-28 Şubat tarihleri arası 98,02 kWh, 01-15 Mart tarihleri arası 67,35 kWh olmak üzere yıllık 292,29 kWh toplam elektrik üretimi gerçekleştirilmiştir.

PV/T panelin termal ve elektrik üretim miktarları çevre şartlarına (çevre sıcaklığı, su sıcaklığı, güneş ışınım miktarı, rüzgar vs.) bağlı olarak değişmektedir. Ek 3-D'de verilen grafikler incelendiğinde en düşük ve en yüksek elektrik üretim günleri sırasıyla 4 Aralık (0,62 kWh) ve 11 Mart (6,2 kWh) tarihleridir. En düşük termal enerji üretimi 26 Aralık – 3 Ocak tarihleri arasında (0,04 kWh) gerçekleşirken, en yüksek termal enerji üretimi ise 11 Mart tarihinde 26,2 kWh ile gerçekleşmiştir. Şekil 4.10'da ortalama ölçüm verileri ile Şekil 4.11'de ay bazında üretilen elektrik enerjisi miktarları gösterilmektedir.



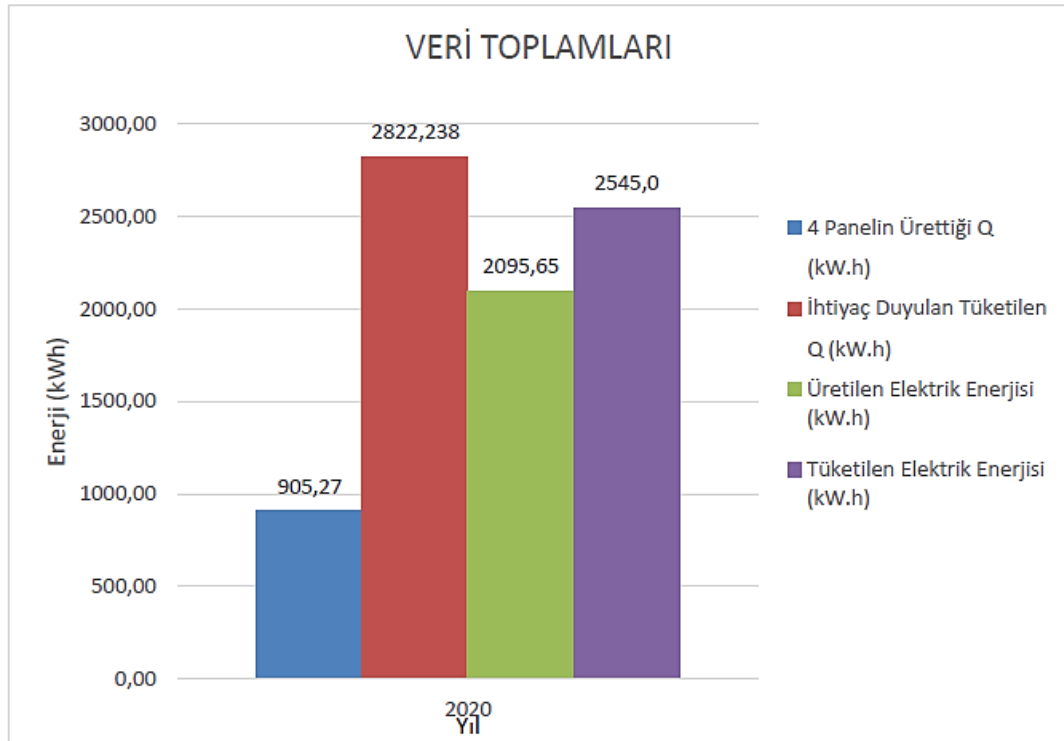
Şekil 4.10. Kasım - Mart ayları termal – elektrik tüketim ve üretim ortalama ölçüm verileri ortalama ölçüm verileri



Şekil 4.11. Yıllık ortalama ölçüm verileri

Kasım ayında üretilen elektrik enerjisi miktarı 38,30 kWh iken, Aralık ayında bu miktar 36,59 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu, Kasım ayına kıyasla üretilen elektrik enerjisi miktarının bir miktar azaldığını gösterir. Ocak ayında üretilen elektrik enerjisi miktarı 52,03 kWh olup, Şubat ayında bu miktar 98,02 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu, enerji panelinin kapasitesinin artırıldığını veya hava koşullarının daha elverişli olduğunu göstermektedir. Mart ayında üretilen elektrik enerjisi miktarı 168,84 kWh olup, Nisan ayında bu miktar 170,70 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu dönemde üretilen enerji miktarı hemen hemen aynıdır.

Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında üretilen elektrik enerjisi miktarları ise sırasıyla 204,193 kWh, 214,77 kWh ve 337,32 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu aylarda üretilen elektrik enerjisi miktarının arttığı görülmektedir. Ağustos ayında üretilen elektrik enerjisi miktarı 229,023 kWh iken, Eylül ayında bu miktar 183,96 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu dönemde üretilen enerji miktarı azalmıştır. Ekim ayında üretilen elektrik enerjisi miktarı 132,47 kWh olup, Kasım ayında bu miktar ise 66,66 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu dönemde üretilen enerji miktarı azalmıştır.



Şekil 4.12. Yıllık toplam ölçüm verileri

Veriler, bir enerji panelinin ürettiği elektrik enerjisi miktarı ile ihtiyaç duyulan enerji miktarı arasındaki önemli farkı göstermektedir (Şekil 4.12). Panel tarafından üretilen elektrik enerjisi 905,27 kWh iken, ihtiyaç duyulan enerji miktarı 2822,24 kWh'dir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Manisa ili Turgutlu ilçesi iklimi şartlarında binalarda ısıtma ve elektrik enerjisi temini için su bazlı PV/T hibrit sistemlerinin performansı incelenmiştir. 25 m en, 20 m boy, 15 m yüksekliğe sahip ve 10 katlı apartman dairesinin 7.katında olup 40 m² alana sahip, ısıtma sistemi olarak doğal gazlı yerden ısıtma sisteminin kullanıldığı bir ev referans olarak alınmıştır.

Referans alınan evin TS2164 standartlarına göre ısı kaybı hesabı yapılmıştır. Isı kaybı evin ihtiyaç duyduğu termal enerjiyi temsil etmektedir. Işınım olmadığı zamanlarda boylerdeki suyu ısıtmaya destek olması amacı ile boylere rezistans yerleştirilmiştir. Boylere yerleştirilen rezistansın harcadığı elektrik enerjisi hesaplanmıştır. Rezistansın harcadığı elektrik enerjisi referans evi ısıtmada tüketilen elektrik enerjisini temsil etmektedir. Tüketilen termal ve elektrik enerjisi 15 Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, 15 Mart aralığında saatlik hesaplanmıştır. Saatlik olarak hesaplanan termal, elektrik enerjinin üretim ve tüketim değerleri grafiklendirilmiştir. Üretim ve tüketim değerlerinin hangi günlerde ve aylarda azalıp-arttığı her ay için günlük çıkarılan grafiklerden gözlemlenmiştir.

Çalışmada her biri 300 W gücüne sahip 1 adet, 2 adet, 3 adet ve 4 adet PV/T kolektörün kullanıldığı dört ayrı senaryo üzerinde durulmuştur. Her senaryo için CO2 emisyon hesabı yapılarak CO2 emisyonunun her senaryoda engellenen miktarı hesaplanmıştır.

Önceki çalışmalar incelendiğinde elde edilen değerler ile benzerlikler gözlemlenmiştir. 2014 yılında Malezya'da yapılan çalışmada PV/T enerji verimliliğinin %55-62 arasında olduğu görülmüştür [22]. 2013 yılında başka bir çalışmada ise PV/T kolektöründe en yüksek ısı verim %76, elektriksel verim ise %17 olarak hesaplanmıştır [30]. Çin'de yapılan diğer bir çalışmada ise su akışkanlı PV/T kolektörlerinin elektriksel veriminde %25,3, ısı veriminde %10,7 ve toplam veriminde ise %12,7 oranında bir artış elde edilmiştir [31]. 2023 yılında yapılan simülasyon çalışmasında ise termal verimlilikte %16,21, elektriksel verimlilikte %6,17 iyileşme görülmüştür [42].

Yapılan literatür taramasında Türkiye merkezli çalışmalarda, ağırlıklı olarak PV/T sistemlerin karakteristik özelliklerinin incelendiği, hava akışkanlı PV/T sistemlerin daha çok kullanıldığı, son yıllardaki çalışmalarda ise PV/T sistemlerin daha çok ısı pompası ile beraber kullanıldığı ve akışkan olarak nano akışkan tercih edildiği görülmüştür. Bu çalışmanın özgünlüğü akışkan türü olarak suyun kullanılması, rezistans kullanılması, yerden ısıtma kullanılması, karbon emisyon hesabının yapılması ve Manisa ili özelinde yüksek güneşlenme süresine sahip Ege Bölgesi'nde gerçekleştirilmiş olmasıdır.

Çalışma sonucu şu şekilde özetlenmektedir:

1. Senaryolarda, panelden üretilen en düşük termal enerji Aralık ve Ocak aylarında gerçekleşmiştir. En düşük elektrik enerjisi ise Aralık ayında elde edilmiştir. En yüksek kazanç Mart ayında elde edilmiştir.
2. Senaryolardan 1 adet PV/T kolektörün kullanılmasıyla elde edilen veriler, Kasım – Mart döneminde elde edilen elektrik enerjisinin ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin yaklaşık %20'sini karşıladığını göstermektedir. Bu değer termal enerji miktarında ise yaklaşık %8'dir.
3. Senaryolardan 2 adet PV/T kolektörün kullanılmasıyla elde edilen veriler, Kasım – Mart döneminde elde edilen elektrik enerjisinin ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin yaklaşık %41'ini karşıladığını göstermektedir. Bu değer termal enerji miktarında ise yaklaşık %16'dır.
4. Senaryolardan 3 adet PV/T kolektörün kullanılmasıyla elde edilen veriler, Kasım – Mart döneminde elde edilen elektrik enerjisinin ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin yaklaşık %62'sini karşıladığını göstermektedir. Bu değer termal enerji miktarında ise yaklaşık %24'tür.
5. Senaryolardan 4 adet PV/T kolektörün kullanılmasıyla elde edilen veriler, Kasım – Mart döneminde elde edilen elektrik enerjisinin ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin yaklaşık %83'ünü karşıladığını göstermektedir. Bu değer termal enerji miktarında ise yaklaşık %32'dir.
6. 1 adet PV/T kolektör kullanımında 242,97 kWh termal enerji ve 83,42 kWh elektrik enerjisi olmak üzere toplam 326,39 kWh temiz enerji elde edilmiştir. Bu değer yaklaşık olarak 30,7 m³ doğal gaz kullanımına eşittir.

1 adet PV/T kolektör kullanımı ile 84,43 kg CO₂ emisyonu engellenmiş olacaktır [77].

7. 2 adet PV/T kolektör kullanımında 485,94 kWh termal enerji ve 166,84 kWh elektrik enerjisi olmak üzere toplam 652,78 kWh temiz enerji elde edilmiştir. Bu değer yaklaşık olarak 61,4 m³ doğal gaz kullanımına eşittir. 2 adet PV/T kolektör kullanımı ile 168,85 kg CO₂ emisyonu engellenmiş olacaktır.
8. 3 adet PV/T kolektör kullanımında 678,94 kWh termal enerji ve 219,22 kWh elektrik enerjisi olmak üzere toplam 898,16 kWh temiz enerji elde edilmiştir. Bu değer yaklaşık olarak 84,4 m³ doğal gaz kullanımına eşittir. 3 adet PV/T kolektör kullanımı ile 232,10 kg CO₂ emisyonu engellenmiş olacaktır.
9. 4 adet PV/T kolektör kullanımında 905,26 kWh termal enerji ve 292,29 kWh elektrik enerjisi olmak üzere toplam 1197,55 kWh temiz enerji elde edilmiştir. Bu değer yaklaşık olarak 112,55 m³ doğal gaz kullanımına eşittir. 4 adet PV/T kolektör kullanımı ile 309,51 kg CO₂ emisyonu engellenmiş olacaktır.

PV/T kolektörler Türkiye'de kullanılan rüzgâr türbinleri ve PV paneller gibi büyük potansiyele sahiptir. Bu çalışma, PV/T kolektörlere yapılan yatırımın ekonomik gelişme açısından iyi fırsatlara sahip olduğunu göstermektedir. Bu sistemlerin kullanılabilmesi için bina çatılarında uygun ve yeterli alanlar vardır. PV/T kolektörlerde elektrik üretimi için ayrı bir alana ihtiyaç olmadığından, aynı alanda hem elektrik enerjisi üretimi hem de termal enerji üretimi yapılabilir. Manisa ilinin güneş enerjisi potansiyeli değerlendirilebilir.

Bu çalışma, teorik bir çalışmadır. Deneysel çalışmanın yapılabileceği deneysel çalışma için bu teorik hesaplamaların yol gösterici olacağı düşünülmektedir. Gelişen teknoloji PV panellerinde yeni mineral katkılarının verimini artırdığını göstermektedir. Ayrıca son zamanlarda yapılan çalışmalar PV/T kolektörlerde nanoakışkan kullanımının arttığını göstermektedir. Yapılacak çalışmaların bu doğrultuda olması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Öztürk, H.H. Yenilenebilir Enerji Kaynakları. Birsen Yayınevi, 2013.
- [2] Boz, O.H. Günümüzün Alternatif Enerji Kaynağı: Fotovoltaik Güneş Pilleri. Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011 (Yüksek Lisans Tezi).
- [3] Kesinel, S. Enerji Verimliliği Kapsamında Binalarda Fotovoltaik Güç Sistemlerinin Uygulamalı Analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015 (Yüksek Lisans Tezi).
- [4] Arslan, E. Fotovoltaik Güç Sistemlerinin Stadyumlara Entegre Edilmesi. 2019.
- [5] Seymen, S.S., Açıkgöz, G., Tunçbilek, İ. Akıllı Enerji Sistemi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, 2013 (Lisans Tezi).
- [6] Merve, O., Akkurt, Ş. Kayseri İlinin Yenilenebilir Enerji Potansiyeli. Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. 6, 362-374, 2017.
- [7] Uçar, S. Çatı ve Cephelerde Fotovoltaik Panel Uygulamaları Üzerine Bir Çalışma: Burdur Örneği. İstanbul Arel Üniversitesi, 2018 (Yüksek Lisans Tezi).
- [8] Garcia, N.P., Zubi, G., Pasaoglu, G., Dufo-López, R. Photovoltaic Thermal Hybrid Solar Collector and District Heating Configurations for A Central European Multi-Family House. Energy Conversion and Management. 148, 915-924, 2017.
- [9] Yiğit, A., Atmaca, İ. Güneş Enerjisi. Alfa-Aktüel Yayıncılık, 7-8, 12, 155, 2010.
- [10] Kılıç, A. Güneş Enerjisi ve Uygulamaları. Makine Mühendisleri Odası. http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/f50893f80d6830d_ek.pdf?dergi=143 (Erişim tarihi: 30.08.2022).
- [11] Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA), Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx> (Erişim tarihi: 30.08.2022).
- [12] Manisa Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA), Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/45.aspx> (Erişim tarihi: 30.08.2022).
- [13] Tripanagnostopoulos, Y., Nousia, T., Souliotis, M. and Yianoulis, P., Hybrid Photovoltaic/Thermal Solar Systems. Solar Energy. 72(3), 217-234, 2002.
- [14] Göksel, B.Ç. Fotovoltaik/Termal (PV-T) Güneş Kolektörde Elektriksel ve Termal Verimin Deneysel Analizi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2021 (Yüksek Lisans Tezi).
- [15] Slimani, M.E.A., Amirat, M., Kurucz, I, Bahria, S., Hamidat, A., Chaouch, W.B. A Detailed Thermal-Electrical Model Of Three Photovoltaic/Thermal (PV/T) Hybrid Air Collectors and Photovoltaic (PV) Module: Comparative Study Under Algiers Climatic Conditions. Energy Conversion and Management. 133, 458-476, 2017.
- [16] Jia, Y., Alva, G., Fang, G. Development and Applications of Photovoltaic – Thermal Systems: A review. Renewable Sustain Energy Review, 102, 249–265, 2019.
- [17] Kabul, A., Yaşar, E. Fotovoltaik/Termal (PV/T) Hibrit Sistemlerin Soğutma Tekniklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi. SDU International Journal of Technological Science,. 9, 2017.

- [18] Zhang, X., Zhao, X., Smith, S., Xu, J., Yu, X. Review of R&D Progress and Practical Application of The Solar Photovoltaic/Thermal (PV/T) Technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 16, 599-617, 2012.
- [19] Çiçek, H.G., Çiçek, Ş.E. Maliye Bakanlarının Parlamentoda Gerçekleştirdiği Bütçe Sunuş Konuşmalarının Tahlili: Türkiye Örneği. *Maliye Araştırmaları Dergisi*. 5, 2019.
- [20] Rawat, P., Dhiran, T.S. Comparative Analysis of Solar Photovoltaic Thermal (PV/T) Water and Solar Photovoltaic Thermal (PV/T) Air Systems. *International Journal of Civil, Mechanical and Energy Science (IJCMES)*. 3(1), 8-12, 2017.
- [21] Fudholi, A., Sopian, K., Yazdı, M., Ruslan, M., Ibrahim, A., Kazem, H. Performance Analysis of Photovoltaic Thermal (PVT) Water Collectors. *Energy Conversion and Management*. 78, 641-651, 2014.
- [22] Ibrahim, A., Fudholi, A., Sopian, K., Othman, M.Y., Ruslan, M.H. Efficiencies And Improvement Potential of Building Integrated Photovoltaic Thermal (BIPVT) System. *Energy Conversion and Management*. 77, 527-534, 2014.
- [23] Daghigh, R., Ibrahim, A., Jin, G.L., Ruslan, M.H., Sopian, K. Predicting The Performance of Amorphous and Crystalline Silicon Based Photovoltaic Solar Thermal Collectors. *Energy Conversion and Management*. 52 (3), 1741-1747, 2011.
- [24] Ibrahim, A., Jin, G.L., Daghigh, R., Salleh, M.H.M. Hybrid Photovoltaic Thermal (PV/T) Air and Water Based Solar Collectors Suitable for Building Integrated Applications. *American Journal of Environmental Sciences*, 5 (5), 618-624, 2009.
- [25] Ramos, A., Chatzopoulou, M.A., Guarracino, I., Freeman, J., Markides, C.N. Hybrid Photovoltaic-Thermal Solar Systems for Combined Heating Cooling and Power Provision in The Urban Environment, *Energy Conversion Management*, 150, 838-850, 2017.
- [26] Ibrahim, A., Othman, M.Y., Ruslan, M.H., Alghoul M., Yahya M., Zaharim, A., Sopian, K.. Performance of Photovoltaic Thermal Collector (PVT) with Different Absorbers Design. *WSEAS Transactions on Environment and Development*. 5(3), 321-330, 2009.
- [27] Tripanagnostopoulos, Y., Kalogirou, S.A. Hybrid PV/T Solar Systems for Domestic Hot Water and Electricity Production, *Energy Conversion and Management*. 47, 3368-3382, 2006.
- [28] Yaxiu G., Xingxing Z., Jonn A. M., Mengjie H., Xiangjie C., Yanping Y. Techno-Economic Analysis of A Solar Photovoltaic/Thermal (PV/T) Concentrator for Building Application in Sweden Using Monte Carlo Method. *Energy Conversion and Management*. 165(1), 8-24, 2018.
- [29] Tripanagnostopoulos Y., Souliotis M., Battisti R., Corrado A. Energy, Cost and LCA Results of PV and Hybrid PV/T Solar Systems, *Wiley InterScience*. 13(1), 235–250, 2005.
- [30] Othman, M., Ibrahim, A., Jin, G., Ruslan, M., Sopian, K. Photovoltaicthermal (PV/T) Technology -The Future energy technology. *Renewable Energy*. 49, 171–174, 2013.
- [31] Huo, Y., Lv, J., Li, X., Fang, L., Ma, X., Shi, Q. Experimental Study on The Tube Plate PV/T System with Iron Filings Filled. *Solar Energy*. 185(6), 189–198, 2019.
- [32] Braun, R., Haag, M., Stave, J., Abdelnour, N., Eicker, U. System Design and Feasibility of Trigeneration Systems with Hybrid Photovoltaic-Thermal (PVT)

- Collectors for Zero Energy Office Buildings in Different Climates, *Solar Energy*, 196, 39-48, 2020.
- [33] Abdullah, A.L., Misha, S., Tamaldin, N., Rosli, M.A.M., Sachit, F.A. Theoretical Study and Indoor Experimental Validation of Performance of the New Photovoltaic Thermal Solar Collector (PVT) Based Water System, *Case Studies in Thermal Engineering*, 18, 100595, 2020.
- [34] Menon, G.S., Murali, S., Elias, J., Anisrani Delfiya, D.S., Alfiya, P.V., Samuel, M.P. Experimental Investigations on Unglazed Photovoltaic-Thermal (PVT) System Using Water and Nanofluid Cooling Medium, *Renewable Energy*, 188, 986-996, 2022.
- [35] Li, J., Zhang, W., Xie, L., Li, Z., Wu, X., Zhao, O., Zhong, J., Zeng, X. A Hybrid Photovoltaic and Water/Air Based Thermal (PVT) Solar Energy Collector with Integrated PCM for Building Application, *Renewable Energy*, 199, 662-671, 2022.
- [36] Adun, H., Ishaku, H.P., Titus, O.A., Shefik, A. 3-E Feasibility Analysis on Photovoltaic/Thermal Application for Residential Buildings: A Case Study of Sub-Saharan Africa, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 44(4), 9901-9919, 2022.
- [37] Kyriaki, E., Giama, E. Hybrid Solar Photovoltaic Thermal Systems in Nearly-Zero Energy Buildings: The Case of a Residential Building in Greece, *International Journal of Sustainable Energy*, 41(10), 1521-1532, 2022.
- [38] Podder, B., Das, S., Biswas, A. Numerical Analysis of a Small Sized Water Based Solar Photovoltaic-Thermal Collector, *International Journal of Green Energy*. DOI: 10.1080/15435075.2021.2023881, 2022.
- [39] Wang, C., Ji, J. Comprehensive Performance Analysis of A Rural Building Integrated PV/T Wall In Hot Summer and Cold Winter Region, *Energy*, 282, 128302, 2023.
- [40] Wang, J., Tian, X., Ji, J., Zhang, C., Ke, W., Yuan, S. Field Experimental Investigation of A Multifunctional Curved CIGS Photovoltaic/Thermal (PV/T) Roof System for Traditional Chinese Buildings. *Energy Conversion and Management*, 271, 116219, 2022.
- [41] Ben Seddik, Z., Mahdaoui, M., Makroum, H., Ahached, M. 4E Performance Evaluation of PV, PV/Thermal, and Solar Domestic Water Heater for Building Integration in The Moroccan Country. *Energy Conversion and Management*, 272, 116380, 2022.
- [42] Zhou, X., Sui, Z., Wang, X. Research on The Performance of Solar Space Heating Systems Using Photovoltaic-Thermal Collectors. *Applied Solar Energy*, 59(1), 48-63, 2023.
- [43] Xie, Y., Simbamba, M.M., Cao, X., Sun, L., Zhou, J., Yuan, Y. Comparison Study of A Novel Tank PV/T Hot Water System and A Heat Pipe PV/T System. *Journal of Thermal Science*, 31(6), 2009-2021, 2022.
- [44] Ömeroğlu, G. Fotovoltaik - Termal (PV / T) Sistemin Sayısal (CFD) ve Deneysel Analizi, *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30(1), 161-167, 2018.
- [45] Öksüz, M., Köse, F. Hibrit Fotovoltaik Isıl PVT-su ve PVT-hava Güneş Kolektörlerinin İncelenmesi, *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 2(3), 95-102, 2019.
- [46] Kılış, B. Yapılardaki Kat Adedinin Büyük Kentlerin Güneş Enerjisinden Akılcı Yararlanmasına Etkileri, *Mühendis ve Makina*, 61(699), 81-115, 2020.

- [47] Yalılı Kılıç, M., Adalı, S. Bir Apartmanın Yenilenebilir Enerji Sistem Maliyetinin HOMER Pro Kullanılarak Belirlenmesi, Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 11(1), 13-20, 2022.
- [48] Atız, A. Hava ve su ile soğutulan PV-T'nin Dört Farklı Koşul İçin Enerji Ve Ekserji Analizi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 29(2), 110-119, 2023.
- [49] Ökten, M. Isı ve Elektrik Enerjisi Üretimi İçin Doğal Gaza Yeşil Bir Çözüm: Güneş Enerjisi Uygulamalarıyla Bir Örnek Olay İncelemesi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 13(3), 702-717, 2023.
- [50] Doğanay, H.Ö. Kırklareli İklim Şartlarında Hibrit Fotovoltaik/Termal Kollektör Sisteminin Analiz, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2014 (Yüksek Lisans Tezi).
- [51] Uçman, M. Fotovoltaik Termal (FV/T) Ve Bina Entegreli FV/T (BIPV/T) Sistemlerde Akışkan Kullanımının Elektriksel Karakteristik Üzerine Etkisinin İncelenmesi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2017 (Yüksek Lisans Tezi).
- [52] Ezcan, H.O. Fotovoltaik Termal (PV/T) Enerji Sistemlerinin Analizi, Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019 (Yüksek Lisans Tezi).
- [53] Soydan, İ.B. Fotovoltaik Termal (PV/T) Bir Sistemin Çorum İli İklim Şartlarında Performans Analizi, Hitit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019 (Yüksek Lisans Tezi).
- [54] Göksel, B.Ç. Fotovoltaik/Termal (PV-T) Güneş Kolektörde Elektriksel ve Termal Verimin Deneysel Analizi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2021 (Yüksek Lisans Tezi).
- [55] Bulakçıbaşı, M.Ö. Fotovoltaik Termal Sistem Tasarımı İle Bir Ceviz İşleme Tesisinin Enerji Gereksiniminin Karşılabilirliği: Van İlinde Uygulanması, Amasya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2023 (Yüksek Lisans Tezi).
- [56] Koç, İ. Fotovoltaik Termal Hibrit Güç Sisteminin Performans Değerlendirmesi, Optimizasyonu ve Ekonomik Analizi. Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019 (Yüksek Lisans Tezi).
- [57] Binalarda Isıtma Sistemi Projelendirilmesine Esas Isı Gereksinimi Hesabı (TS 2164). <http://blog.aku.edu.tr/ceyhunyilmaz/files/2019/02/Bölüm-4.pdf> (Erişim tarihi: 30.08.2022).
- [58] Doğan, V., Çalışır, O. Döşemeden (Yerden) Isıtma Sistemlerinde Hesap Yöntemi, Tesisat Mühendisliği, 130, 41-50, 2012.
- [59] Gençler, S. Isıtma Tesisat Tekniğinin Temelleri. Makine Mühendisleri Odası. https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/statik_sayfa_ekleri/ISITMA%20ESİSAT%20TEKNİĞİNİN%20TEMELLERİ.pdf (Erişim tarihi: 30.08.2022).
- [60] Boyler. <https://www.aplasgroup.com.tr/urun/cift-serpantinli-emaye-hizli-boylor/> (Erişim tarihi: 30.08.2022).
- [61] Oskay, M. Sıcak Su İhtiyacının Tespiti. Tesisat Mühendisliği Dergisi. 93, 37-52, 2006.
- [62] Kalorifer Tesisatı Proje Hazırlama Teknik Esasları. TMMOB Makine Mühendisleri Odası. Yayın No: 84
- [63] Koç, İ., Başaran, K. PV/T tabanlı bir sistemde MATLAB/Simulink kullanılarak yapılan performans analizi, Politeknik Dergisi, 22(1): 229-236, 2019.
- [64] Hu, M., Zheng, R., Pei, G., Wang, Y., Li, J., Ji, J. Experimental study of the effect of inclination angle on the thermal performance of heat pipe

- photovoltaic/thermal (PV/T) systems with wickless heat pipe and wire-meshed heat pipe, Applied Thermal Engineering, 106, 651–660, 2016.
- [65] Yıldırım, E., Aktacir, M.A. Çatı üstü PV elektrik üretim potansiyelinin belirlenmesi: Şanlıurfa örneği, Dicle University Journal of Engineering (DUJE), 12(1), 69-77, 2021.
- [66] Shrvanth Vasisht, M., Srinivasan, J., Ramasesha, S.K. Performance of solar photovoltaic installations: Effect of seasonal variations, Solar Energy, 131, 39-46, 2016.
- [67] Ammous M., Chaabene M. Design of a PV/T based desalination plant: Concept and Assesment, The fifth International Renewable Energy Congress IREC, Tunisia, 2014, 1-6
- [68] İnternet: <https://www.kar-el.com.tr/tbgoster.aspx?id=BOYLER%20SİRKÜLASYON%20%20POMPA%20SEÇİMİ> (Erişim tarihi: 27.12.2022).
- [69] İnternet: <https://www.mekanikmuhendislik.com/?p=1106> (Erişim tarihi: 27.12.2022).
- [70] IEA, Trends 2017 in Photovoltaic Applications Executive Summary, Report IEA PVPS 2017, 1-32
- [71] Alkan, S., Öztürk, A., Zavrak, S., Tosun, S., Avcı, E.. Bir evin elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayacak fotovoltaiik sistemin kurulumu. ELECO 2014 Elektrik – Elektronik – Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu, 78-82, 27-29 Kasım, Bursa, 2014.
- [72] Altınkaynak, M., Demirekin, R., Yakut, A.K. PV-T Kollektör kaynaklı bir ısı pompası sisteminin enerji ve ekserji analizi, Niğde Ömer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences, 10(2), 753-762, 2021.
- [73] Çengel Y.A, Boles M.A. “Mühendislik yaklaşımıyla termodinamik, 2. Basım, blm 4: Termodinamiğin birinci yasası: Kontrol hacimleri, syf:159-200” Literatür Yayıncılık, İstanbul, (1996). <https://www.scribd.com/document/119377867/Termodinamik-yunus-cengel>
- [74] Termodinamik tablolar. <https://www.studocu.com/row/document/istanbul-teknik-universitesi/termodinamik/ozellik-tablolari-turkce/8568593> (Erişim tarihi: 08.11.2022).
- [75] Gök, K. Development of three-dimensional finite element model to calculate the turning processing parameters in turning operations. Measurement, 75, 57–68, 2015.
- [76] Ada, H. D., Erdem, M., Gök, K. Computational fluid dynamics simulation of erosion-corrosion in abrasive water jet machining. Surface Review and Letters, 2150031, 2021.
- [77] Ener Ruşen, S., Koç, M. Enerji tüketim ve CO2 salınım değerlerinin analizi: Bir gıda fabrikası örneği. BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, 8(4), 1478-1488, 2019.

EKLER

EK A. Isı Hesabında Kullanılan Tablolar

A. İç ortam sıcaklık değerleri

ISITILACAK ORTAMIN ADI	SICAKLIĞI* (°C)	ISITILACAK ORTAMIN ADI	SICAKLIĞI* (°C)
1- KONUTLAR		5- FABRİKA YAPILARI	
- Oturma odası (Salonlar)	+22	- Ağır iş yapan atölye ve montaj yeri	+15
- Yatak odası	+20	- Hafif iş yapan atölyeler	+18
- Antre, hcla, mutfak	+18	- Kadın işçilerin çalıştığı örgü, biçki ve dikiş atölyeleri	+20
- Banyo	+26	6- CEZAEVİ VE TUTUKTEVİ	
- Mcdilven	+10	- Tek odalar, yatak odaları	+20
2- İŞ VE İDARE BİNALARI		- Hafif iş atölyesi ve koğuş	+18
- Berber, terzi dükkanı	+20	- Banyo, duş, soyunma hacimleri	+26
- Lokanta, otel, pansiyon odası	+20	- Hcla	+15
- Bekleme odası	+20	7- ÇEŞİTLİ YERLER	
- İş atölyesi dışındaki çalışma	+20	- Seyri evleri, müzeler, genel gardirop	+15
- Tevhiye, sorma, manajör vb. atölye	+18	- Sinema ve tiyatro salonları	+18
- Demir, döküm ve pres vb. atölyeler	+18	- Garajlar	+10
- Elektrik, bobinaj vb. atölyeler	+20	- Ahır ve ağıl	+12
- Motor ve yenileştirme atölyesi	+20	Yüzme havuzu	
- Kaporta, boyaj vb. iş atölyesi	+18	- Bekleme salonu	+18
- Mcdilven ve asansör boşluğu	+15	- Banyo ve duş odalarına geçiş yolu	+20
- Koridor, hcla	+15	- Soyunma ve giyinme odaları	+22
- Toplamı salonu	+20	- Karma ve duş odaları	+20+22
- Sinema, tiyatro, diskotek, pazino vb. eğlence salonları	+18	- Yüzme havuzu hacmi	+22+25
- Büro hacimleri (Ml. Memur odası)	+20	Roma hamamı ve sauna	
- Arşiv hacimleri	+15	- Soyunma ve son terleme odası	+22
3- OKULLAR**		- Birincil terleme hacmi	+40+50
- Derslik, doğal bilim öğretimi için özel hacimler, pedagoji merkezleri, çeşitli amaçlar için kullanılan salonlar, öğretmen, yönetici ve kreş odaları	+22	- İkincil terleme hacmi	+50+60
- Derslik öğretim mutfak ve iş atölyesi	+15+18	- Yıkama ve duş hacmi	+26
- Öğretim arazi deposu, laboratuvar, vestiyer	+15	- Sahibi banyo hacmi	+26
- Duş, soyunma ve giyinme odaları	+26	Sera binaları	
- Revir, doktor ve muayene odaları	+24	- Normal çiçek ve bitkiler	+15
- Koridor, mcdilven ve asansör boşluğu, kapalı teneffüs salonları ve hclalar	+10+15	- Soak iklim bitkileri	+25
- Kızlarda koridor, mcdilven ve asansör boşluğu hcla	+15	- Büro hacmi	+20
- Okullarda konferans salonları	+18	- Mcdilven ve asansör boşluğu	+18
- Jimnastik (spor) salonu	+15	- Jimnastik Salonu	+18
- Ortopedi jimnastik salonu	+20	- Kütüphane ve okuma salonu	+10
4- HASTANE YAPILARI		- Ambar ve depolar	+18
- Hasta yatak ve poliklinik odası	+20	- Coğurluklu dükkanlar	+18
- Banyo, duş, ameliyat, röntgen ve röntgen soyunma odaları	+22	(*) Proje yaparın tarafından başka bir değer isincedilke proje düzenlenecek yapının ısı gereksinimi bu iç ortam sıcaklıklarına göre hesaplanacaktır.	
- Eczane, laboratuvar hacimleri	+20	(**) Dersliklerin sıcaklıkları, normal pencere havalandırmasıyla dinlenme sularında (teneffüslerde) 18°C altına düşürülebilir.	
- Mcdilven ve asansör boşluğu, koridor, bekleme salonu, hol ve hclalar	+18	NOT: Hastane, fabrika, cami, tiyatro vb. gibi yapıların hacim iç sıcaklıklarını projeyi yaparınla birlikte saptanmalıdır.	

B. Isıtılmayan ortam sıcaklık değerleri

DIŞ SICAKLIK ⇒		3	0	-3	-6	-9	-12	-15	-18	-21	-24	-27
Çatı arasındaki	$U_d < 2$	9	7	4	2	-1	-3	-6	-8	-11	-13	-16
	$2 < U_d < 5$	6	4	1	-1	-4	-6	-9	-11	-14	-16	-19
Isıtılmayan	$U_d > 5$	3	1	-2	-4	-6	-9	-12	-14	-17	-19	-22
Yerler	İçeriye veyahut bodruma kapı veya pencere, büyük bir kısmı ısıtılmış mahallerle çevrili	15	14	12	10	9	7	5	3	2	0	-1
		10	8	6	5	3	1	0	-2	-4	-6	-7
Toprak sıcaklığı	Döşeme altındaki	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
	Dış duvara bitişik	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5
Bitişik evlerin sıcaklığı	Merkezi Isıtmalı	15										
	Mahalli Isıtmalı	10										
Kazan dairesi		20										
Kömürlük		10										

C. Birleştirilmiş artırım katsayısı (yüzde olarak)

İşletme Durumu	D			
	0,1+0,29	0,30+0,69	0,70+1,49	≥1,50
	% Z _D			
I. İşletme*	7	7	7	7
II. İşletme**	20	15	15	15
III. İşletme***	30	25	20	15

*) Tesisat sürekli çalıştırılır ve yalnız geceleri kazan ateşi söndürülür (Konutlardaki kullanım)

***) Kazan ateşi her gün 10 saat tamamen söndürülür

***) Ateş her gün 14 saat veya daha uzun süre tamamen söndürülür.

D. Yön artırım katsayısı (yüzde olarak)

YÖN	G	GB	B	KB	K	KD	D	GD
% Z _H	-5	-5	0	5	5	5	0	-5

E. Yükseklik artırım katsayısı (yüzde olarak)

Kat Numaraları	Bina Toplam Kat Adedi												Z _w
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	%
3.2.1	3.2.1	3.2.1	3.2.1	3.2.1	3.2.1	3.2.1	3.2.1	3.2.1	3.2.1	3.2.1	4.3.2.1	5.4.3.2.1	0
4	4	5.4	5.4	5.4	5.4	6.5.4	6.5.4	6.5.4	6.5.4	6.5.4	7.6.5	8.7.6	% 5
	5	6	6	7.6	8.7	9.8.7	9.8.7	9.8.7	9.8.7	9.8.7	10.9.8	11.10.9	% 10
			7	8	9	10	10	11.10	12.11.10	13.12.11	14.13.12	14.13.12	% 15
							11	12	13	14	15	15	% 20

F. Pencere ve kapılar için hava sızdırma katsayısı

Malzeme	Pencere veya kapı şekli	a
Ahşap	Tek pencere	3,0
	Çift camlı pencere	2,5
	Çift pencere	2,0
Plastik çerçeve	Tek veya çift camlı pencere	2,0
Çelik veya metal çerçeve	Tek pencere	1,5
	Çift camlı pencere	1,5
	Çift pencere	1,2
İç kapılar	Eşiksiz kapılar	40,0
	Eşikli kapılar	15,0
Dış kapılar için pencere değerleri esas alınır		

G. Oda durum katsayısı

Pencere cinsi	İç kapı	$\frac{A_{DP}}{A_{İK}}$ (Dış pencere alanı) / (İç kapı alanı)	R
Tahta veya plastik pencere	Aralıklı	<3	0,9
	Aralıksız	<1,5	
Çelik veya metal pencere	Aralıklı	<6	
	Aralıksız	<2,5	
Tahta veya plastik pencere	Aralıklı	3 ile 9	0,7
	Aralıksız	1,5 ile 3	
Çelik veya metal pencere	Aralıklı	6 ile 20	
	Aralıksız	2,5 ile 6	

H. Yapı durum katsayısı

Bölgenin durumu	Yapının durumu	H Katsayısı	
		Bitişik Düzen	Ayrık Düzen
Normal Bölge	Korunaklı	0,279	0,396
	Serbest	0,477	0,675
	Çok serbest	0,700	0,977
Rüzgarlı Bölge	Korunaklı	0,477	0,675
	Serbest	0,700	0,977
	Çok serbest	0,950	1,314

NOT : Bir katta birden fazla dairesi olan veya birbiri ile bağlantısı olmayan oda gruplarını içeren yapılar bitişik düzen olarak kabul edilir Ayrık düzen ise bir ya da iki katlı villa türü yapıları tanımlar.

İ. Hava değişim katsayısı

Ortamdaki Pencere ve Kapıların Durumu	n x 3600
Dışarıya bakan ya da açılan pencere ve dış kapı yok	0,75
Pencere ve kapılar sadece tek duvarda	1
Pencere ve kapılar iki duvarda da var	1,5
Pencere ve kapılar üç veya dört duvarda da var	2
Alış veriş yerleri	2

J. Yapı ve bileşenlerine ait kısaltmalar

Yapı Bileşeni		Yapı Bileşeni-Yön	
Simgesi	Adı ve özelliği	Simgesi	Adı ve özelliği
TP	Tek pencere	MİK	Metal iç kapı
ÇP	Çift camlı pencere	Dö	Döşeme
ATP	Ahşap çerçeveli tek camlı pencere	Ta	Tavan
MÇP	Metal çerçeveli çift camlı pencere	DD	Dış duvar
AP	Tek camlı basit aydınlık penceresi	İD	İç duvar
AÇ	Çift camlı aydınlık penceresi	Ç	Çatı (dam)
DK	Dış kapı	D	Doğu
ADK	Ahşap dış kapı	B	Batı
CDK	Camlı dış kapı	K	Kuzey
BK	Balkon kapısı	G	Güney
ABK	Ahşap balkon kapısı	GB	Güneybatı
MBK	Metal balkon kapısı	KB	Kuzeybatı
İK	İç kapı	KD	Kuzeydoğu
AİK	Ahşap iç kapı	GD	Güneydoğu

K. Isı gereksinimi hesaplama çizelgesi

KTU Müh.-Mim. Fak. Makina Müh. Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı		ISI GEREKSİNİMİ HESAPLAMA ÇİZELGESİ											Sayfa			
Tesisin Adı :													Kat			
													Tarih			
Yapı Bileşeni			Alan Hesabı					Artırmsız Isı Gereksinimi Hesabı				Artırımlar				Toplam Isı Gereksinimi
İşaret	Yön	Kalınlık	Uzunluk	Yükseklik veya Genişlik	Toplam Alan	Miktar	Çıkarılan Alan	Hesaba Giren Alan	Toplam Isı Geçirime Katsayısı	Sıcaklık Farkı	Artırmsız Isı Gereksinimi	Birleşik	Kat Yükseklik	Yön	Toplam	
					A_0			A	U	ΔT	Q_0	Z_D	Z_W	Z_{t1}	Z	$Q_h = Q_i + Q_s$
		cm	m	m	m^2	Ad.	m^2	m^2	W/m^2K	K	W	%	%	%	1+....	W



EK B. PV/T Kolektör Teknik Özellikleri

CERTIFICATE



Certificate number	16918 Rev.0	Replaces	-
Issued	01/10/2021	First edition	01/10/2021
Report number	IN0000435/B	Expiry date	30/09/2026
Page	1 of 1	Contract number	IN0000470

Product Certificate Solar Thermal Products

License holder:	Solimpeks Enerji San. Ve Tic. A.Ş. Fevzi Çakmak Mh. 10753. Sk. No: 3-3A Karatay/Konya, Turkey
Production site(s):	Solimpeks Enerji San. Ve Tic. A.Ş. Fevzi Çakmak Mh. 10753. Sk. No: 3-3A Karatay/Konya, Turkey
Product	Photovoltaic thermal collector
Model(s):	Volther Excell Pvt

Kiwa Cermet Italia hereby declares that the product can be considered complying to the testing requirements and is entitled to use the Solar Keymark Label, based upon the following aspects:

Laboratory testing of the solar thermal products, which are performed by an accredited laboratory in accordance to ISO/IEC 17025 -see annex-, using the following standards:

- EN 12975-1:2006+A1:2010
Thermal solar systems and components - Solar collectors – Part 1: General requirements
- ISO 9806:2017
Solar Energy – Solar Thermal Collectors – Test Methods

Specific CEN Keymark Scheme Rules for Solar Thermal Products SKN_N0444R5.
Periodic Inspection of the Factory site(s) performed by Kiwa Cermet Italia.
A description of the test results is given in the annex to this certificate.

Additional information according to the SKN_N0444_Annex P5.1 PVT_R1 of Solar Keymark Scheme Rules:

- PV module tested and certified according to the standards IEC 61215 and IEC 61730;
- Test reports nr.: L0000435/A rev.02;
- Certificate of Conformity nr.: 16917 Rev 0;
- PV module: size 1670x1005 mm; power range from 325W; backsheet colour white.

This certificate is issued in accordance with the Kiwa Cermet Italia regulations.

Publication of the certificate is allowed.

The validity of this certificate is subject to the positive result of periodic surveillance visits.

The validity of this certificate can be verified on request at the following e-mail address: energy@kiwacermet.it

Any total or partial reproduction of this document in any form, without Kiwa Cermet Italia express authorization, is prohibited.

Kiwa Cermet Italia S.p.A.
Società con socio unico, soggetta
all'attività di direzione e
coordinamento di Kiwa Italia
Holding Srl
Via Cadriano, 23
40057 Granarolo dell'Emilia (BO)
Tel +39 051 489.3.111
Fax +39 051 763.382
E-mail: info@kiwacermet.it
www.kiwa.it

Chief Operating Officer
Giampiero Belcredi



034

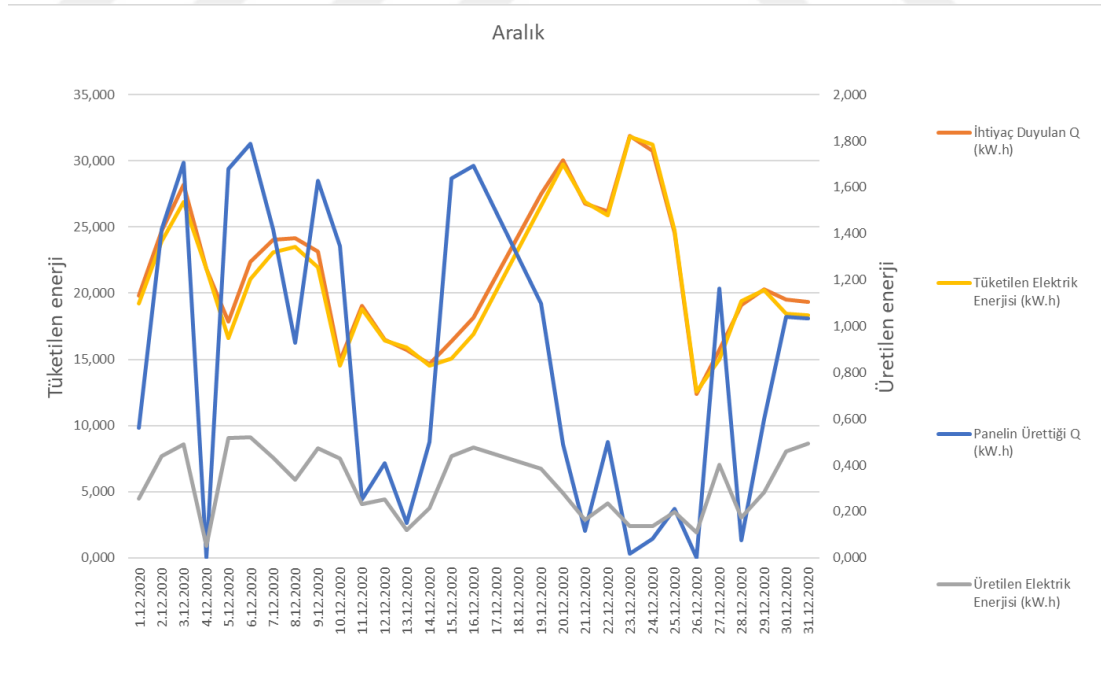
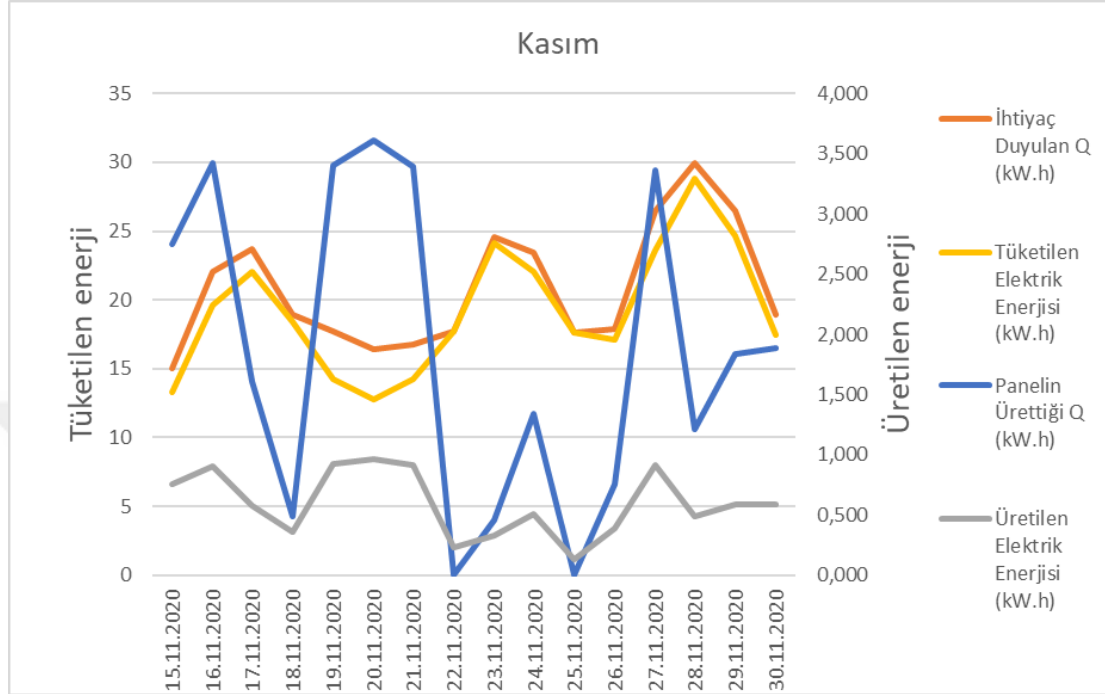


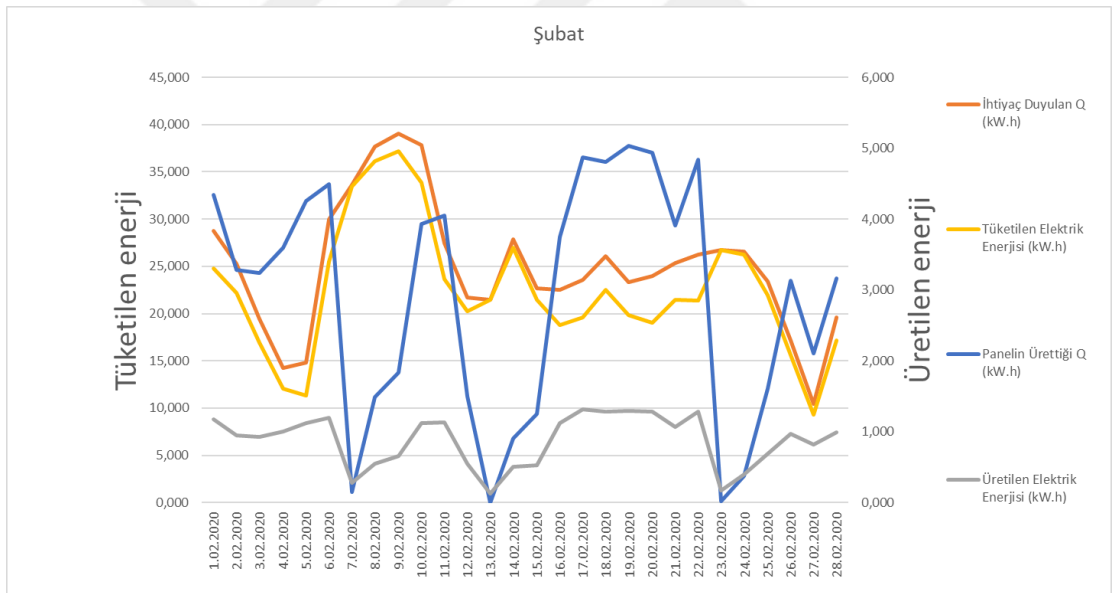
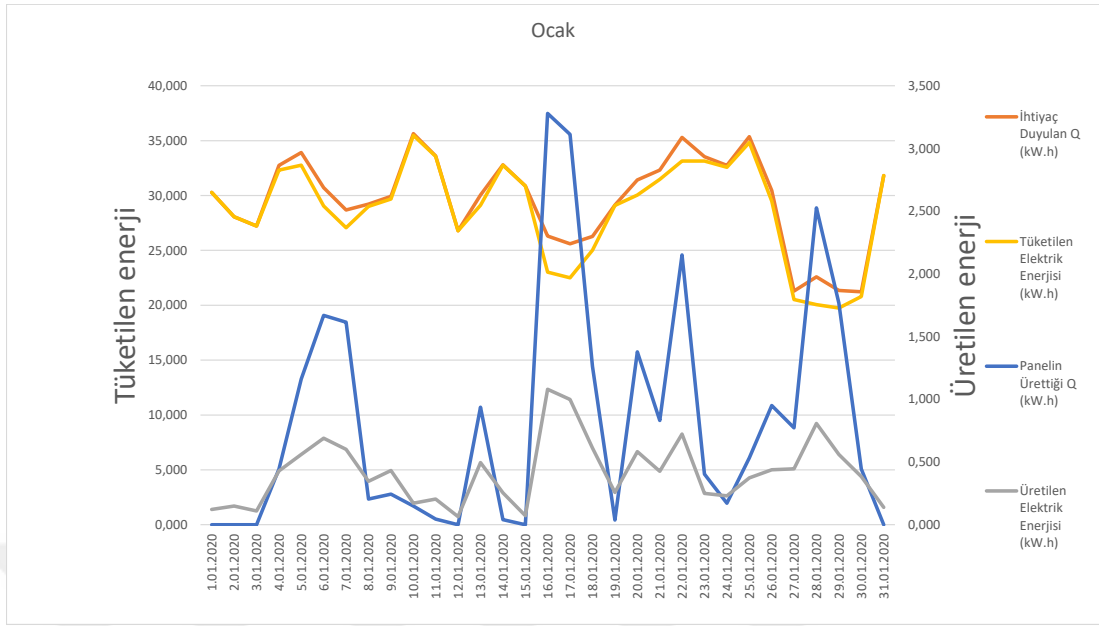
PRD N° 0696

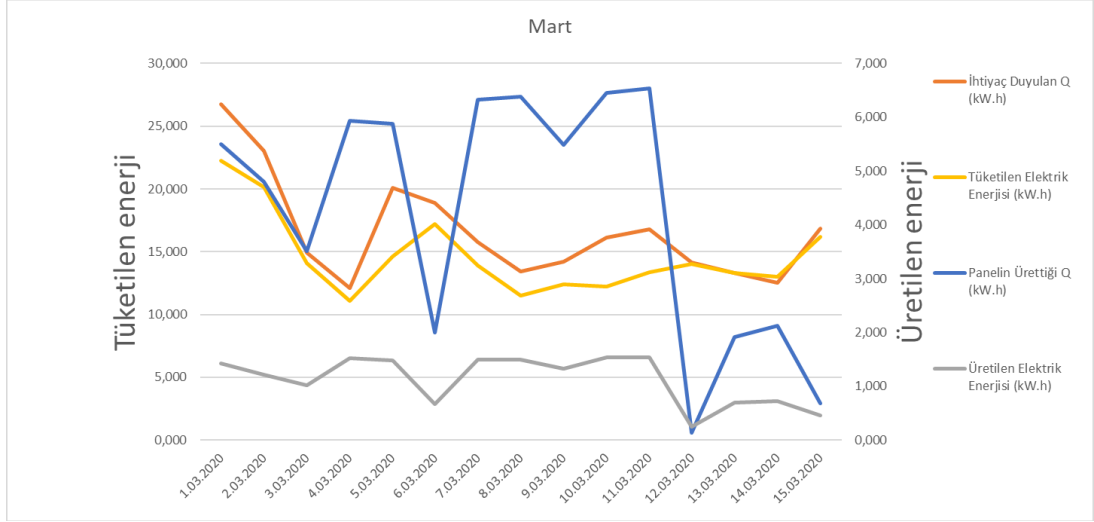
Annex to Solar Keymark Certificate		Licence Number		16918 Rev.0									
Supplementary Information		Issued		2021-10-01									
Annual collector output in kWh/collector at mean fluid temperature $\bar{\theta}_m$													
Standard Locations	Athens			Davos		Stockholm		Würzburg					
Collector name	$\bar{\theta}_m$	25°C	50°C	75°C	25°C	50°C	75°C	25°C	50°C	75°C			
Volther Excell Pvt		817	301	81	554	221	54	417	158	43	479	184	59
Annual output per m ² gross area		487	179	49	330	131	32	248	94	26	286	110	35
Annual efficiency, η_p		28%	10%	3%	20%	8%	2%	21%	8%	2%	23%	9%	3%
Fixed or tracking collector	Fixed (slope = latitude - 15°; rounded to nearest 5°)												
Annual irradiation on collector plane		1765 kWh/m ²			1630 kWh/m ²			1166 kWh/m ²			1244 kWh/m ²		
Mean annual ambient air temperature		18.5°C			3.2°C			7.5°C			9.0°C		
Collector orientation or tracking mode		South, 25°			South, 30°			South, 45°			South, 35°		
The collector is operated at constant temperature $\bar{\theta}_m$ (mean of in- and outlet temperatures). The calculation of the annual collector performance is performed with the official Solar Keymark spreadsheet tool Scenocalc Ver. 6.1 (September 2019). A detailed description of the calculations is available at http://www.estif.org/solarkeymarknew/													
Additional Information													
Collector heat transfer medium	Water-Glycole												
The collector is deemed to be suitable for roof integration	No												
The collector was tested successfully under the following conditions:													
Climate class (A+, A, B or C)	A												
G (W/m ²) >	1000	θ_a (°C) >			20	H_0 (M/m ²) >			600	-			
Maximum tested positive load	2500 Pa												
Maximum tested negative load	2500 Pa												
Hall resistance using steel ball (maximum drop height)	2 m												
Additional collector attribute(s)													
<input type="checkbox"/> Using external power source(s) for normal operation <input type="checkbox"/> Active or passive measure(s) for self-protection <input type="checkbox"/> Co-generating thermal and electrical power <input type="checkbox"/> Façade collector(s)													
Energy Labelling Information						Additional Informative Technical Data							
	Reference Area, A_{ref} (m ²)	Hydraulic Designation Code				Aperture Area, A_p (m ²)							
Volther Excell PVT	1.68	(F)-(O)-(CL)-(A-Ø.L)-(C-Ø.L)-(D)				2.18							
Data required for CDR (EU) No 811/2013 - Reference Area A_{ref}						Data required for CDR (EU) No 812/2013 - Reference Area A_{ref}							
Collector efficiency (η_{col})	23%					Zero-loss efficiency (η_0)	0.43						
Remark: Collector efficiency (η_{col}) is defined in CDR (EU) No 811/2013 as collector efficiency of the solar collector at a temperature difference between the solar collector and the surrounding air of 40 K and a global solar irradiance of 1000 W/m ² , expressed in % and rounded to the nearest integer. Deviating from the regulation η_{col} is based on reference area (A_{sol}) which is aperture area for values according to EN 12975-2 or gross area for ISO 9806:2017.	First-order coefficient (a_1)					4.94 W/(m ² K)							
	Second-order coefficient (a_2)					0.000 W/(m ² K ²)							
	Incidence angle modifier IAM (50°)					0.87							
Remark: The data given in this section are related to collector reference area (A_{ref}) which is aperture area for values according to EN 12975-2 or gross area for ISO 9806. Consistent data sets for either aperture or gross area can be used in calculations like in the regulation 811 and 812 and simulation programs.													
Kiwa Cermet Italia S.p.A. • Via Cadriano, 23 • 40057 Granarolo dell'Emilia (BO) • Italy Tel: +39 0514593111 • Fax: +39 051763382 • E-Mail: info@kiwacermet.it • www.kiwa.com													

EK C. Termal & Elektrik Enerjisi Hesabı Grafikleri

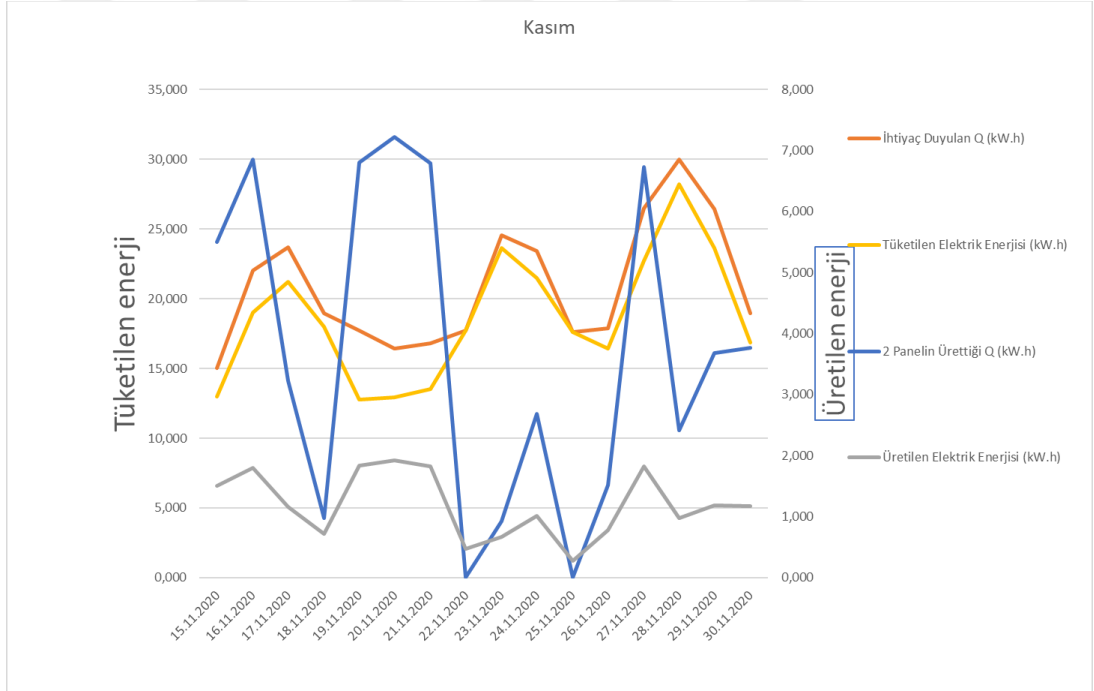
A. 1 Panel Aylık Üretim/Tüketim Verileri

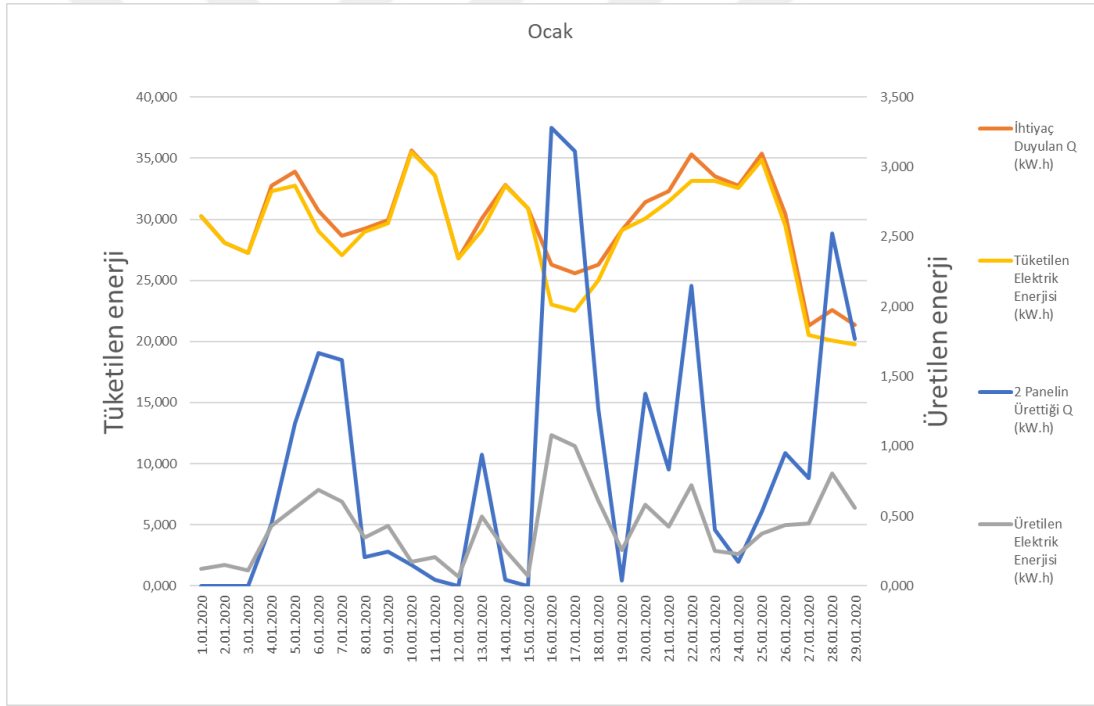
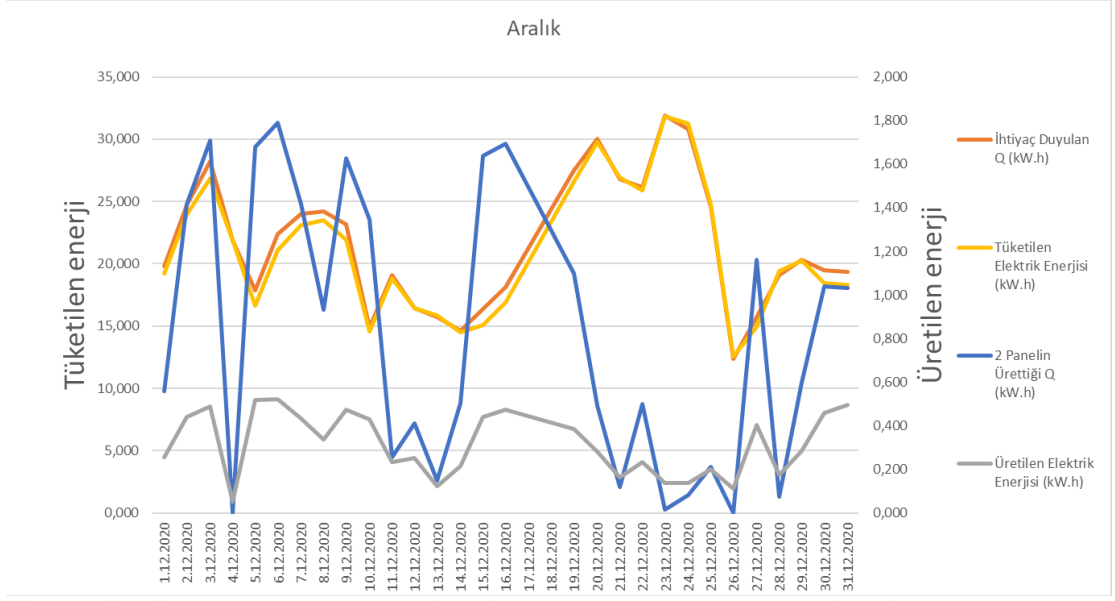


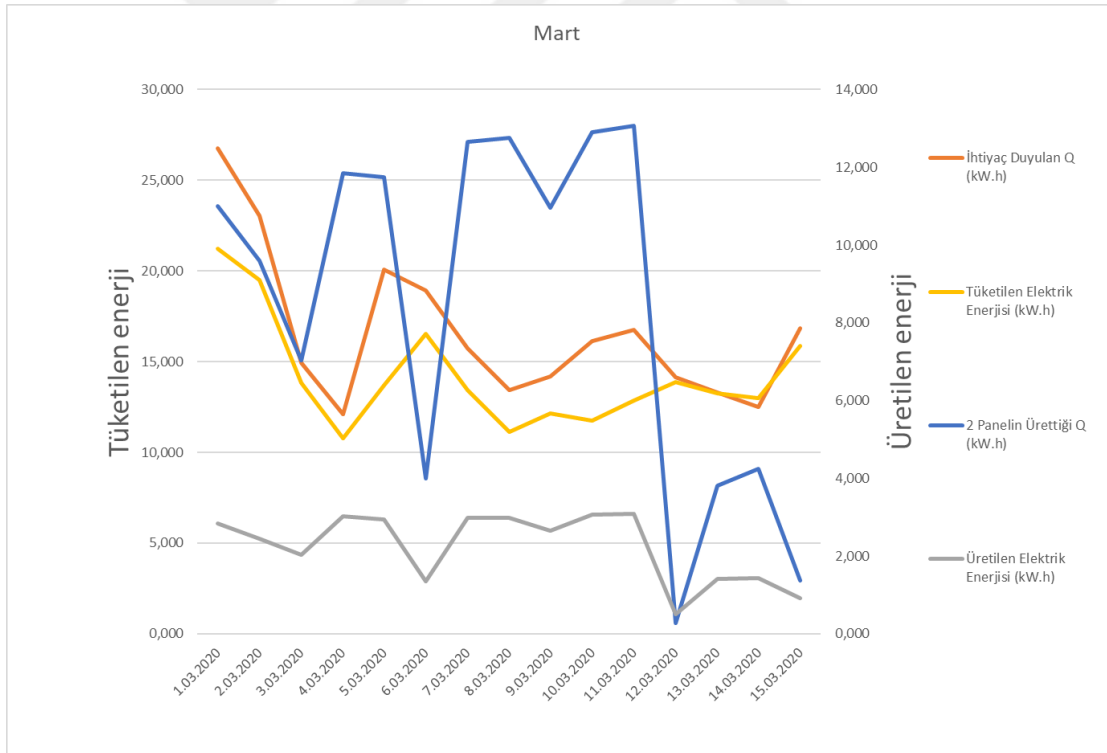
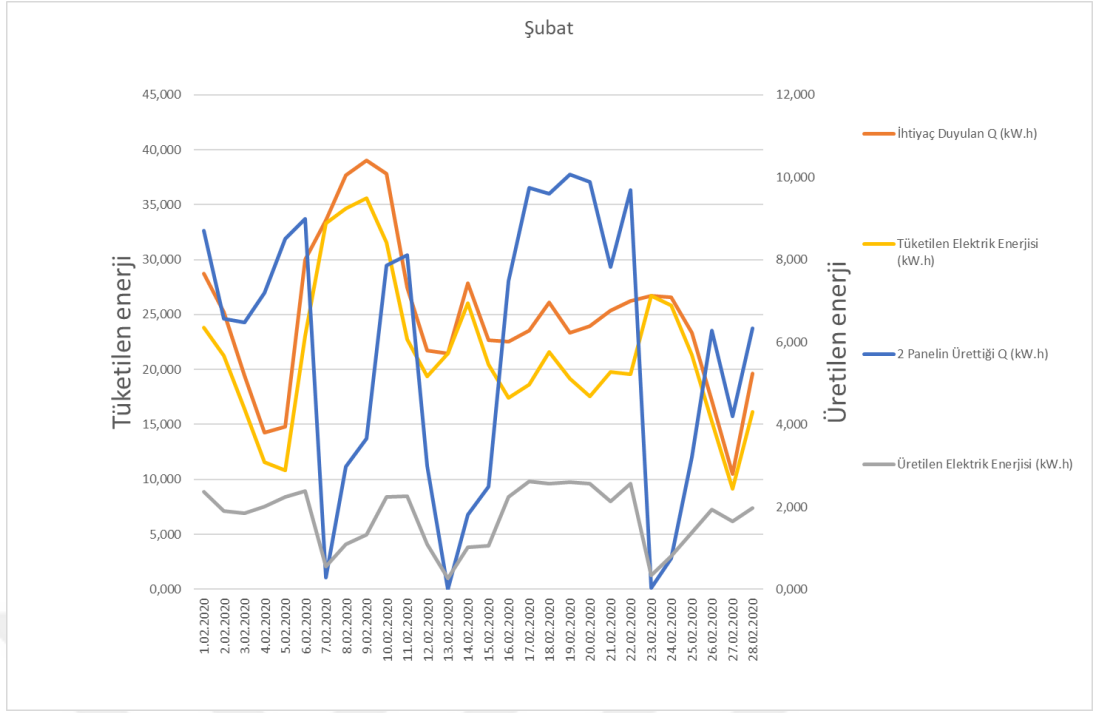




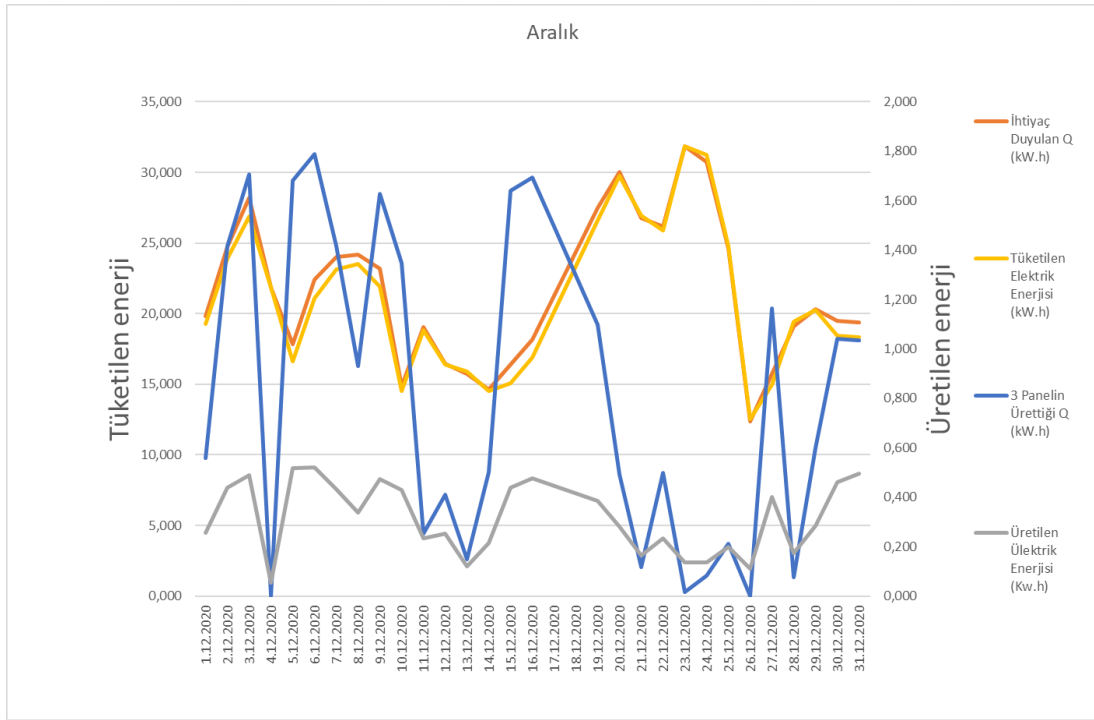
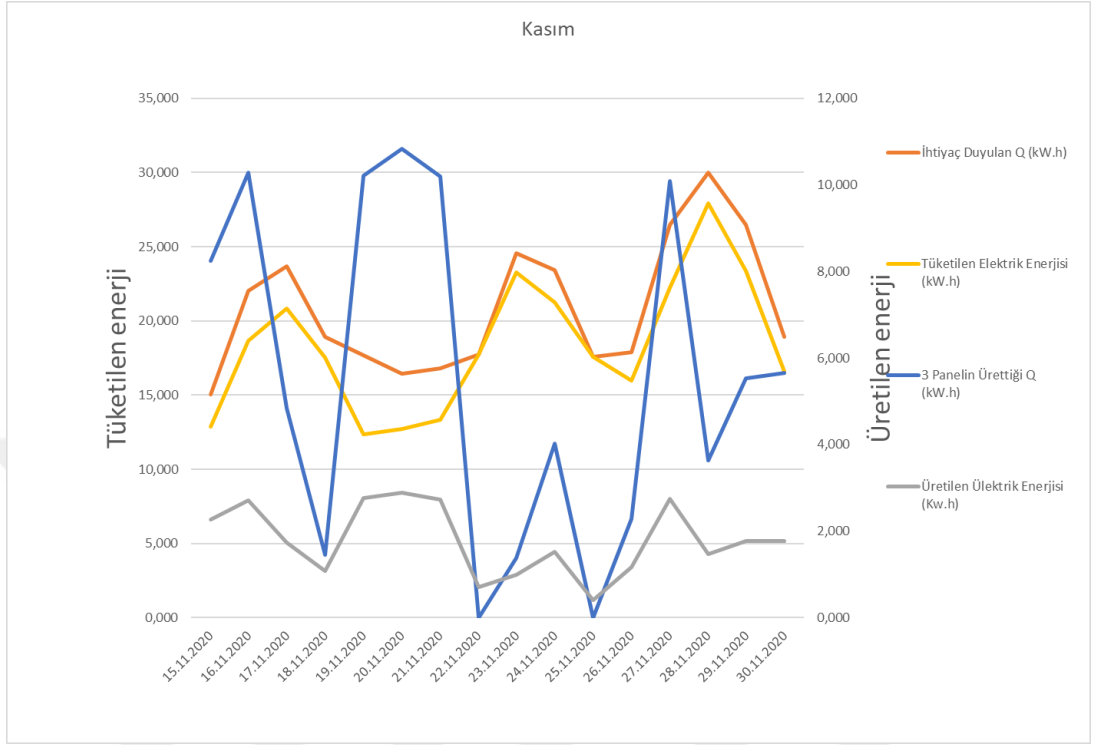
B. 2 Panel Aylık Üretim/Tüketim Verileri

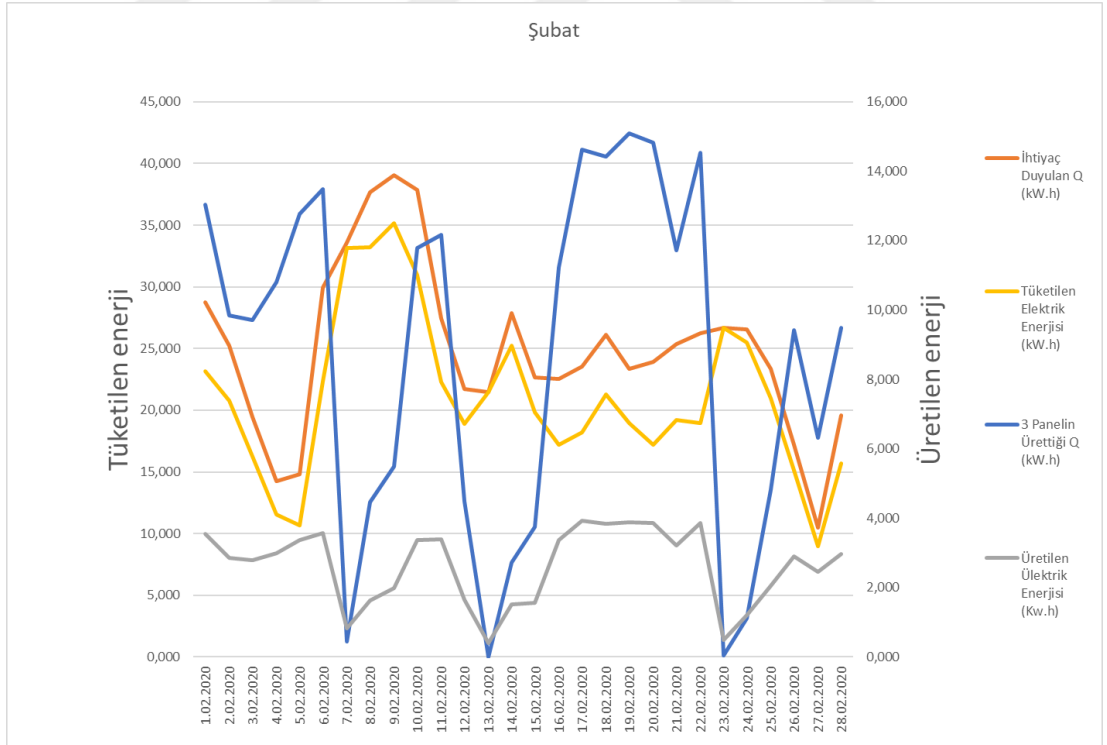
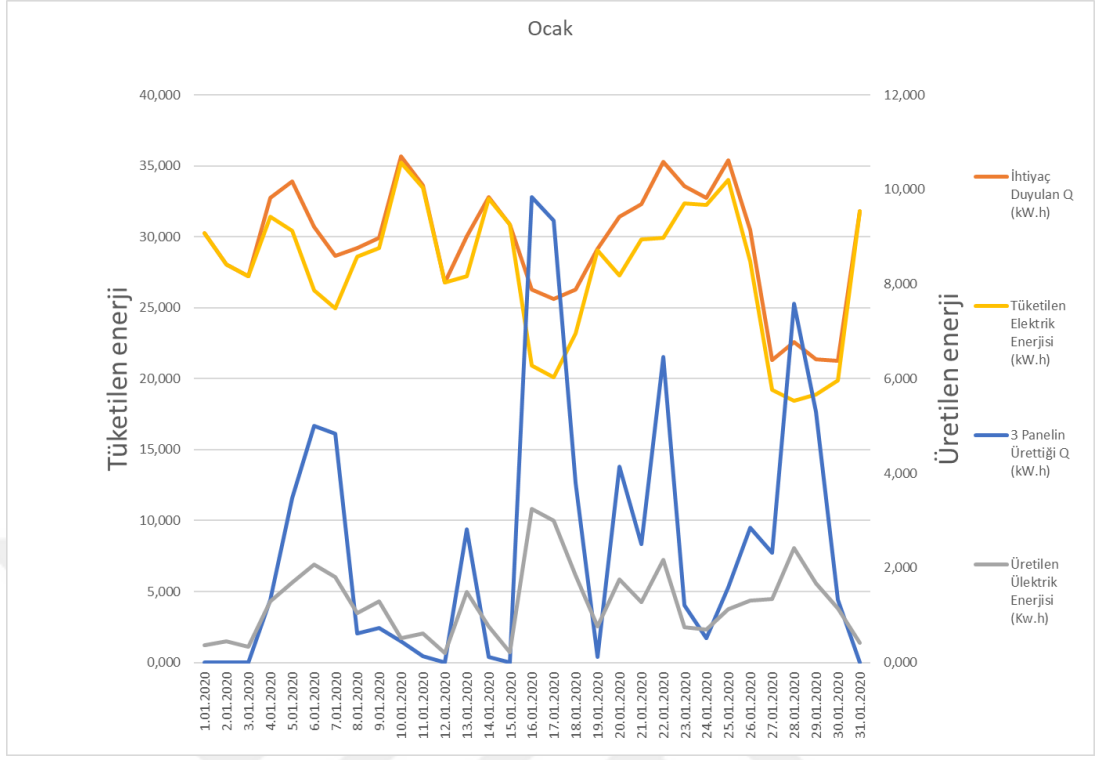


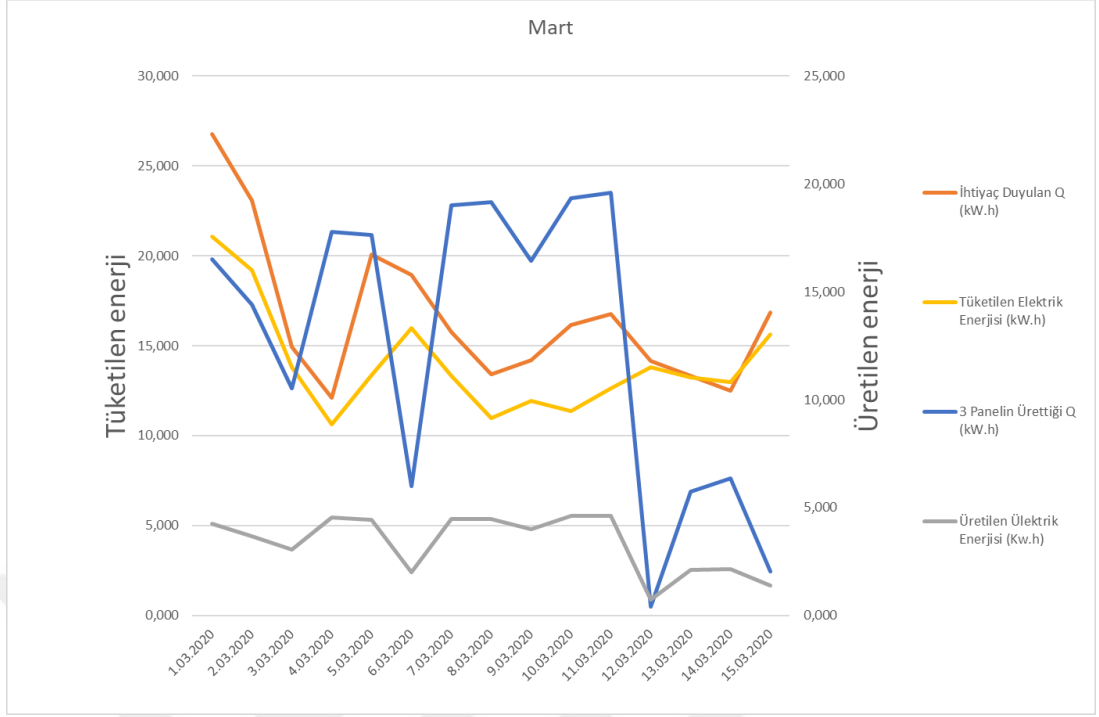




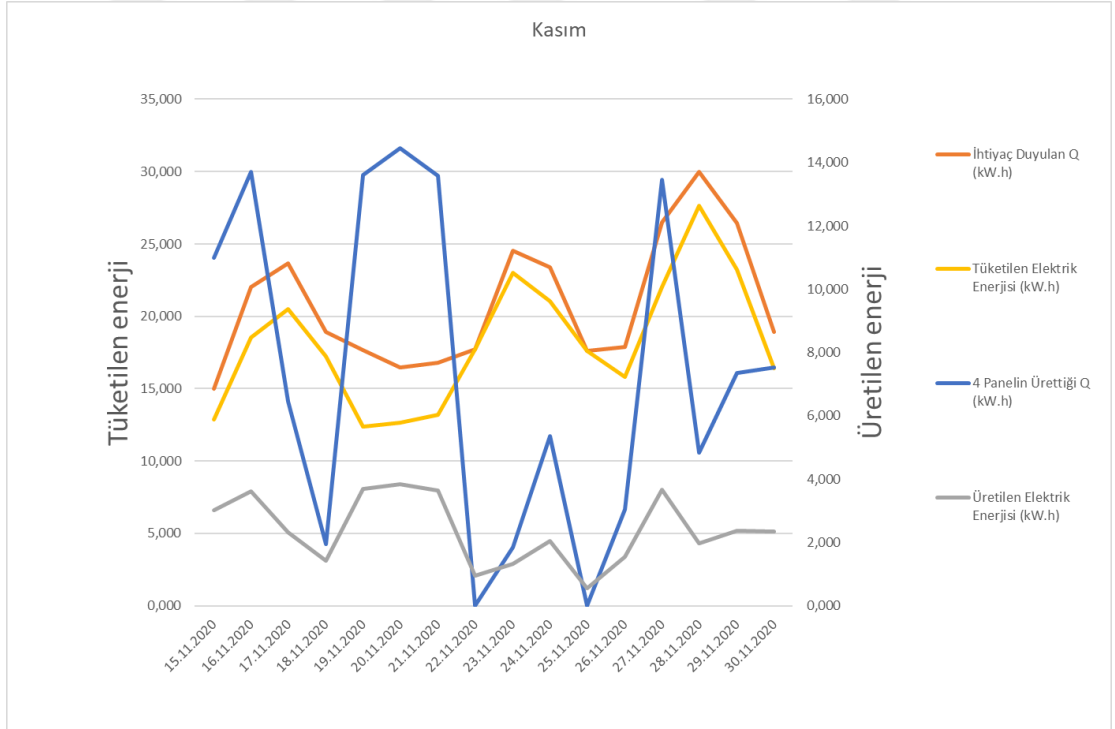
C. 3 Panel Aylık Üretim/Tüketim Verileri

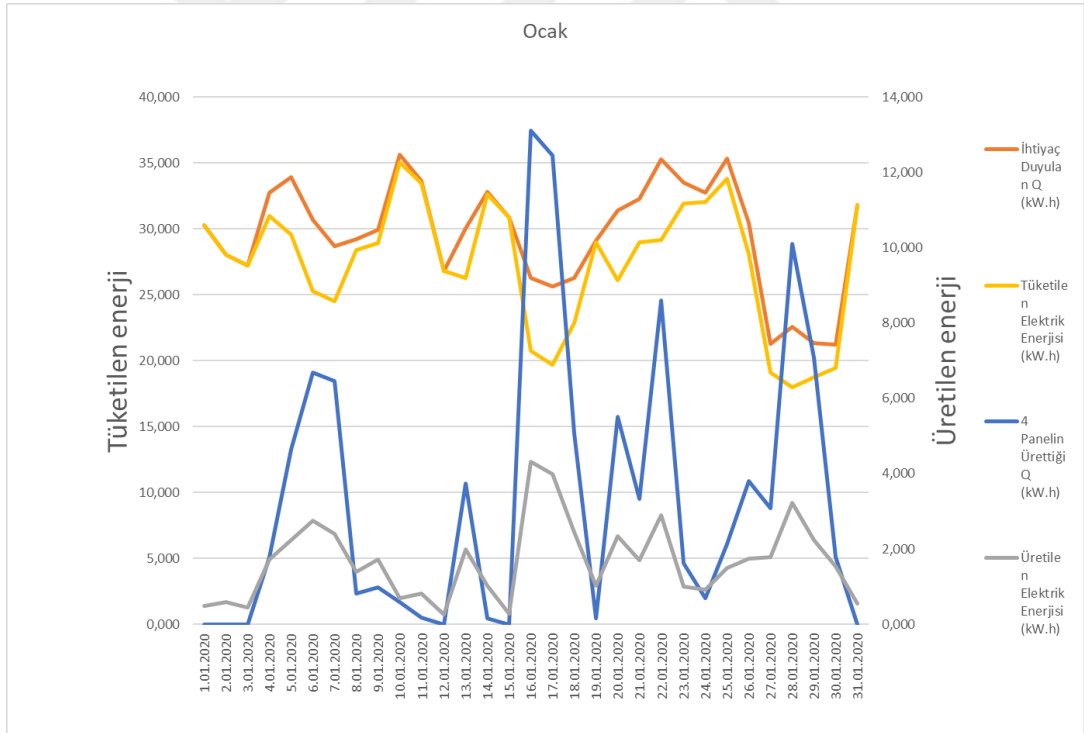
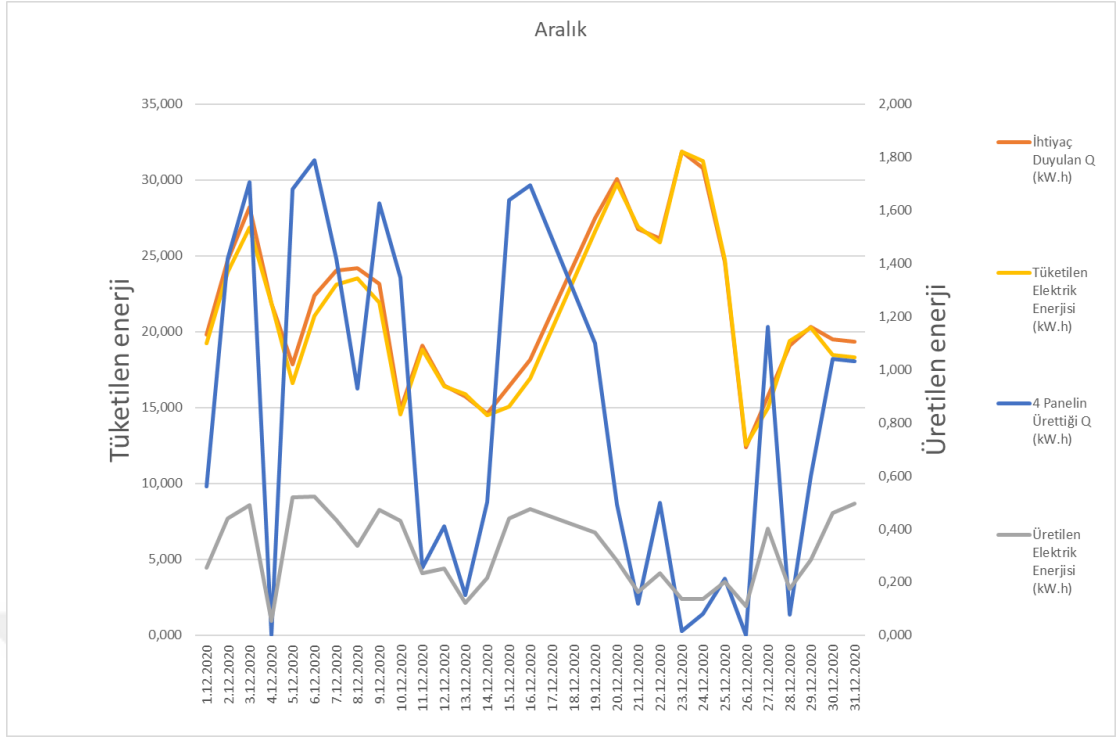


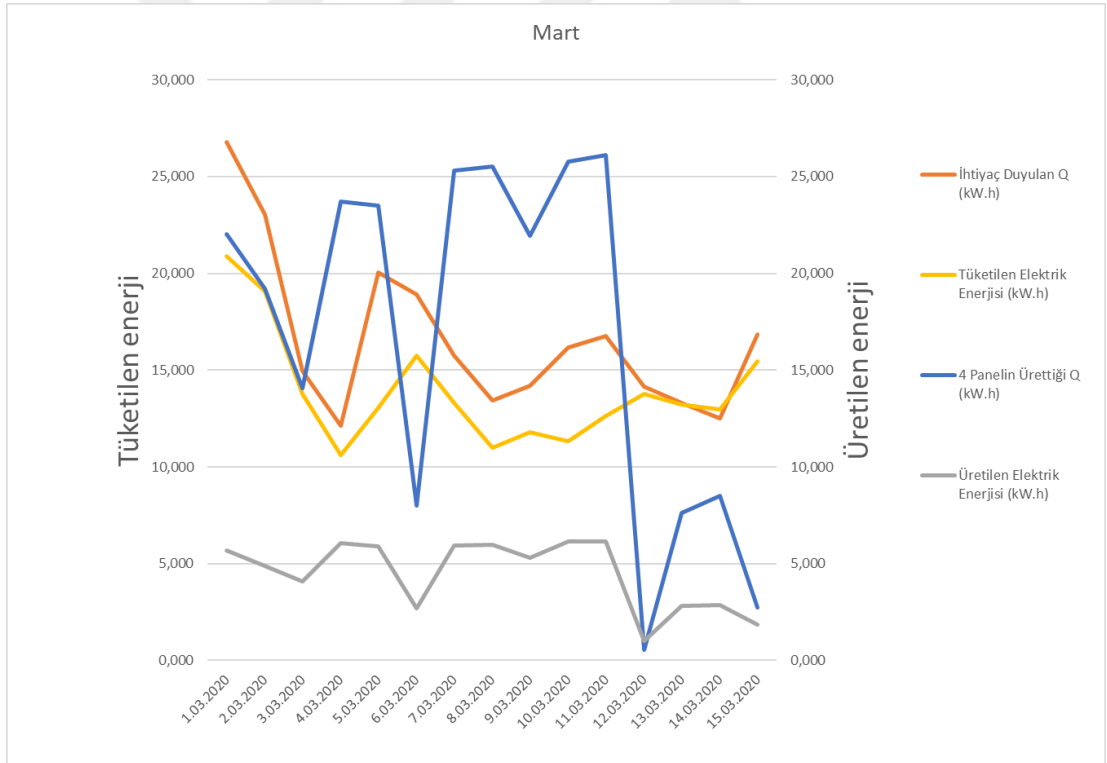
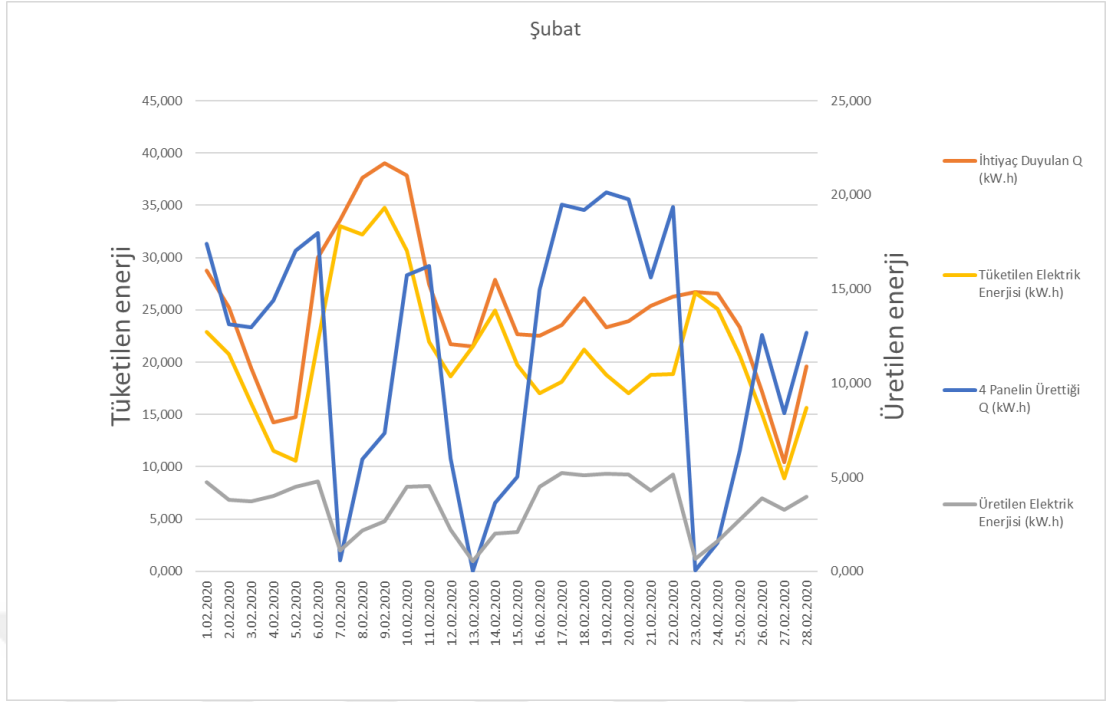




D. 4 Panel Aylık Üretim/Tüketim Verileri







EK D. Visual Basic Program Çıktısı

```
Microsoft Visual Basic for Applications - vericizelge (11) (7) (1).xism - [Module2 (Code)]
File Edit View Insert Format Debug Run Tools Add-Ins Window Help
Ln,1,Col 1
Project - VBAProject
SOLVER (SOLVER.XLA)
VBAProject (FUNCRE)
VBAProject (ST.MXB)
Microsoft Excel Ob
BuÇalışmaKitai
Sayfa1 (Sayfa)
Microsoft Excel Ob
VBAProject (tbl2.xls)
Microsoft Excel Ob
Modules
Module1
VBAProject (vertc.i)
Microsoft Excel Ob
BuÇalışmaKitai
Sayfa1 (1 pan)
Sayfa2 (2 pan)
Sayfa3 (3 pan)
Sayfa4 (4 pan)
Modules
Module1
Module2
Sub FormulleriVBAileHesapla()
Dim ws As Worksheet
Dim sonSatur As Long
Dim i As Long
Dim R2, R3, R4, R6, E, D, G, R18, R19, R20, R21, M As Double
For Each ws In ThisWorkbook.Sheets
' En büyük satır numarasını bulmak için H, K ve N sütunlarını kontrol edelim
sonSatur = Application.WorksheetFunction.Max(ws.Cells(ws.Rows.Count, "H").End(xlUp).Row, _
ws.Cells(ws.Rows.Count, "K").End(xlUp).Row, _
ws.Cells(ws.Rows.Count, "N").End(xlUp).Row)
' Sabit değerleri al
R2 = ws.Range("R2").Value
R3 = ws.Range("R3").Value
R4 = ws.Range("R4").Value
R6 = ws.Range("R6").Value
R18 = ws.Range("R18").Value
R19 = ws.Range("R19").Value
R20 = ws.Range("R20").Value
R21 = ws.Range("R21").Value
For i = 1 To sonSatur
' H sütunundaki formül için
E = If(IsEmpty(ws.Cells(i, "E").Value) Or Not IsNumeric(ws.Cells(i, "E").Value), 0, ws.Cells(i, "E").Value)
D = If(IsEmpty(ws.Cells(i, "D").Value) Or Not IsNumeric(ws.Cells(i, "D").Value), 0, ws.Cells(i, "D").Value)
G = If(IsEmpty(ws.Cells(i, "G").Value) Or Not IsNumeric(ws.Cells(i, "G").Value), 0, ws.Cells(i, "G").Value)
ws.Cells(i, "BA").Value = (R2 * R3) * ((R4 * E) - (R6 * (G - D))) / 1000
' K sütunundaki formül için
ws.Cells(i, "BB").Value = (E * R18 * R19 * R20 * R21) / 1000
' N sütunundaki formül için
M = If(IsEmpty(ws.Cells(i, "M").Value) Or Not IsNumeric(ws.Cells(i, "M").Value), 0, ws.Cells(i, "M").Value)
ws.Cells(i, "BC").Value = (3000 * M) / 1000
Next i
Next ws
End Sub
Windows'u Etkinleştir
Windows'u etkinleştirmek için Ayarlar'a gidin.
```

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ece BÜYÜKALTAY
Doğum Yeri ve Yılı :
Medeni Hali :
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta :
Tel No :

Eğitim Durumu

Lise : Senem Aka Anadolu Lisesi, 2014.
Lisans : Karabük Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 2019 – Anadolu Üniversitesi İşletme Bölümü, 2016-(halen).
Yüksek Lisans : Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 2019-(halen).

Mesleki Deneyim

Vestel Elektronik San. ve Tic. A.Ş. Haziran 2018 – Ağustos 2018
Seramiksan Seramik San. ve Tic. A.Ş. Mart 2019- Halen