

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**VAKUM TÜPLÜ GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNİN ABSORPSİYONLU
SOĞUTMA İÇİN KULLANILABİLME POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmed DÜZCAN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

TEMMUZ 2019

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**VAKUM TÜPLÜ GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNİN ABSORPSİYONLU
SOĞUTMA İÇİN KULLANILABİLME POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ahmed DÜZCAN
(162080103)**

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Yusuf Ali KARA

TEMMUZ 2019

BTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 162080103 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Ahmed DÜZCAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "VAKUM TÜPLÜ GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNİN ABSORPSİYONLU SOĞUTMA İÇİN KULLANILABİLME POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Yusuf Ali KARA**
Bursa Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Mehmet Ziya SÖĞÜT**
Piri Reis Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Tayfun TANBAY
Bursa Teknik Üniversitesi

Savunma Tarihi : **24.07.2019**

FBE Müdürü : **Doç. Dr. Murat ERTAŞ**
Bursa Teknik Üniversitesi/...../.....

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Ahmed DÜZCAN

İmzası :

X X X X



Çok değerli aileme,

ÖNSÖZ

Lisanüstü eğitimim sırasında tez konumun belirlenmesi ve çalışmanın tamamlanmasında bana yol gösteren, çok değerli bilgi ve birikimlerini paylaşan saygı değer danışman hocam Sayın Prof. Dr. Yusuf Ali KARA'ya çok teşekkür ederim. Bu yorucu süreçte hiçbir zaman benden desteklerini esirgemeyen çok değerli aileme şükranlarımı sunmak isterim.

Temmuz 2019

Ahmed DÜZCAN



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
KISALTMALAR	vii
SEMBOLLER	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ...	1
1.1 Literatür	3
1.2 Tezin Amacı	12
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	14
2.1 Güneş Enerjisi	14
2.2 Güneş Kollektörleri	16
2.2.1 Düzlemsel güneş kollektörleri	17
2.2.2 Vakum tüplü güneş kollektörleri.....	18
2.2.3 Isı borulu vakum tüplü güneş kollektörleri	19
2.2.4 U borulu vakum tüplü güneş kollektörleri	21
2.3 Absorpsiyonlu Soğutma	21
2.4 Simülasyon Programının Tanıtımı	23
2.5 Simülasyon Programında Kullanılan Modeller.....	24
2.5.1 Güneş kollektörü	24
2.5.2 Sıcak su depolama tankı.....	27
2.5.3 Pompa.....	28
2.5.4 Diferansiyel kontrol elemanı.....	29
2.5.5 Hava veri okuyucu	30
2.5.6 Besleme suyu hattı	31
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	33
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	58
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ.....	66

KISALTMALAR

AC	: Absorption Cooling
CO₂	: Karbondioksit
COP	: Coefficient of performance
COP_{ele}	: Electric coefficient of performance
CPC	: Compound parabolic collector
EES	: Engineering equation solver
GWh	: Gigawatt hours
h	: Saat
H₂O	: Su
HVAC	: Heating ventilating and air conditioning
IAM	: Incidence angle modifier
kW	: Kilowatt
kg	: Kilogram
kWh	: Kilowatt hours
kJ	: Kilojoule
L	: Litre
LiBr	: Lityum-Bromür
LiCl	: Lityum-Klorür
m	: Metre
Mcal	: Megakalori
MJ	: Megajoule
mm	: Milimetre
MTEP	: Milyon ton eşdeğer petrol
MW	: Megawatt
n	: Adet miktarı
NH₃	: Amonyak
Q	: Isı
Q_H	: Ortama verilen ısı
Q_L	: Ortamdan alınan ısı
Q_{Sıcak}	: Kaynaktan alınan ısı
Q_{Soğ}	: Soğurucudan atılan ısı
SF	: Solar fraction
TRNSYS	: Transient system simulation tool
TMY	: Typical meteorological year
TMY2	: Typical meteorological year version 2
W	: Watt
X	: Mesafe

SEMBOLLER

A	: Total collector array aperture or gross area
a_0	: Intercept (maximum) of the collector efficiency
a_1	: Negative of the first-order coefficient in collector efficiency equation
a_2	: Negative of the second-order coefficient in collector efficiency equation
C_P	: Specific heat of collector fluid
D_d	: Dünyanın çapı
D_s	: Güneşin çapı
f_{par}	: Fraction of pump/fan power converted to fluid thermal energy
F_R	: Overall collector heat removal efficiency factor
G_{sc}	: Güneş sabiti
G_{on}	: Atmosfer öncesi radyasyon değeri
I_{sc}	: Güneş sabiti
I_T	: Global radiation incident on the solar collector (Tilted surface)
\dot{m}	: Flowrate at use conditions
\dot{m}_h	: Mass flow rate of hot stream entering tank
\dot{m}_L	: Mass flow rate of load
\dot{m}_{max}	: Maximum flow rate (when $\bar{\gamma} = 1$)
\dot{m}_o	: Outlet mass flow rate
P	: Power consumption of pump or fan
Q_{aux}	: Rate of auxiliary energy Input to tank
\dot{Q}_{env}	: Rate of energy loss from tank
\dot{Q}_{in}	: Rate of energy Input to tank by solar
\dot{Q}_{sup}	: Rate of energy supply to load by tank
Q_u	: Rate of useful energy collection
T_a	: Ambient temperature
T_{env}	: Environmental temperature for losses from storage
T_D	: Temperature of water delivered by tank to load
T_H	: Upper Input temperature
T_h	: Temperature of hot fluid entering tank
T_i	: Inlet temperature of fluid to collector
T_{in}	: Temperature for high limit monitoring
T_L	: Lower Input temperature
T_{max}	: Maximum Input temperature
T_o	: Outlet temperature of fluid from collector
T_R	: Temperature of fluid return to heat source
$(UA)_i$: Overall UA value for tank
U_L	: Overall thermal loss coefficient of the collector per unit area
$U_{L/T}$: Thermal loss coefficient dependency on T(Temperature)
W_{pompa}	: Pompa işi
°C	: Santigrat derece

$^{\circ}\mathbf{K}$: Derece kelvin
$^{\circ}$: Derece
\emptyset	: Enlem
δ	: Deklinasyon (Sapma)
β	: Eğim
γ	: Yüzey azimut açısı
ω	: Saat açısı
θ	: Geliş açısı
θ_z	: Zenit açısı
α_s	: Güneş yükseklik açısı
γ_s	: Güneş azimut açısı
γ_0	: Output control function
γ_i	: Input control function
ΔT_H	: Upper dead band temperature difference
ΔT_L	: Lower dead band temperature difference
η	: Efficiency
$(\tau\alpha)_n$: At normal incidence
ΔT	: Sıcaklık farkı
ΔT_i	: Giriş sıcaklığına göre sıcaklık farkı
ΔT_{av}	: Ortalama sıcaklığa göre sıcaklık farkı
ΔT_o	: Çıkış sıcaklığına göre sıcaklık farkı
$\bar{\gamma}$: Control function ($0 \leq \bar{\gamma} \leq 1$)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Düz güneş kollektörü için güneş geliş açısı düzeltme faktörü.	26
Çizelge 2.2: Vakum tüplü güneş kollektörü için güneş geliş açısı düzeltme faktörü.	26
Çizelge 2.3: Düz güneş kollektörüne ait parametre ve input değerleri.....	27
Çizelge 2.4: Vakum tüplü güneş kollektörüne ait parametre ve input değerleri.	27
Çizelge 2.5: Sıcak su depolama tankına ait parametre ve input değerleri.	28
Çizelge 2.6: Pompaya ait parametre ve input değerleri.	29
Çizelge 2.7: Diferansiyel kontrol elemanı için parametre ve input değerleri.....	30
Çizelge 2.8: Hava veri okuyucu için parametre değerleri.	31

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: 2017 yılına kadar bölgelere göre yakıt tüketimi oranları.	2
Şekil 1.2: Yıllara göre dünyadaki birincil enerji tüketimi.	2
Şekil 1.3: Ülkemizde elektrik enerjisi üretimi kurulu gücü.	2
Şekil 1.4: Ülkemizde elektrik enerjisi üretiminin kaynak bazında gösterimi.	3
Şekil 1.5: Yerli ve ithal kaynak bazında ülkemiz kurulu gücü.	3
Şekil 1.6: Güneş destekli absorpsiyonlu soğutma sistemi.	13
Şekil 2.1: Dünya ve güneş sisteminin geometrisi.	15
Şekil 2.2: Güneş açıları.	17
Şekil 2.3: Düz güneş kolektörlerinin şematik diyagramı.	18
Şekil 2.4: Isı borulu vakum tüplü güneş kolektörün şematik diyagramı.	20
Şekil 2.5: Reflektörlü vakum tüplü güneş kolektörleri a) Düz reflektör b) CPC reflektör.	20
Şekil 2.6: U-borulu vakum tüplü kolektör.	21
Şekil 2.7: A) U borulu vakum tüplü kolektör B) Kesit resmi.	22
Şekil 2.8: Absorpsiyonlu soğutma sistemi.	23
Şekil 2.9: Simülasyon programında düz güneş kolektörüyle oluşturulan simülasyonun görüntüsü.	25
Şekil 2.10: Simülasyon programında vakum tüplü güneş kolektörüyle oluşturulan simülasyonun görüntüsü.	26
Şekil 2.11: Diferansiyel kontrol elemanı fonksiyonu.	30
Şekil 2.12: Besleme hattı ve tank arasındaki bağlantı.	31
Şekil 2.13: Besleme suyu hattı yük göstergesi.	32
Şekil 3.1: Haziran-Temmuz-Ağustos ayları için ışınım değeri.	33
Şekil 3.2: Düz güneş kolektörü çıkış sıcaklığı (yük ve yardımcı ısıtıcı kapalı).	34
Şekil 3.3: Düz güneş kolektörü yüke giden tank sıcaklığı (yük ve yardımcı ısıtıcı kapalı).	35
Şekil 3.4: Düz güneş kolektörü faydalı ısı miktarı (yük ve yardımcı ısıtıcı kapalı).	35
Şekil 3.5: Düz güneş kolektörü verimi (yük ve yardımcı ısıtıcı kapalı).	36
Şekil 3.6: Vakum tüplü güneş kolektörü çıkış sıcaklığı (yük ve yardımcı ısıtıcı kapalı).	36
Şekil 3.7: Vakum tüplü güneş kolektörü yüke giden tank sıcaklığı (yük ve yardımcı ısıtıcı kapalı).	37
Şekil 3.8: Vakum tüplü güneş kolektörü faydalı ısı miktarı (yük ve yardımcı ısıtıcı kapalı).	37
Şekil 3.9: Vakum tüplü güneş kolektörü verimi (yük ve yardımcı ısıtıcı kapalı). ...	38
Şekil 3.10: Düz güneş kolektörü için farklı yüklerde kolektör çıkış sıcaklığı (yardımcı ısıtıcı kapalı).	39
Şekil 3.11: Düz güneş kolektörü için farklı yüklerde yüke giden tank sıcaklığı (yardımcı ısıtıcı kapalı).	39

Şekil 3.12: Düz güneş kolektörü için farklı yüklerde faydalı ısı miktarı (yardımcı ısıtıcı kapalı).....	40
Şekil 3.13: Düz güneş kolektörü için farklı yüklerde kolektör verimi (yardımcı ısıtıcı kapalı).....	41
Şekil 3.14: Vakum tüplü güneş kolektörü için farklı yüklerde kolektör çıkış sıcaklığı (yardımcı ısıtıcı kapalı).	42
Şekil 3.15: Vakum tüplü güneş kolektörü için farklı yüklerde yüke giden tank sıcaklığı (yardımcı ısıtıcı kapalı).....	42
Şekil 3.16: Vakum tüplü güneş kolektörü için farklı yüklerde faydalı ısı miktarı (yardımcı ısıtıcı kapalı).	43
Şekil 3.17: Vakum tüplü güneş kolektörü için farklı yüklerde kolektör verimi (yardımcı ısıtıcı kapalı).	44
Şekil 3.18: Düz güneş kolektörü için farklı yüklerde kolektör çıkış sıcaklığı (yardımcı ısıtıcı açık).	45
Şekil 3.19: Düz güneş kolektörü için farklı yüklerde yüke giden tank sıcaklığı (yardımcı ısıtıcı açık).	45
Şekil 3.20: Düz güneş kolektörü için farklı yüklerde faydalı ısı miktarı (yardımcı ısıtıcı açık).....	46
Şekil 3.21: Düz güneş kolektörü için farklı yüklerde kolektör verimi (yardımcı ısıtıcı açık).....	46
Şekil 3.22: Düz güneş kolektörü için farklı yüklerde güneşten faydalanma oranı (yardımcı ısıtıcı açık).	47
Şekil 3.23: Vakum tüplü güneş kolektörü için farklı yüklerde kolektör çıkış sıcaklığı (yardımcı ısıtıcı açık).	48
Şekil 3.24: Vakum tüplü güneş kolektörü için farklı yüklerde yüke giden tank sıcaklığı (yardımcı ısıtıcı açık).....	49
Şekil 3.25: Vakum tüplü güneş kolektörü için farklı yüklerde faydalı ısı miktarı (yardımcı ısıtıcı açık).	49
Şekil 3.26: Vakum tüplü güneş kolektörü için farklı yüklerde kolektör verimi (yardımcı ısıtıcı açık).	50
Şekil 3.27: Vakum tüplü güneş kolektörü için farklı yüklerde güneşten faydalanma oranı (yardımcı ısıtıcı açık).	51
Şekil 3.28: Düz güneş kolektörü için farklı yüklerde güneşten faydalanma oranı (yardımcı ısıtıcı açık-3 aylık).....	52
Şekil 3.29: Vakum tüplü güneş kolektörü için farklı yüklerde güneşten faydalanma oranı (yardımcı ısıtıcı açık-3 aylık).....	52
Şekil 3.30: Düz güneş kolektörü için farklı yüklerde güneşten faydalanma oranı (yardımcı ısıtıcı açık-3 aylık).....	53
Şekil 3.31: Vakum tüplü güneş kolektörü için farklı yüklerde güneşten faydalanma oranı (yardımcı ısıtıcı açık-3 aylık).....	53
Şekil 3.32: Yardımcı ısıtıcı 85 °C değerine set edildiğinde güneşten faydalanma oranı yardımcı ısıtıcı.....	54
Şekil 3.33: Yardımcı ısıtıcı 90 °C değerine set edildiğinde güneşten faydalanma oranı yardımcı ısıtıcı.....	54
Şekil 3.34: Aynı gün için kolektör çıkış sıcaklığının değişimi.	55
Şekil 3.35: Aynı gün için faydalı ısı miktarının değişimi.....	56
Şekil 3.36: Aynı gün için yüke giden tank sıcaklığının değişimi.	56
Şekil 3.37: Aynı gün için kolektörün verim değişimi.	57

VAKUM TÜPLÜ GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNİN ABSORPSİYONLU SOĞUTMA İÇİN KULLANILABİLME POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Teknolojinin gelişmesi ve nüfusun artmasıyla birlikte ülkemizin enerji ihtiyacı artış göstermektedir. Ülkemizde, gerekli olan enerjinin üretilebilmesi için çoğunluğu fosil yakıtlar olan doğalgaz, kömür gibi yakıtlar kullanılmaktadır. Bu yakıtların büyük bir çoğunluğu ise ithal edilmektedir. Ülkemiz için gerekli olan enerjinin üretilmesinde, yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak çevreye zararlı olan emisyonların azaltılmasına katkı sağlanmış olunacaktır. Bu tez çalışmasında Antalya ili için vakum tüplü güneş kollektörlerinden faydalanılarak absorpsiyonlu soğutma işleminin yapılabilirliği TRNSYS programında simüle edilmiştir. Yapılan analizler hem düz hem de vakum tüplü güneş kollektörleri ile yapılmış ve her iki kollektör tipindeki durumlar karşılaştırılmıştır. Endüstride kullanılan düz ve vakum tüplü güneş kollektörleri simülasyonda kullanılmıştır. Yaz ayları boyunca yapılan simülasyonda farklı yük debilerinde güneşten faydalanma oranının nasıl değiştiği gözlenmiştir. Yapılan 3 aylık simülasyonda yük dönüş sıcaklık değeri 75 °C olarak kabul edilmiştir. Yük uygulanan analizlerde yükün uygulandığı zaman dilimi 10:00 ve 22:00 saatleri arasındadır. Bu analiz esnasında depolama tankının set sıcaklık değeri 85 °C ve 90 °C seçilmiş ve bu parametrenin de etkisi incelenmiştir.

Günlük analiz çalışmaları ise Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında seçilen bir gün için yapılmıştır. Bu analizde, kollektör çıkış sıcaklığı, yüke giden tank sıcaklığı, kollektörden elde edilen faydalı ısı miktarı, kollektör verimi ve güneşten faydalanma oranları incelenmiştir. İncelenen bu parametreler ise yüksüz ve yardımcı ısıtıcı kapalı durumda iken, yüklü ve yardımcı ısıtıcı kapalı iken, yüklü ve yardımcı ısıtıcı açık iken durumlarına göre analiz edilmiştir. Yük uygulama durumlarında yük debisi 15 – 30 – 45 kg/h olarak farklı debilerde uygulanmıştır. Bu analizde de yükün uygulandığı zaman dilimi 10:00 ve 22:00 saatleri arasındadır. Yardımcı ısıtıcı açık olduğu durumda set edilen sıcaklık değeri ise 85 °C olarak kabul edilmiştir. Aynı zamanda yük dönüş sıcaklık değeri ise 15 °C olarak alınmıştır.

Bu çalışmalar sonucunda aynı şartlar altında vakum tüplü güneş kollektörünün düz güneş kollektörüne göre daha verimli olduğu daha yüksek sıcaklık değerlerine çıkılabildiği, kurulması planlanan sistem için güneşten faydalanma oranının daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Günlük analiz sonuçlarında güneşten faydalanma oranı 15 – 30 – 45 kg/h debilerinde vakum tüplü güneş kollektöründe sırasıyla yaklaşık % 87, % 61, %17 iken, düz güneş kollektöründe ise yaklaşık % 77, % 38, - % 1 olarak bulunmuştur. Yüksüz durumda, kollektör verimlerinde ise vakum tüplü güneş kollektörü düz güneş kollektörüne göre yaklaşık % 5 daha iyi performans ortaya koymaktadır. 3 aylık yaz dönemi boyunca yapılan analiz sonuçlarında ise, 15 – 30 – 45 kg/h debilerinde elde edilen faydalanma oranı değerleri sırasıyla vakum tüplü güneş kollektöründe % 99, % 96, % 84 iken, düz güneş kollektöründe ise % 90, % 47, % 20 olarak bulunmuştur. Absorpsiyonlu soğutma sistemi için gerekli olan enerjinin

uygulanacak olan yük debisine bağlı olarak büyük oranda vakum tüplü güneş kollektöründen sağlanabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Vakum Tüplü Güneş Kollektörü, Absorpsiyonlu Soğutma, TRNSYS, Yenilenebilir Enerji, Güneş Enerjisi, Güneş Faydalanma Oranı



INVESTIGATION OF EVACUATED TUBE SOLAR COLLECTORS' CAPACITY FOR ABSORPTION COOLING

SUMMARY

With the increase in population and the development of technology, the energy demand of our country increases. In our country, fossil fuels such as natural gas and coal are used in order to produce the necessary energy. The majority of these fuels are imported. In the production of the energy required for our country, usage of renewable energy sources will contribute to the reduction of harmful emissions to the environment. In this thesis, the feasibility of absorption cooling process by using vacuum tube solar collectors for Antalya province is simulated in TRNSYS program. The analyzes were performed with both flat and vacuum tube solar collectors and the conditions of both collector types were compared. Flat and vacuum tube solar collectors used in industry are used in simulation. The simulation is performed during the summer months, it has been observed how the solar fraction changes at different load conditions. In the 3-month simulation, load return temperature was accepted as 75 °C. In the analyzes applied with load, the time period in which the load is applied is between 10:00 and 22:00. During this analysis, the set temperature value of the storage tank was selected as 85 °C and 90 °C and the effect of this parameter was examined.

Daily analysis was conducted for a selected day in June, July and August. In this analysis, the collector outlet temperature, temperature to load, the amount of heat obtained from the collector, collector efficiency and solar fraction were examined. These parameters were analyzed at three conditions which are no-load and no auxiliary heater, with load and no auxiliary heater, with load and auxiliary heater. In case of load application, load flow rate is 15 – 30 – 45 kg/h at different flow rates. In this analysis, the time period in which the load is applied is between 10:00 and 22:00. If the auxiliary heater is switched on, the set temperature is assumed to be 85 °C. At the same time, the temperature of the water retuning from load is taken as 15 °C.

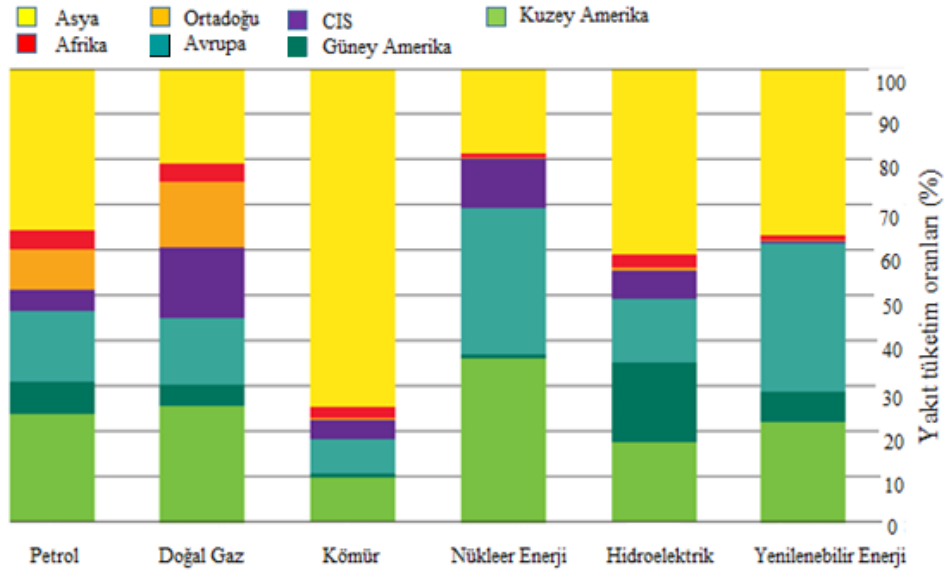
As a result of these studies, it was concluded that the vacuum tube solar collector is more efficient than the flat solar collector under the same conditions, higher temperature values can be reached and the utilization rate of the sun is higher for the planned system. In the daily analysis results, the solar utilization rate was found to be approximately 87 %, 61 %, 17 % in the vacuum tube solar collector at flow rates of 15 - 30 - 45 kg/h, while it was approximately 77 %, 38 %, - 1 % in the flat solar collector, respectively. In the case of no load, the collector yields about 5% better performance than the solar collector with vacuum tube. According to the results of the analysis conducted during the 3-month summer period, the utilization rates obtained in the 15 - 30 - 45 kg/h flow rates were found as 99 %, 96 %, 84 % in the vacuum tube collector and 90 %, 47 % and 20 % in the flat solar collector, respectively. It has been concluded that the energy required for the absorption cooling system can be supplied mainly from the vacuum tube solar collector depending on the load flow to be applied.

Keywords: Evacuated Tube Solar Collector, Absorption Cooling, TRNSYS, Renewable Energy, Solar Energy, Solar Fraction

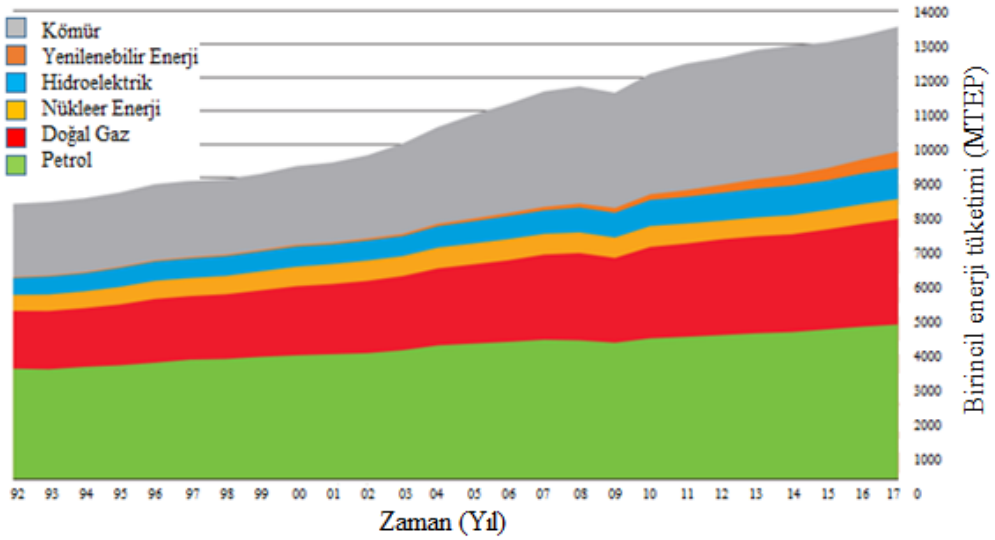


1. GİRİŞ

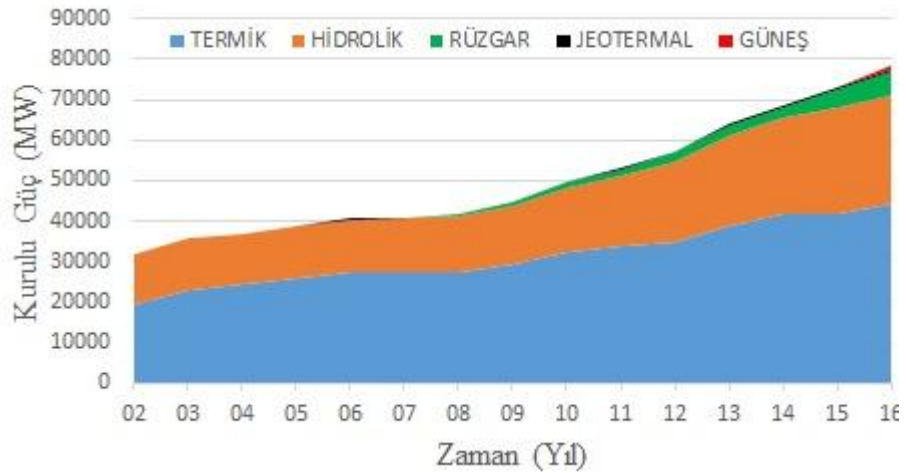
Enerji Bakanlığının ve çeşitli bazı kuruluşların raporlarına göre dünyada ve ülkemizde tüketilen enerji yıllar boyunca artmıştır. Dünyadaki tüketilen enerji miktarı 2017 yılında 13 milyar ton eşdeğer petroldür. Tüketilen bu enerji miktarı detaylı incelendiğinde ise çoğunluğun fosil kaynaklardan elde edildiği görülmektedir. Hidroelektrik ve yenilenebilir enerjinin payı diğer kaynaklara göre oldukça düşük seviyede kalmıştır. Her geçen yıl artan enerji talebi ile fosil yakıtların kullanımı artmaktadır. Bunun sonucunda ise fosil yakıt kaynak miktarı zamanla azalmakta ve kullanılan fosil yakıtlardan dolayı çevreye zararlı emisyonlar yayılmaktadır. Şekil 1.1'de görüldüğü gibi tüketilen enerji miktarlarında oran olarak en yüksek yenilenebilir enerji tüketim oranı Avrupa'da olduğu gözükmemektedir ve bu oran %10'un altında çok düşük seviyede kalmıştır. Şekil 1.4'te görüldüğü gibi ülkemizde ise üretilen enerji miktarı (GWh) 2009 yılı dışında son yıllarda artış göstermiştir. 2016 yılında üretilen enerji miktarı 273,387 GWh olmuştur. Üretilen bu enerji miktarında yenilenebilir enerji kaynaklarının oranı ise %7,7 dir. Hidrolik enerjiyi de bu gruba dahil edecek olursak bu oran yaklaşık %32 seviyesindedir. Ayrıca Şekil 1.3'te ülkemizin toplam kurulu güç grafiği yer almaktadır. Grafik incelendiğinde kurulu gücün her yıl değişen oranlarda arttığı ve 2016 yılında ise 78497 MW olduğu görülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının (rüzgâr + jeotermal + güneş) kurulu güçteki oranı ise %1 seviyesindedir. Şekil 1.2'de ise birincil enerji tüketiminin yıllara göre nasıl değiştiği görülmektedir. Yukarıda da belirtildiği gibi ülkemizde üretilen enerjinin yaklaşık %65 - %70 kadarı fosil kaynaklardan üretilmektedir. Enerji üretiminde kullanılan fosil kaynakların birçoğu ise ithal edilmektedir. Şekil 1.5'te ise yerli ve ithal ürünlere ait kurulu güç grafiği görülmektedir. Fosil kaynakların kullanılmasıyla hem çevreye zararlı atıklar salınmakta hem de yurtdışında ithal edildiği için dışa bağımlı hale gelmektedir. Tüm bu olumsuzlukları azaltmak için ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilecek enerji üretiminin artırılması gerekmektedir [1,2].



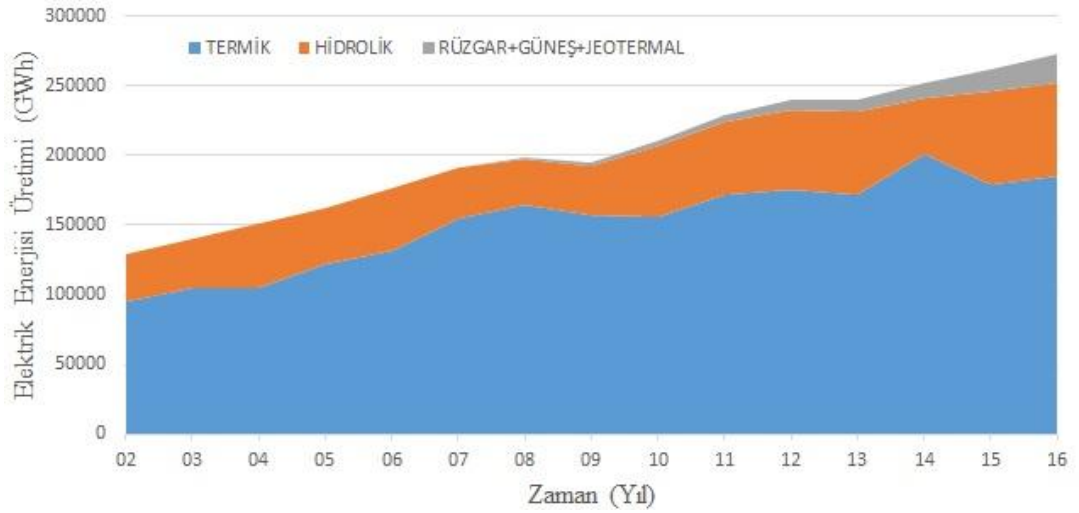
Şekil 1.1: 2017 yılına kadar bölgelere göre yakıt tüketimi oranları [1].



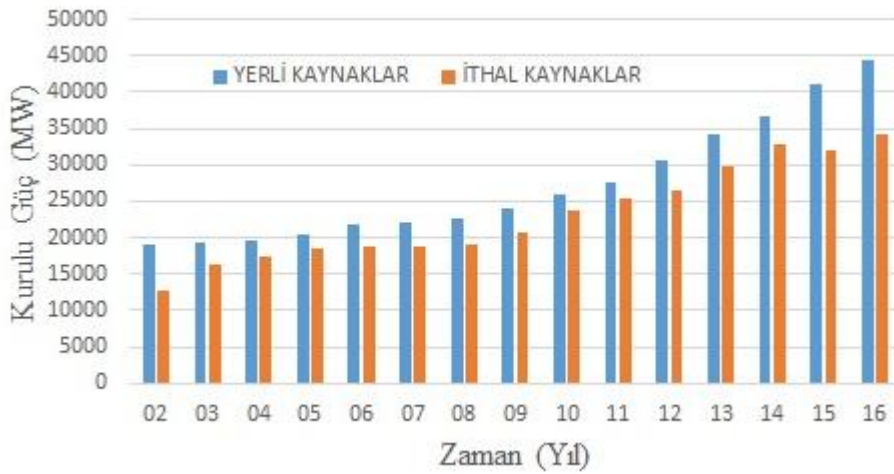
Şekil 1.2: Yıllara göre dünyadaki birincil enerji tüketimi [1].



Şekil 1.3: Ülkemizde elektrik enerjisi üretimi kurulu gücü [2].



Şekil 1.4: Ülkemizde elektrik enerjisi üretiminin kaynak bazında gösterimi [2].



Şekil 1.5: Yerli ve ithal kaynak bazında ülkemiz kurulu gücü [2].

1.1 Literatür

Daşkın ve Aksoy [3] Malatyada bulunan bir binanın iklimlendirilmesi amacıyla güneş enerjisinden faydalanarak absorpsiyonlu soğutma sistemini kullanmışlardır. Binanın soğutma yükünü karşılayacak şekilde güneş destekli soğutma sistemini modellemişlerdir. Eğik yüzeye gelen aylık ortalama günlük ışınım değerlerine bakıldığında Mayıs-Eylül ayları arasındaki aylar için 3 - 3,5 MJ/m² aralığında değiştiği görülmüştür. Ayrıca saatlik soğutma yük değerleri iç ortam sıcaklığı 24 °C kabul edilerek hesaplanmış ve Mayıs-Eylül ayları arası için maksimum değerleri 50-70 kW arasında bulunmuştur. Yapılan çalışmada güneş enerjisinden faydalanma oranı %40 -

%80 aralığında değişmektedir. Sistemde gerekli enerjinin üretimi için düzlemsel kollektör kullanılmıştır. Kollektörün karakteristik özellikleri olan verim eğrisi kesme değeri 0,75 ve verim eğrisi eğim değeri 3,2 W/m²K kabul edilerek sistemde hesaplamalar yapılmıştır. Bunun sonucunda sabit kollektör yüzey alanı için su tankı hacminin artırılması güneş faydalanma oranını arttırmakta, gerekli yardımcı ısıtıcı kullanımını azaltmaktadır. Kollektör alanını arttırıldığında da benzer sonuçların elde edildiği görülmüştür.

Kent ve Kaptan [4] İzmirdeki elli yataklı beş katlı (kat alanı 165 m²) bir otelin ısıtma ve soğutma ihtiyacını karşılayabilmek için güneş enerjisi destekli absorpsiyonlu soğutma sistemini teorik olarak incelemiştir. Soğutma sisteminde LiBr-su akışkan çifti kullanılmıştır. Sistemde düz güneş kollektörü kullanılmış ve eğim açısı 30 ° olarak alınmıştır. Yıllık faydalanma oranı %30 olarak alındığı durumda kollektörlerin toplam alanı 92 m² olarak hesaplanmıştır. 2009 yılı için bu sistemin toplam maliyeti ise 116100 TL olarak bulunmuştur. Geri ödeme süresi ise kullanılacak olan yakıt türüne göre 6-8 yıl arasında değiştirdiği sonucuna varılmıştır.

Karaçavuş [5] güneş enerjisinden sıcak su elde etmek için İzmir, Trabzon ve Hakkari illerinin iklim verilerini kullanarak TRNSYS programında sistemin tasarımını ve optimizasyonunu yapmıştır. Çalışma yapılan sistem için optimum düzlemsel güneş kollektör yüzeyi ve eğim açısı belirlenmiştir. Belirlenmiş olan optimum değerlere göre her il için faydalanma oranı, kollektör verimi, yardımcı ısıtıcı yükü, enerji değişimleri gibi değerler zamana göre analiz edilmiştir. İzmir için optimum kollektör alanı 4,12 m², optimum eğim açısı ise 42,42 ° olarak belirlenmiştir. Çalışma yapılan illerden olan İzmirde Ocak ayı için güneşten faydalanma oranı %39 olarak hesaplanmıştır. Aynı ay için yardımcı ısıtıcı yük değeri 877,68 MJ, eğimli yüzeye gelen ışınım değeri ise yaklaşık 399 MJ/m² dir. Yıl bazında İzmir için faydalanma oranı ise %67 olarak hesaplanmıştır. Trabzon ve Hakkari illerinde ise faydalanma oranı değerleri sırasıyla %49 ve %56 olarak hesaplanmıştır. Aylık kollektör verimi en yüksek değeri Ağustos ayında Hakkari ili için elde edilmiştir. Yaklaşık %49 olarak hesaplanan verim, İzmir ili için yapılan analizde yaklaşık %43, Trabzon için ise yaklaşık %39 olarak hesaplanmıştır.

Ghaddar vd. [6] lityum bromür kullanılan absorpsiyon sistemini kullanarak mekan soğutulmasında güneş enerjisinin kullanımı üzerine analitik bir çalışma yapmışlardır. Beyrut'taki tüm iklim koşulları için, güneş enerjisi destekli absorpsiyon döngüsünün

modellenmesi ve performansının değerlendirilmesi için simülasyon programı yapılmıştır. Sistemin günde 7 saat çalışabilmesi ve aynı zamanda 1 ton soğutma yapabilmesi için gerekli olan optimum su tank hacminin 1000-1500 L aralığında ve minimum kollektör alanının (düz güneş kollektörü) 23,3 m² olması gerektiği sonucuna varılmıştır. Güneş destekli absorpsiyonlu soğutma sisteminin kabul edilebilir çalışma aralığı 65 °C ile 85 °C arasındadır. Bu sıcaklık değerlerine karşılık gerekli olan jeneratör yük değeri ise 12 kW ile 14,5 kW tır. Sistemden elde edilen optimum performans sonuçlarına bakıldığında sabit yük debi değerinde güneş faydalanma oranı %20 - %26 aralığında iken, değişken yük debi değerinde ise %38 - %44 aralığında olduğu görülmüştür. Elde edilen bu sonuçlarda birim kollektör alanı başına tank hacmi değerinin 13-19 L/m² olduğu saptanmıştır.

Kuyumcu vd. [7] yapmış oldukları çalışmada güneş enerjisi destekli tek etkili LiBr-H₂O akışkan çiftinin olduğu absorpsiyonlu soğutma ünitesini kullanarak Kahramanmaraş ilindeki 110 m² alana sahip olan bir apartmanın soğutulmasını amaçlamışlardır. Sistem için gerekli olan enerjinin karşılanabilmesi için düz ve vakum tüplü güneş kollektörlerinin kullanılması öngörülmüş ve sistem için gerekli olan kollektör yüzey alanı hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalarda EES ve Matlab programları kullanılmıştır. Dairenin soğutma yükü hesabı Mayıs-Eylül ayları arası için yapılmış ve maksimum soğutma yükü 2,5894 kW ile Temmuz ayında gerçekleşmiştir. En düşük soğutma yük değeri ise 1,1617 kW ile Mayıs ayında olmuştur. Çalışmada jeneratör için gerekli olan ısının karşılanabilmesi için verimi sırasıyla %43,7 - %51,97 olan düz ve vakum tüplü güneş kollektörleri kullanılmıştır. Her iki kollektör tipi için gerekli olan minimum kollektör alanı Ağustos ayı için düz güneş kollektöründe 22,84 m², vakum tüplü güneş kollektöründe ise 19,20 m² olarak hesaplanmıştır. Mayıs ayı dikkate alındığında ise vakum tüplü güneş kollektörü için gerekli olan yüzey alanı 8,62 m² iken, düz güneş kollektöründe ise gerekli yüzey alanı 10,25 m² olarak bulunmuştur.

Yakut vd. [8] enerji maliyetinin fazla olmasından dolayı temiz enerji olan güneş enerjisinden faydalanarak düz güneş kollektörünün kullanıldığı absorpsiyonlu soğutma sisteminin termodinamik incelemesi yapılarak sistemin COP ve verim değerleri hesaplanmıştır. Bu çalışmada LiBr-H₂O akışkan çifti kullanılmıştır. İç ortam sıcaklığı 25 °C, jeneratör sıcaklığı ise 85 °C olarak kabul edilmiş ve Isparta ilinde 30 kişilik bir salonun iklimlendirilmesi düşünülerek 2009 yılının meteorolojik verileri kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Mayıs-Eylül arasındaki beş ay için yapılan

hesaplamalar sonucunda gerekli olan kollektör alanı sırasıyla 20,52 m², 19,92 m², 18,83 m², 21,07 m², 26,77 m² iken, verim değerleri ise sırasıyla %55, %52, %53, %50 ve %43 olarak bulunmuştur. Sistemin genel verimi %57 ve COP değeri ise 0,75 olarak hesaplanmıştır. Analiz yapılan bu aylarda kollektörde absorbe edilen birim alan başına anlık enerji miktarı en fazla Mayıs ayında 719,6 W/m² ile gerçekleşmiştir.

Hilali vd. [9] güneş destekli absorpsiyonlu soğutma sisteminin veriminin bulunması üzerine çalışma yapmışlardır. Harran üniversitesinde bulunan misafirhanenin iklimlendirilmesi için yapılacak olan bu çalışmada düzlemsel güneş kollektörü kullanılmıştır. Soğutulması düşünülen mekanın alanı ise 156 m² dir. Mahalin toplam ısı kazancı ise 30,5 Mcal/h olarak hesaplanmıştır. Jeneratörden çıkış sıcaklık değeri ise 90 °C olarak kabul edilmiştir. Gerekli olan enerjinin karşılanabilmesi için kullanılacak olan düzlemsel güneş kollektörünün yüzey alanı 311 m² olarak hesaplanmış ve kollektörün verimi %59 olarak bulunmuştur.

Yalçın [10] yapmış olduğu çalışmada absorpsiyonlu soğutma sisteminin ısı analizi ve tasarımını yapmıştır. Ele alınan 7,5 kW soğutma kapasitesine sahip olan tek etkili absorpsiyonlu soğutma sisteminde kullanılan akışkan çifti LiBr-H₂O'dur. Tasarım parametresi olarak evaporatör çıkış sıcaklık değerini 6 °C, jeneratör eriyik çıkış sıcaklık değerini 90 °C, ısı değiştirici eriyik çıkış sıcaklık değerini 65 °C, jeneratör buhar çıkış sıcaklık değerini 85 °C ele alınmıştır. Bu parametrelere bağlı olarak tasarlanan sistemin her bir noktasının termodinamik özellikleri bulunmuştur. 90 °C olan jeneratör sıcaklığı için performans katsayısı 0,705 olarak hesaplanmış ve eriyik pompasında yapılan iş 0,214 kW olarak bulunmuştur. Absorber, jeneratör, kondenser, eriyik ısı değiştirici kapasite değerleri sırasıyla 10,05 kW, 10,63 kW, 8,07 kW, 2,47 kW olarak hesaplanmıştır. Sistemden daha iyi performans elde etmek ve jeneratör sıcaklığını minimize edebilmek için kondenser ve absorber su soğutmalı seçilmiş ve daha küçük boyutlarda olması amaçlanmıştır.

Ayompe vd. [11] düz ve ısı borulu vakum kollektörleri kullanılarak zorlanmış sirkülasyonlu su ısıtma sisteminin TRNSYS ile doğrulanması üzerine İrlandanın Dublin şehri baz alınarak bir çalışma yapmışlardır. Simülasyon programında düz kollektör için Type 73 modelini, ısı borulu vakum tüplü kollektör için ise Type 538 modelini kullanmışlardır. Modelden elde edilen verilerle ölçülen veriler karşılaştırılmıştır. Haziran ayında güneşten gelen radyasyon değeri yaklaşık olarak 3000 – 3500 kJ/m² değerindedir. Düz güneş kollektöründe kollektör çıkış sıcaklık

değeri modellenen sistem ile ölçülen sistemde birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Haziran ayı için elde edilen maksimum kollektör çıkış sıcaklığı modellenen sistemde yaklaşık 69 – 70 °C iken, ölçüm yapılan sistemde yaklaşık olarak 67 – 68 °C'dir. Düz güneş kollektöründe toplanan ısı miktarı da ölçülen ve modellenen sistemde birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Her iki sistemde de Haziran ayı için elde edilen maksimum ısı miktarı değeri yaklaşık 2400 kJ'dür. Vakum tüplü güneş kollektöründe ise her iki sistemde de elde edilen maksimum ısı değeri yaklaşık 2700 kJ değerindedir. Vakum tüplü güneş kollektörün çıkış sıcaklık değerinde ise modellenen sistemde yaklaşık olarak 70 °C iken, ölçülen sistemde de yaklaşık olarak 68 °C olarak ölçülmüştür.

Naranjo-Mendoza vd. [12] Ekvadorun Guayaquil bölgesinde bulunan bir ofis için güneş enerjisinden faydalanarak absorpsiyonlu soğutma sistemini TRNSYS programında modellemişlerdir. Önerilen model, vakum tüplü güneş kollektörü, tek etkili LiBr-H₂O akışkan çiftinin olduğu absorpsiyonlu soğutucu, sıcak su depolama tankı ve yardımcı kazandan oluşmaktadır. Saatlik maksimum termal yük Mart ayında gerçekleşmekte ve 153 kW'a kadar ulaşabilmektedir. Modelleme sonucunda sistemden elde edilen optimum yıllık güneşten faydalanma oranı ise 0,6 olarak bulunmuştur. Soğutma için gerekli olan enerji miktarı en düşük Eylül ayında gerçekleşmekte ve yaklaşık 25000 kWh değerinde olmaktadır. Güneş kollektör alanı 600m² nin üzerinde olduğunda güneş faydalanma oranını önemli derecede arttırmadığı gözlemlenmiştir. Kollektördeki debi 15000 kg/h olduğunda, maksimum güneş faydalanma oranı 0,62 olarak hesaplanmaktadır. Güneş faydalanma oranı en düşük Kasım-Aralık aylarında olurken (yaklaşık 0,45 civarında) en yüksek değeri ise (yaklaşık 0,7 nin üzerinde) Mart-Ağustos-Eylül aylarında olmaktadır. Aynı zamanda bu çalışma yapılırken kollektör için optimum eğimin ne olması gerektiği de belirtilmiştir. Farklı eğim açılarında sonuçlar elde edilmiş ve 0° - 10° arasında toplanan ısının maksimum olduğu tespit edilmiştir. Yukarıda bahsedilen sonuçlar ise 10° eğim açısına göre hesaplanmıştır.

Azimi vd. [13] İran için vakum tüplü güneş kollektörü kullanarak sıcak su elde eden sistemin TRNSYS programında simülasyonunu ve Matlab programını kullanarak ta sistemin optimizasyonunu yapmışlardır. Simülasyon programında vakum tüp kollektörü için Type 71 modeli kullanılmıştır ve sistemde bulunan tank farklı yüksekliklerde katmanlara ayrılmıştır. En alt katmandaki sıcaklık değeri maksimum

30 °C civarında iken, en üst katmanda yaklaşık 80 °C ye kadar çıkabilmektedir. Orta katmanlardaki sıcaklık değeri ise 40 °C - 50 °C arasında değişmektedir. Günlük, aylık ve yıllık olarak faydalı enerji miktarı, verim ve güneş faydalanma oranı hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda tanktan elde edilen çıkış sıcaklıkları Tebriz ve Zahedan için 15 Ağustos tarihinde maksimum 80°C civarında iken, Şubat ayında Tebriz de maksimum 60 °C, Zahedanda ise maksimum 70 °C civarında olmuştur. 15 Ağustos tarihinde elde edilen faydalı ısı miktarı her iki şehir için 2000-2500 kJ/h aralığında iken, 14 Şubat tarihinde Zahedan şehrinde elde edilen maksimum faydalı ısı miktarı yaklaşık 1500 kJ/h, Tebriz de elde edilen maksimum faydalı ısı miktarı ise yaklaşık 500 kJ/h değerindedir. Yıllık güneş faydalanma oranı sonuçları incelendiğinde Tahran ve Tebriz maksimum değeri olan 0,9'a Ağustos-Eylül dönemlerinde erişebilmektedir. Zahedanda ise maksimum güneş faydalanma oran değeri olan 0,83'e Ağustos ayında ulaşabilmektedir. Mayıs-Ekim ayları arasında her üç şehir için de güneş faydalanma oranının 0,6'nın üzerinde olduğu görülmüştür. Simülasyon sonuçlarına göre günlük ve aylık elde edilen veriler farklı tarihlere göre analiz edilmiş ve maksimum günlük verim değeri Ağustos ayının 10. gününde 0,58 olarak gerçekleşmiştir. Aylık performans sonuçları incelendiğinde ise maksimum kollektör verimi Ağustos ayında 0,685 olarak bulunmuştur. Aylık sonuçlarda minimum kollektör verimi ise 0,41 ile Ocak ve Şubat aylarına aittir. Yapılan optimizasyon sonucunda elde edilen optimum verim değeri 0,69 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu sonuca göre aylık ortalama verim değerine göre %12,4'lük iyileştirme olacağı öngörülmüştür.

Utham vd. [14] Gujarat bölgesinde vakum tüplü güneş kollektörü destekli absorpsiyonlu soğutma sistemini modellemiştir. Elde edilen sonuçlar incelenmiş ve ekonomik analiz de yapılmıştır. Güneş destekli absorpsiyonlu soğutma sisteminin kurulmasıyla Hindistanda tüketilen petrolün yaklaşık %15 - %20 düzeylerinde azalması beklenmektedir. Böylece çevreye atılacak olan CO₂ emisyonları azaltılmış olacaktır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, kollektör eğim açısı arttıkça faydalı enerji miktarı 25°'ye kadar artmış fakat 25°'den sonra faydalı enerji miktarının azalmaya başladığı gözlenmiştir. Depolama tank hacim değişiminin yıllık faydalı güneş enerji miktarına etkisine bakıldığında depolama tank hacmi 0,5 m³ iken maksimum enerji miktarına ulaşılmaktadır. Yine aynı şekilde depolama tankı 0,5 m³ olduğunda güneşten faydalanma oranı maksimum noktaya (0,75) ulaşmaktadır. Kollektör alanının güneşten faydalanma oranına etkisi incelendiğinde ise yaklaşık 40

m^2 'ye kadar oran artış göstermekte fakat $40 m^2$ 'den sonra neredeyse oran sabit kalmaktadır. Kollektördeki debi miktarı 1000 kg/h olduğunda maksimum güneşten faydalanma oranı değeri (0,75) elde edilmektedir. Yapılan ekonomik analiz sonucuna göre sistem 9 yılda geri ödemesini yapabilmektedir.

Asim vd. [15] Pakistanın yüksek soğutma ihtiyacını karşılayabilmek için TRNSYS programında vakum tüplü güneş kollektörü destekli absorpsiyonlu soğutma sistemini modellemişlerdir. Pakistanda yıllık ortalama güneşlenme $5 - 6 \text{ kWh/m}^2\text{-gün}$ iken, bu değer yaz aylarında $6 - 8 \text{ kWh/m}^2\text{-gün}$ değerine ulaşmaktadır. Modelde kullanılan sıcak su depolama tankı $2 m^3$, absorpsiyonlu soğutucunun kapasitesi $3,52 \text{ kW}$, kollektör eğim açısı 0° , soğutma alanı $14m^2$, vakum tüplü güneş kollektör alanı $12 m^2$ ve odanın set sıcaklık değeri ise 26°C olarak ele alınmıştır. Bu parametrelere göre elde edilen sonuçlar incelendiğinde kollektör verimi 0,75, soğutucunun COP değeri 0,60, odanın toplam soğutma yükü 479 kWh/m^2 , toplam elektrik enerjisi üretimi 67 kWh/m^2 , toplam boru ve tank ısı kayıpları ise $6,5 \text{ kWh/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak kullanılan ekipman ve uygulanan parametrelere göre soğutma sezonunda gerekli olan enerji kollektörlerden sağlanabilmektedir.

Sokhansefat vd. [16] Tahranda kurulmuş olan 5 ton soğutma kapasiteli güneş destekli absorpsiyonlu soğutma sisteminin simülasyonunu TRNSYS programı kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmada deneysel ve simülasyondan elde edilen veriler kıyaslanmış ve maksimum sapmanın yaklaşık %10 olduğu görülmüştür. Maksimum sapma değeri ise soğutucunun soğuk su giriş ve çıkışında olmaktadır. Diğer kısımlarda meydana gelen sapma değerleri ise %1 - %5 arasında değişmektedir. Yapılan çalışmada vakum tüplü güneş kollektör alanının güneşten faydalanma oranına etkisi incelenmiş ve kollektör alanının artması faydalanma oranını da arttırdığı tespit edilmiştir. Fakat kollektör alanı büyüdükçe artış oranları daha düşük seviyede kalmaktadır. Örneğin kollektör alanı, $45 m^2$ 'den $50 m^2$ 'ye çıktığında faydalanma oranında %6'lık artış olurken, kollektör alanı $50 m^2$ 'den $55 m^2$ 'ye çıktığında faydalanma oranı %3,7 artış göstermektedir. Çalışmada, depolama tankının güneşten faydalanma oranına olan etkisi de incelenmiştir. Depolama tank hacmi 0 L 'den 1000 L 'ye kadar olan kısımda faydalanma oranı dik bir şekilde artış gösterirken, 1000 L 'den büyük hacimlerde yataya yakın bir artış görülmektedir. Bu nedenden dolayı bu çalışmada optimum depolama tank hacmi 1000 L seçilerek simülasyon gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda kollektör debisinin de etkisine bakılmış ve debi

değeri 1000 kg/h'e kadar arttırıldığında güneşten faydalanma oranı da artış göstermiş fakat debi değeri 1000 kg/h'ten büyük olduğunda faydalanma oranında azalmalar meydana gelmiştir. Bunun nedeni ise kollektör çıkış sıcaklığının soğutucuya beslenmesi için uygun seviyeye düşmemesidir. Yardımcı ısıtıcının set değerine göre de güneşten faydalanma oranları incelenmiş ve set değeri arttıkça faydalanma oranının düştüğü görülmüştür. Kollektörün eğimine göre kollektörden elde edilen enerji miktarı da değişmektedir. Yaz aylarında kollektörün eğim açısı 15° iken maksimum faydalı ısı ($9,65 \times 10^7$ kJ/h) elde edilirken, kış aylarında ise eğim açısı 55° iken maksimum faydalı ısı ($5,03 \times 10^6$ kJ/h) elde edilmektedir. Çalışma sonucunda kollektör alanı, kollektör debisi, depolama tank hacmi, kollektör eğimi ve yardımcı ısıtıcı ayar noktası parametrelerinin optimum değerleri sırasıyla 55 m², 1000 kg/h, 1000 L, 35° ve 77 °C olarak belirlenmiştir. Kurulan sistemde %32,9 olarak düşülen güneşten faydalanma oranı, yapılan optimizasyon iyileştirmeleriyle birlikte % 28'lik bir artışla %42,1 değerine çıkarılabilecektir.

Chen vd. [17] yapmış oldukları çalışmada tek etkili hava soğutmalı absorpsiyonlu soğutucu ve vakum tüplü güneş kollektörü destekli iklimlendirme sistemi geliştirmişlerdir. Hava soğutuculu tek etkili absorpsiyonlu soğutucu üretilmiş ve kararlı durumda test edilmiştir. Önerilen hava soğutmalı soğutucu ile güneş destekli iklimlendirme sisteminin yıllık performansı konut uygulaması için araştırılmıştır. Soğutucunun performansı çevre sıcaklığından etkilenmektedir. Çevre sıcaklığı 28 °C'den 35 °C'ye çıktığında COP değeri 0,68'den 0,6 değerine gerilemektedir. Bu durumda soğutma kapasitesi ise 8,93 kW ile 5,78 kW arasında değişmektedir. Soğutucu çıkışındaki soğuk su sıcaklığı 10 °C'den 15 °C'ye yükseldiğinde ise COP değeri 0,6'dan 0,64 değerine artmaktadır. Soğutma kapasite değerinin ise 6,3 kW ile 7,7 kW arasında değiştiği görülmüştür. Güneş destekli absorpsiyonlu soğutucu, çalışma yapılan binanın toplam soğutma yükünün yaklaşık %65 kadarını soğutma sezonu boyunca ortalama 0,61 COP ile karşılayabilmektedir. Güneşten gelen radyasyon değerinin güneşli iklimlendirme sisteminde soğutma kapasitesine dönüştürülen oran ise 0,28 olarak hesaplanmıştır. Bu sistemde toplam elektrik tüketimi ise 444,2 kWh olarak gerçekleşmiş ve soğutma mevsiminde ortalama COP_{ele} değeri ise 7,4 olarak bulunmuştur. Hesaplanan bu değer ise buhar sıkıştırımlı iklimlendirme sistemlerinin iki katına eşittir.

Naik vd. [18] yapmış oldukları çalışmada U tip vakum tüplü güneş kolektöründe çalışma akışkanının çıkış sıcaklığını ve net ısı kazancını öngörebilmek için matematiksel model geliştirmişlerdir. Çalışma akışkanı olarak LiCl-H₂O, su ve hava kullanılmıştır. Akışkanın debisi, giriş sıcaklığı, kolektörün uzunluğu, çevre sıcaklığı ve güneş radyasyon yoğunluğunun sistem performansına olan etkileri araştırılmıştır. Çevre sıcaklık değeri 34 °C, 37 °C ve 40 °C alınarak yapılan çalışmada çevre sıcaklığının artmasıyla elde edilen faydalı ısı miktarının da arttığı görülmüştür. Aynı zamanda 37 °C lik çevre sıcaklığı ortamında güneş radyasyon yoğunluğu 800 W/m² değerinden 1100 W/m² değerine arttırılırsa elde edilecek olan ısı değeri %29 artış göstermektedir. Çalışma akışkanının debi miktarı arttırıldığında çıkış sıcaklığı düşmektedir. Giriş sıcaklığının artması çıkış sıcaklığını ise arttırmaktadır. Kolektörün uzunluğu arttırıldığında elde edilen faydalı ısı miktarı da artmaktadır. Çalışmada kullanılan üç akışkan kendi arasında değerlendirildiğinde en yüksek çıkış sıcaklığı hava akışkanında gerçekleşmekte, en düşük çıkış sıcaklığı ise LiCl-H₂O akışkanında olmaktadır. Bu akışkanlar arasında elde edilen maksimum faydalı ısı miktarı ise su akışkanında gerçekleşmektedir.

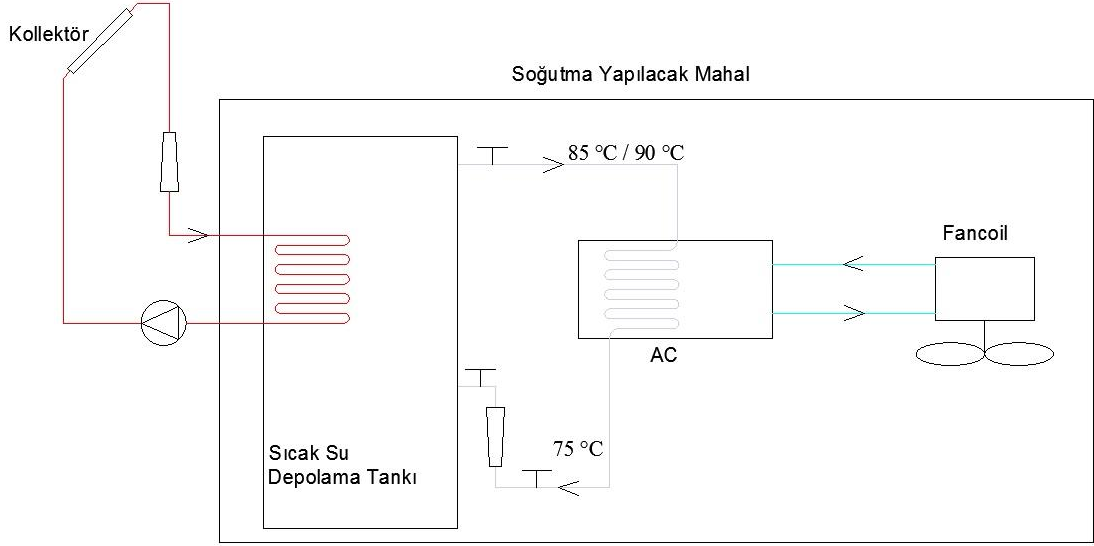
Assilzadeh vd. [19] Malezya ve benzer iklim bölgeleri için vakum tüplü güneş kolektörü ve LiBr-H₂O çiftinin olduğu güneş destekli absorpsiyonlu soğutma sistemini dizayn etmişlerdir. Yapılan bu model TRNSYS programında simüle edilmiştir. Sistemin sürekli ve güvenli bir şekilde çalışabilmesi için sıcak su depolama tankının 0,8 m³ olması gerektiği belirtilmiştir. Malezya iklim şartlarındaki 3,5 kW'lık optimum bir sistem (1 ton soğutma) için 20° eğime sahip vakum tüplü güneş kolektörlerinden 35 m² ihtiyaç duyulmuştur. 50 m² den büyük kolektör alanına sahip olan sistemde güneşten faydalanma oranı değeri neredeyse sabit kalmaktadır. Elde edilen maksimum güneşten faydalanma oranı değeri yaklaşık % 70 tir.

Merkezi ısıtma sistemlerinde absorpsiyonlu soğutucunun teknik sorunu, soğutucunun ihtiyacı olan sıcak kaynak ile merkezi ısıtma şebekesinin ısı üretim zinciri arasında dengesizlik olmasıdır. Arabkoohsar ve Andresen [20] bu problemi ortadan kaldırmak için yapmış oldukları çalışmada çift fonksiyonlu hibrit bir kaynak (güneş ve sıcak su) önerilmiştir. Önerilen bu sistem Danimarkada Aarhus üniversitesi hastanesinde tasarlanmış ve hastanenin soğutma talebini karşılayabilmek için sistem tekno-ekonomik olarak değerlendirilerek simüle edilmiştir. Bu sistem vakum tüplü güneş kolektöründen oluşmaktadır ve sistemde soğutma kulesi bulunmamaktadır. Sistemde

kurulacak olan güneş kollektörünün optimum eğim açısı 45° olarak hesaplanmıştır. Soğutma yükü ihtiyacı tüm aylar için çıkarılmış ve maksimum soğutma yükü yaklaşık 2,55 GWh değeri ile Haziran ayında gerçekleşmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde sistemin yaz dönemi boyunca %30, tüm yıl boyunca ise %17 katkı sağladığı görülmüştür. Sistemin kurulmasıyla yıllık 5000 ton CO₂ emisyonlarının engelleneceği söylenebilir. Ayrıca sistem 2 yıldan daha kısa bir sürede kendini karşılayabilmektedir.

1.2 Tezin Amacı

Son yıllarda küresel ısınmanın da etkisiyle ülkemizde yaz ayları çok sıcak bir şekilde geçmektedir. Doğal olarak hem konutlarda hem de ofislerde soğutma ihtiyacı öne çıkmaktadır. Bu tez çalışmasında Antalya ili ele alınmıştır. İlk olarak hem vakum tüplü güneş kollektörlerinin hem de düz güneş kollektörlerinin farklı parametrelere göre günlük performans analizleri Haziran, Temmuz ve Ağustos ayları için yapılacaktır. İkinci olarak, Şekil 1.6'da gösterilen güneş destekli absorpsiyonlu soğutma sisteminde kullanılması düşünülen kollektörlerin soğutma sezonu boyunca (Haziran-Temmuz-Ağustos) çalıştırılarak absorpsiyonlu soğutma sisteminde kullanılabilme potansiyeli araştırılacaktır. Yapılan simülasyonlar sırasında hem düz güneş kollektörlerinin hem de vakum tüplü güneş kollektörlerinin pompa debileri, kollektör alanları ve depo hacimleri eşit alınarak analiz gerçekleştirilmiştir. Böylece vakum tüplü güneş kollektörleri ile düz güneş kollektörleri eşit çalışma koşullarında karşılaştırılmış olacaktır. Elde edilecek sonuçlara göre soğutma için gerekli olan enerji fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisinden karşılanacak ve temiz enerji ile soğutma işlemi gerçekleştirilmiş olacaktır.



Şekil 1.6: Güneş destekli absorpsiyonlu soğutma sistemi

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Güneş Enerjisi

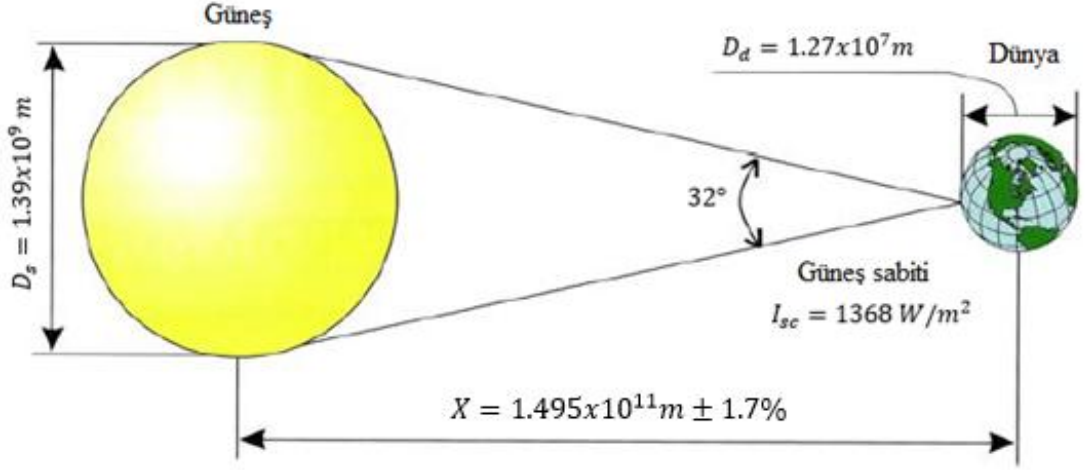
Güneş yoğun ve çok sıcak hidrojen ve helyum gazlarından meydana gelen ve küre yapısına sahip olan bir yıldızdır. Güneşin çapı ve dünyaya olan uzaklığı sırasıyla $1,39 \times 10^9$ m ve yaklaşık $1,5 \times 10^{11}$ m dir. Yaklaşık olarak 4 haftada kendi etrafından dönen güneş, katı bir cisim gibi dönmemektedir. Ekvator tarafı 27 gün içerisinde dönerken, kutup kısmı 30 gün içinde dönüşünü tamamlamaktadır. Güneşin efektif siyah cisim sıcaklığı ise 5777 °K'dir. Güneşin merkezindeki yoğunluğun suyun yoğunluğunun yaklaşık 100 katı büyüklüğünde olduğu tahmin edilmektedir, aynı zamanda bu bölgedeki sıcaklığın ise 8×10^6 °K - 40×10^6 °K arasında olduğu öngörülmektedir. Şekil 2.1'de güneş ile dünya arasındaki ilişki görülmektedir. Dünya eksantrik bir yörünge çizerek güneş etrafındaki dönüşünü tamamlamaktadır. Bundan dolayı güneş ve dünya arasındaki uzaklık ise %1,7 kadar değişebilmektedir. Güneş tarafından yayılan radyasyon ve dünya ile güneşin mekansal ilişkisi, dünya atmosferinin dışında neredeyse sabit bir güneş ışınımı yoğunluğuna neden olmaktadır. Bu güneş sabiti olarak adlandırılır ve G_{sc} ile gösterilir. Güneş sabiti, atmosfer öncesindeki ışınım doğrultusuna dik bir yüzeyin birim alanından alınan birim zamandaki güneş enerjisidir ve değeri yaklaşık olarak 1367 W/m^2 'dir [21,22].

Güneşle dünya arasındaki mesafenin değişken olmasından dolayı atmosfer öncesinde yayılan ışınım değeri \pm %3,3 aralığında değişebilmektedir. Bu nedenden dolayı, yılın herhangi bir günü için birim alana dik gelen atmosfer öncesi radyasyon aşağıdaki şekilde hesaplanabilmektedir [21];

$$G_{on} = G_{sc} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360 \cdot n}{365} \right) \quad (2.1)$$

$$G_{on} = \left(G_{sc} \left(1,000110 + 0,034221 \cdot \cos \left((n-1) \frac{360}{365} \right) + 0,001280 \cdot \sin \left((n-1) \frac{360}{365} \right) \right) + 0,000719 \cdot \cos \left(2 \cdot \left((n-1) \frac{360}{365} \right) \right) + 0,000077 \cdot \sin \left(2 \cdot \left((n-1) \frac{360}{365} \right) \right) \right) \quad (2.2)$$

Burada n, yılbaşından itibaren gün sayısını ifade etmektedir.



Şekil 2.1: Dünya ve güneş sisteminin geometrisi [23].

Her iki denklem ile de atmosfer öncesi radyasyon değeri ölçülebilmektedir, fakat Denklem 2.1'in alt kısmında hesaplanan formül \pm %0,01 hassasiyetle sonuç vermektedir [21].

Güneş enerjisi konusunda geçen bazı terimleri ve bir kısmı Şekil 2.2'de gösterilen güneş açılarına ait tanımlamalar aşağıdaki gibidir [21];

Direkt Işınım: Atmosferde herhangi bir saçılma olmadan direkt olarak güneşten gelen ışınım değeridir.

Yayıllı Işınım: Güneş ışınımının atmosferde saçılması sonucunda yön değiştirmesiyle yer yüzüne ulaşan ışınım değeridir.

Toplam Güneş Işınımı: Direkt ışınım ile yayıllı ışınımın toplamına denilmektedir.

Enlem (ϕ): Ekvatorun kuzeyindeki veya güneyindeki açısal konumdur. (Kuzey pozitif değer almaktadır.)- $90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$

Deklinasyon (Sapma (δ)): Güneş ışınlarının ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır. (Kuzey pozitif değer almaktadır.)- $23.45^\circ \leq \delta \leq 23.45^\circ$

Eğim (β): Yüzeyin düzlemi ile yatayı arasındaki açıdır. $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$ ($\beta > 90^\circ$ olduğu zaman yüzeyin aşağıya dönük bir bileşenin olduğu anlamı çıkarılmalıdır.)

Yüzey azimut açısı (γ): Eğik yüzeye ait olan dik doğrultunun yatay düzlemde oluşturduğu izdüşümünün güney doğrultusuyla yapmış olduğu açıdır. Açılar güney kısmından batıya doğru gidildiğinde pozitif, güney tarafından doğu kısmına doğru gidildiğinde ise negatif alınmaktadır. $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$

Saat açısı (ω): Güneşin yerel meridyenin doğusunda veya batısında yapmış olduğu açısal yer değiştirmedir. (Sabah negatif, öğleden sonra ise pozitif değer almaktadır.)

Geliş açısı (θ): Bir yüzeye gelen direkt radyasyon ile bu yüzeye ait olan dik doğrultu arasındaki açıdır.

Zenith açısı (θ_z): Güneş doğrultusuyla yatay düzleme ait olan dik doğrultu arasındaki açıdır.

Güneş yükseklik açısı (α_s): Güneş doğrultusunun yatayla yapmış olduğu açıdır.

Güneş azimut açısı (γ_s): Güneşten gelen ışınımın yatay düzlemde oluşturdukları izdüşümünün güney doğrultusuyla yapmış oldukları açıdır. Güney kısmından batı tarafına doğru açı pozitif değer alırken, güney kısmından doğu tarafına doğru ise açı negatif değerini almaktadır.

Deklinasyon açısı, aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilmektedir[24].

$$\delta = 23.45^\circ \sin\left(360 \frac{284+n}{365}\right) \quad (2.3)$$

Denklem 2.3'te yer alan n ifadesi Denklem 2.2'deki gibi yılbaşından itibaren gün sayısını ifade etmektedir.

2.2 Güneş Kollektörleri

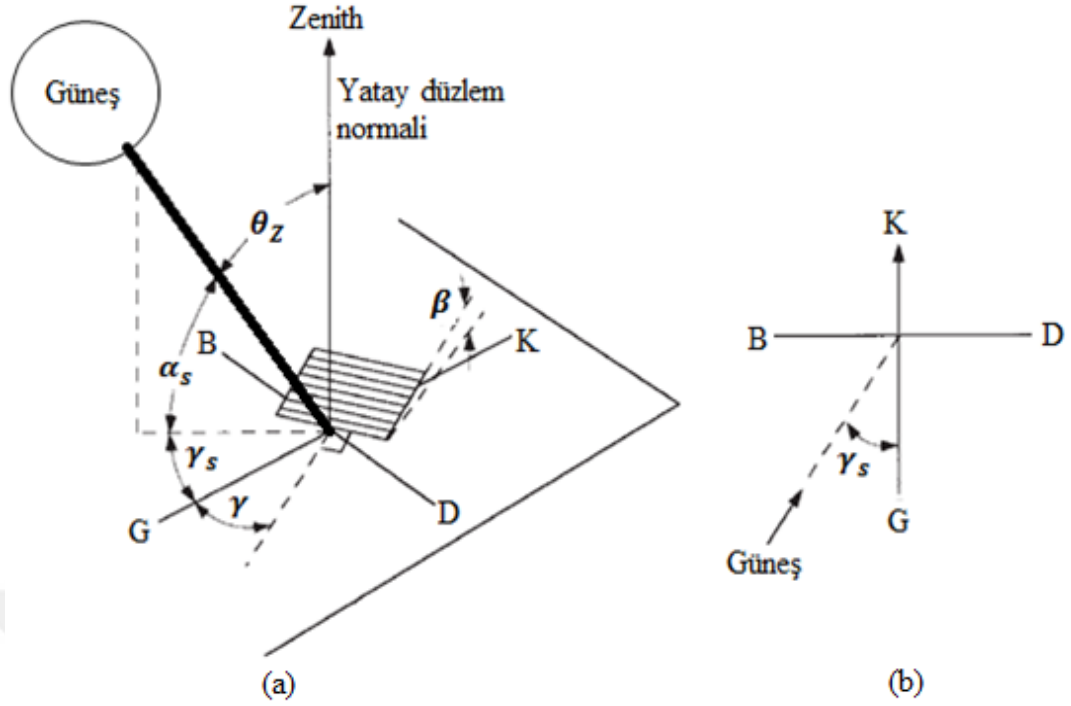
Güneş kollektörleri, güneşten gelen radyasyonun akışkana aktarılarak enerjiye dönüşmesinin sağlandığı elemanlardır. Güneş kollektörleri farklı şekilde sınıflandırılabilir [22];

Işınları toplama durumuna göre;

- Düz Güneş Kollektörleri
- Vakum Tüplü Güneş Kollektörleri
- Yoğunlaştırıcı Güneş Kollektörleri

Dolaşan akışkan tipine göre;

- Sıvılı güneş kollektörleri
- Gazlı veya havalı güneş kollektörleri



Şekil 2.2: Güneş açıları [21].

2.2.1 Düzlemsel güneş kolektörleri

Geliş açısına bağlı olarak düz güneş kolektörüne gelen güneş ışınlarının bir kısmı kolektör yüzeyi tarafından yutulur ve absorbe edilir. Absorbe edilen enerji ise kolektör içerisindeki akışkana iletim ve taşınım yoluyla aktarılmaktadır. Kolektörden dış ortama ise, ısı taşınım katsayısı ve yüzey sıcaklığının büyüklüğüne göre taşınım ve ışınila ısı transferi olmaktadır. Kolektörden elde edilecek olan faydalı enerjinin büyüklüğü ise, kolektör tarafından yutulan enerji ile kolektör yüzeyinden dış ortama olan ısı kaybı arasındaki farka eşittir [22].

Kolektörlerin yüzeyleri, kolektörün montaj edileceği yer kuzey kutbunda yer alıyorsa güneye, güney kutbunda yer alıyorsa kuzeye bakmalıdır. Düz güneş kolektörleri, güneşin geliş açısına göre hareket etmezler. Bundan dolayı yıl boyunca sabit eğim açısında durmak zorundadır. Bundan dolayı kolektör montaj edileceği eğim açısı enleme eşit alınabilir. Kolektörün kuruluş amacına bağlı olarak kışın sadece mahalın ısıtılması için kullanılacaksa eğim açısı yaklaşık ($\text{enlem} + 15^\circ$), yazın mahal soğutulması için kullanılacaksa eğim açısı yaklaşık ($\text{enlem} - 15^\circ$) alınabilir [22].

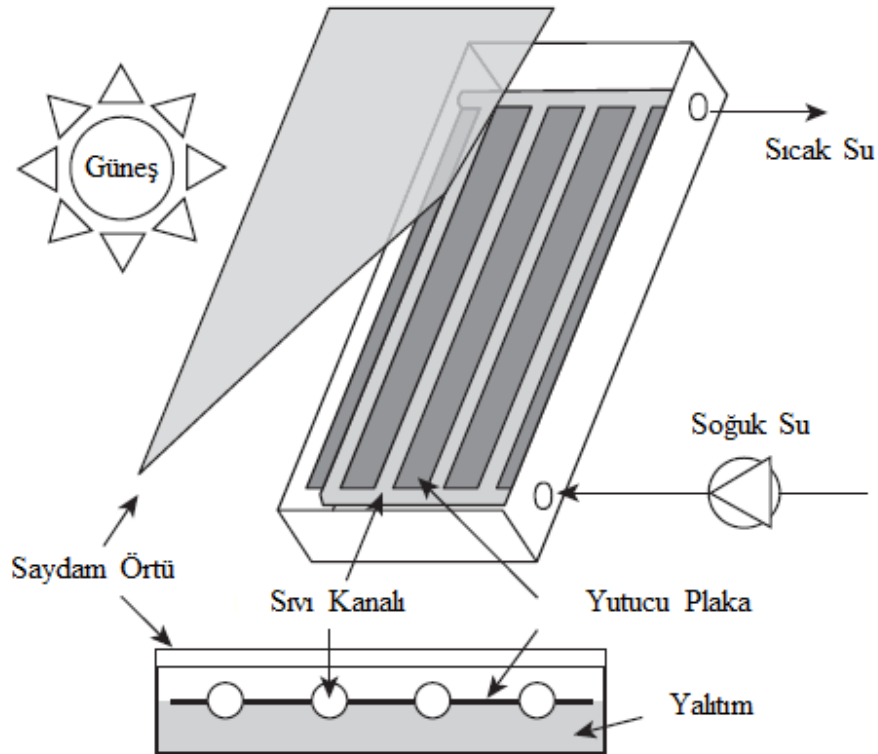
Düz güneş kolektörleri düşük sıcaklıklarda (60° 'den küçük) veya orta sıcaklık değerlerinde (100° 'den küçük) kullanılırlar. Bu kolektörlerin uygulama alanları daha çok su ısıtma, bina ısıtma, klima ve endüstriyel proseslerin ısıtılmasıdır. Şekil 2.3'te

şematik olarak gösterilen düz güneş kolektörleri genellikle aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır [23];

- *Cam*: Bir veya daha fazla cam levha veya diğer radyasyon iletici materyallerden oluşur.
- *Boru*: Isı transfer akışkanını girişten çıkışa kadar iletmek ve yönlendirmek için kullanılır.
- *Yutucu Plaka*: Akışkan kanallarının tutturulduğu düz plakalardır.
- *Manifold*: Isı transfer akışkanın giriş ve çıkışının yapılmasını sağlar.
- *Yalıtım*: Kolektördeki ısı kaybını minimize etmek için kullanılır.

2.2.2 Vakum tüplü güneş kolektörleri

Vakum tüplü güneş kolektörleri, manifolda bağlı olan tüplerden oluşmaktadır. Akışkanı taşıyan borulardan ısı kaybını azaltmak için tüpler vakumlanmıştır. Vakum tüplü güneş kolektörleri 80 °C'nin üzerindeki sıcaklık aralıklarında düzlemsel güneş kolektörlerine nazaran yüksek ısı verimi elde edilebilmektedir [23].



Şekil 2.3: Düz güneş kolektörlerinin şematik diyagramı [23].

Günümüzde, vakum tüplü güneş kolektörleri güneş destekli ısı sistemlerinde kilit bileşen durumundadır ve yüksek sıcaklıklar için konut uygulamalarında faydalı olduğu

kanıtlanmıştır. Bu yüzden, vakum tüplü güneş kolektörleri ısıtma veya merkezi sıcak su sağlayabilmek için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [23].

Vakum tüplü kolektörlerde bulunan elemanlar aşağıdaki gibi olabilmektedir [22].

1. Vakumlu cam tüp
2. Yutucu yüzey
3. Isı transfer akışkanı
4. Isı boruları
5. Manifold sistemi

Vakumlu Cam tüp: Vakum tüplü güneş kolektörlerinde kullanılan cam tüp, optik kayıpları en az seviyede tutacak özellikte olmalıdır. Cam tüplerin üretimi sırasında 10^{-4} torr'dan daha düşük seviyelerde vakumlanacağından dolayı camın kalınlığı bu basınca dayanmalıdır. Çoğunlukla cam tüplerin et kalınlığı 2 mm civarındadır. Cam tüplerin vakumlanmış olması nedeniyle taşınım ve iletimle olan ısı kayıpları yok edilmiştir.

Yutucu Yüzey: Yutucu yüzey olarak kullanılan plakaların malzemeleri ısı geçirgenliği yüksek olan farklı malzemelerden (bakır, alüminyum, çelik) yapılmaktadır.

Isı Transfer Akışkanı: Yutucu yüzey tarafından yutulan güneş enerjisi, boru içerisindeki akışkana ısıyı transfer ederek enerjisini geçirir. Eğer vakum tüplü kolektörler $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin altında bir uygulama için kullanılacaksa ısı transfer akışkanı olarak su kullanılmalıdır. $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerindeki sıcaklıklarda ise farklı ısı transfer akışkanları kullanılabilir.

Isı Boruları: Isı boruları yutucu yüzey tarafından yutulan güneş enerjisini, içerisinde taşımış olduğu ısı transfer akışkanına aktaran elemandır. Isı boruları farklı türde malzemelerden (bakır, çelik, alüminyum) imal edilebilmektedir ve yüksek ısı transfer katsayısına sahip, korozyona dayanıklı olacak şekilde üretilirler.

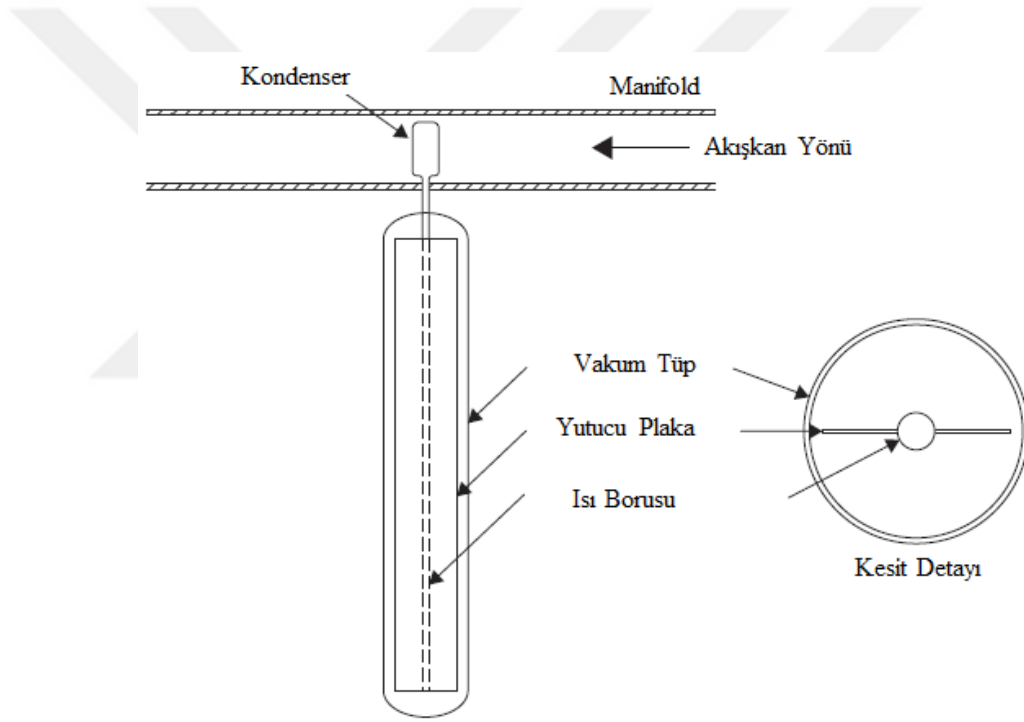
Manifold Sistemi: Vakum tüplü kolektörlerde soğuk suyun dağıtımını ve elde edilen sıcak suyun toplanmasını sağlamaktadırlar.

2.2.3 Isı borulu vakum tüplü güneş kolektörleri

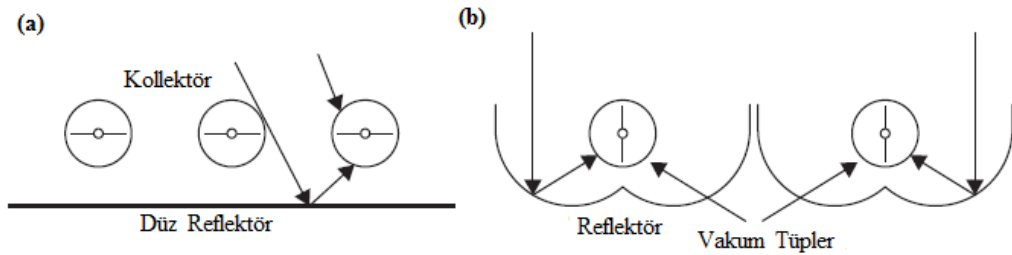
Isı borulu vakum tüplü güneş kolektörlerinde, vakumlanmış olan cam tüp içerisinde ısı boruları bulunmaktadır. Isı borusu içerisinde bulunan ısı transfer akışkanı güneş enerjisiyle ısınması sonucunda buharlaşmaktadır. Buharlaşan akışkanın yoğunluğu

azaldığı için, ısı borusunun üst kısmına doğru hareket etmektedir. Kondenser kısmına gelen ısı transfer akışkanı, manifold içerisinde bulunan diğer bir ısı transfer akışkanına ısısını aktarmaktadır. Böylece ısı borusu içerisindeki akışkan yoğuşmaktadır. Isı borusunda yoğuşan akışkan tekrar vakum tüp içerisine gelerek döngüyü devam ettirmektedir. Şekil 2.4'te ısı borulu kollektörün diyagramı görülmektedir [22,25].

Güneş kollektörüne gelen güneş ışınlarının yoğunluğunu artırabilmek için reflektörler kullanılabilir. Şekil 2.5'te farklı reflektör tipleri görülmektedir. Yansım oranı 0,6 olan düz reflektör, her tüpte emilen enerjiyi %25'ten fazla artırmaktadır. (Şekil 2.5a) Her tüp için daha fazla iyileştirme CPC tip reflektörler kullanılarak sağlanabilmektedir. Bu tip kollektörlerde 300 °C'yi aşan sıcaklıklara sahip olunabilmektedir [25].



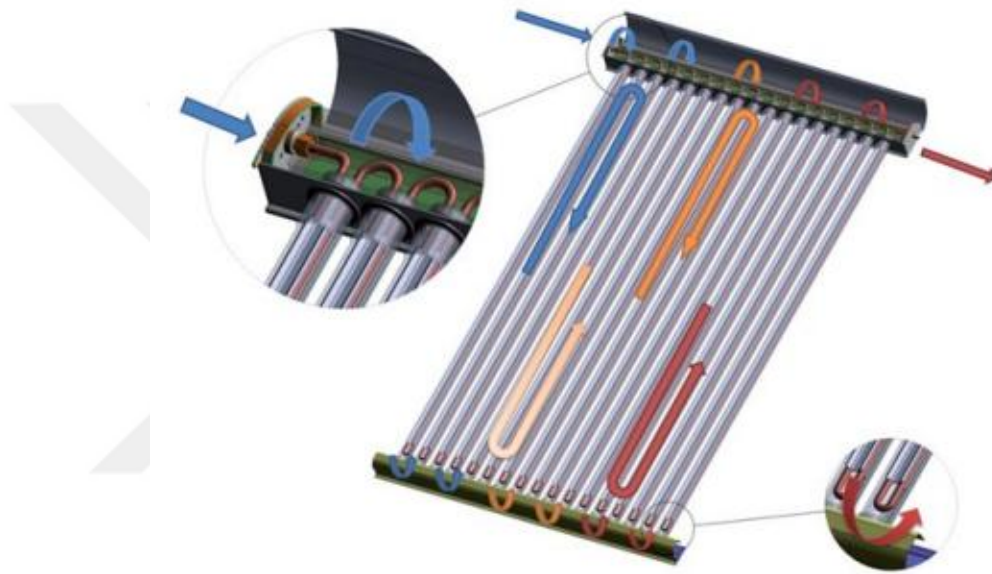
Şekil 2.4: Isı borulu vakum tüplü güneş kollektörünün şematik diyagramı [25].



Şekil 2.5: Reflektörlü vakum tüplü güneş kollektörleri a) Düz reflektör b) CPC reflektör [25].

2.2.4 U borulu vakum tüplü güneş kolektörleri

U borulu vakum tüp kolektörleri iki cam arasındaki basınçın alınmasıyla vakumlanmış bir şekilde üretilen cam tüplerden oluşmaktadır. Şekil 2.6 ve Şekil 2.7’de U borulu kolektör ve kesitlerine ait görseller mevcuttur. Normal vakum tüplü kolektörlerden farkı ısı transfer akışkanı cam tüplerin içerisinde bulunmamaktadır. Bu kolektör tiplerinde ısı transfer akışkanı, cam tüp içerisine yerleştirilen U şeklindeki bakır borular içerisinde bulunmaktadır. Bakır borular alüminyum toplayıcılarla montaj yapılmakta ve gelen ısıyı tutarak, bakır borulara iletimini sağlamaktadır [26].

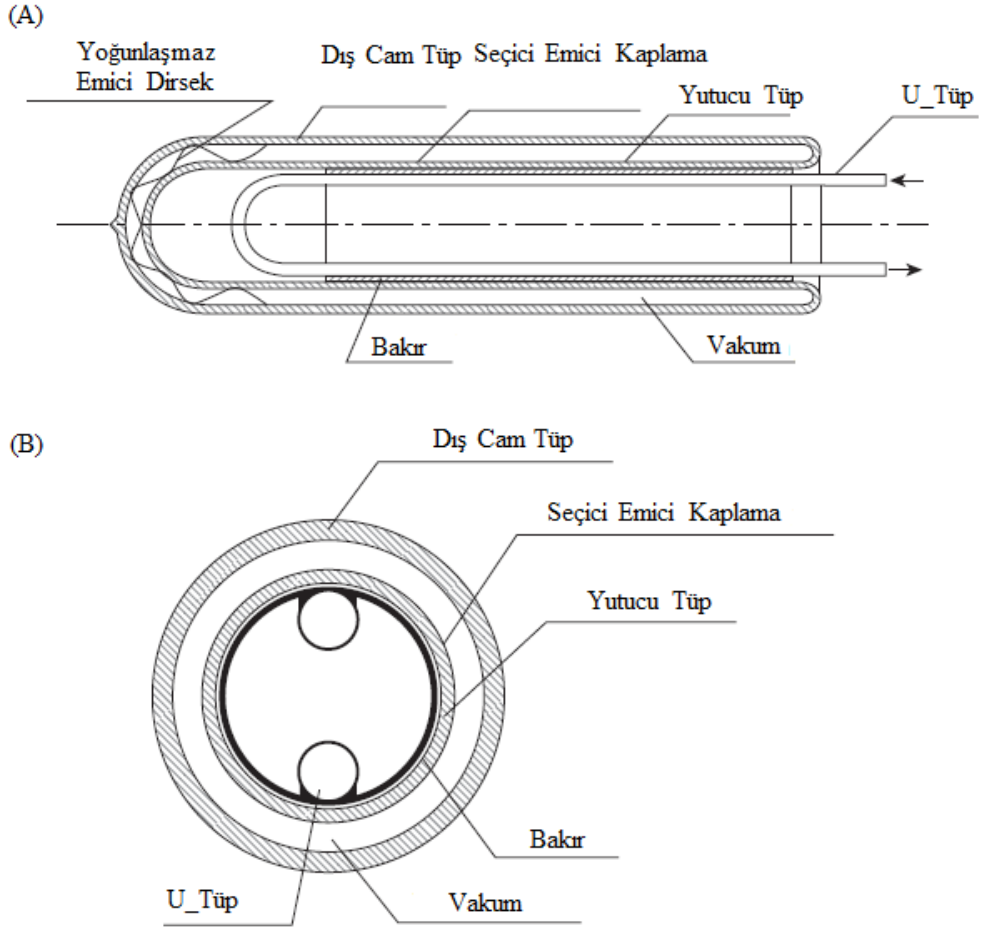


Şekil 2.6: U-borulu vakum tüplü kolektör [26].

2.3 Absorpsiyonlu Soğutma

Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde genellikle $\text{NH}_3 - \text{H}_2\text{O}$, $\text{LiBr} - \text{H}_2\text{O}$, $\text{LiCl} - \text{H}_2\text{O}$ çiftleri kullanılmaktadır. Amonyak-su çiftinin kullanıldığı sistemlerde soğutucu akışkanı NH_3 , taşıyıcı akışkan ise sudur. Su-lityum klorür ve su-lityum bromür çiftlerinde ise soğutucu akışkan su, taşıyıcı akışkan ise lityum bromür / lityum klorür olmaktadır. Lityumun taşıyıcı akışkan olduğu bu sistemlerin kullanım alanı, soğutucu akışkanın su olmasından dolayı minimum sıcaklığın suyun donma sıcaklığının üstünde olduğu iklimlendirme sistemleri ile sınırlıdır. Aşağıdaki Şekil 2.8’de amonyak-su çiftinin olduğu absorpsiyonlu soğutma sistemi görülmektedir. Buharlaştırıcıdan çıkan amonyak, soğurucu içerisinde bulunan su içinde çözülür ve reaksiyon sonrasında $\text{NH}_3 - \text{H}_2\text{O}$ çözeltisini meydana getirir. Oluşan bu reaksiyon ekzotermik olduğu için

reaksiyon sırasında ısı salınımı olmaktadır. Düşük sıcaklıklarda su içerisinde çözülebilen amonyak miktarı fazla olacağından dolayı, soğurucunun sıcaklığını düşürmek gerekmektedir.

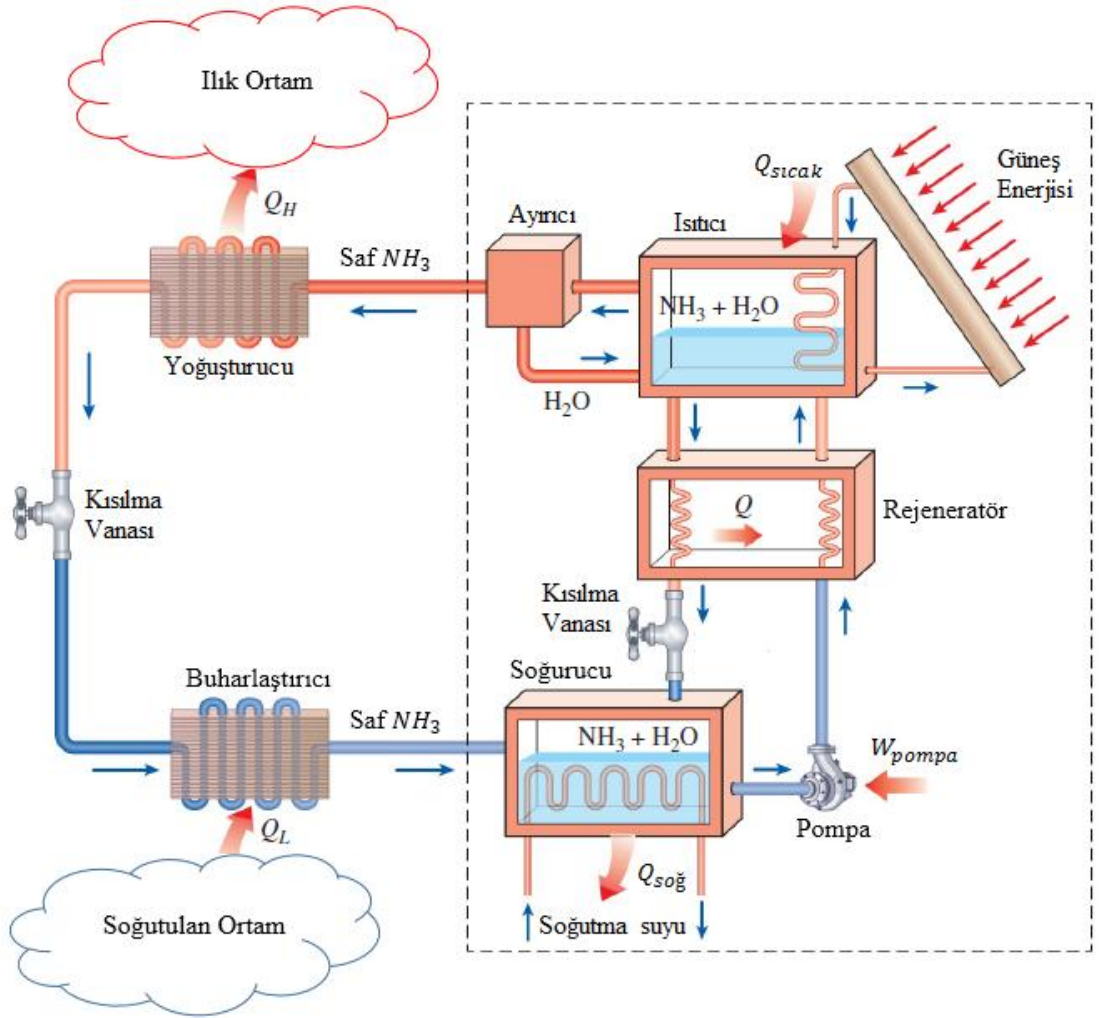


Şekil 2.7: A) U borulu vakum tüplü kollektör B) Kesit resmi [23].

Bunun için soğutma suyu kullanılmaktadır. Amonyak suda çözüldükten sonra, çözelti pompa ile ısıtıcıya iletilmektedir. Isıtıcıda çözeltinin sıcaklığı artmakta ve bir miktar çözelti buharlaşmaktadır. Amonyak buharı ayırıcıdan geçerken, sudan ayrılmakta ve yoğuşturucuya gitmektedir. Ayırıcı kısmında amonyaktan ayrılan su ise, tekrar ısıtıcıya gelmektedir. Bu esnada bu akışkan sahip olduğu ısını rejeneratörden geçerken, pompadan ısıtıcıya gönderilen amonyakça zengin çözeltiye aktarmaktadır ve kısılma vanasından geçerek soğurucuya geri dönüş yapar [27].

Buhar sıkıştırılmalı soğutma sistemleri ile kıyaslandığında; buhar sıkıştırılmalı sistemlerde sıkıştırılan akışkan buhar iken, absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde ise sıkıştırılan akışkan sıvıdır. Buharı sıkıştırmak için gerekli olan iş, sıvıyı sıkıştırmak için gerekli olan işten kat kat büyük olmasından dolayı absorpsiyonlu soğutma

sistemleri oldukça avantajlı konumdadır. Fakat ilk yatırım maliyeti açısından absorpsiyonlu soğutma sistemleri, buhar soğutmalı sistemlere göre maliyetlidir. Aynı zamanda düşük verimli olduğu için, ısının dışarıya atılabilmesi için büyük soğutma kuleleri gerekmektedir. Bu sistemlerde gerekli olan enerji farklı tür kaynaklardan sağlanabilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi güneş enerjisinden faydalanılabildiği gibi, ayrıca jeotermal enerji, santrallerin atık ısılarından da faydalanılarak sistem çalıştırılabilmektedir [27].



Şekil 2.8: Absorpsiyonlu soğutma sistemi [27].

2.4 Simülasyon Programının Tanıtımı

TRNSYS, dünyadaki araştırmacılar tarafından sıcak su elde etme sistemlerinden rüzgar, güneş, hidrojen vb. gibi alternatif enerji kaynakları da dahil olmak üzere binaların tasarım ve simülasyonuna kadar yeni enerji kavramlarını doğrulayabilmek için kullanılan genişletilebilir bir simülasyon programıdır. Bu programın son 35-40

senedeki başarısının en önemli faktörlerinden birisi açık modüler yapıya sahip olmasıdır. Programın modüler yapısı, inanılmaz esneklik sağlamaktadır. Kaynak kodu ve bileşenlerin modelleri son kullanıcılara iletilebilmekte ve mevcut modelleri kullanıcının özel ihtiyacına uyacak şekilde genişletilmesini kolaylaştırmaktadır. Program, aynı zamanda kullanıcıların ortak programlama dillerini (C, C++, PASCAL, FORTRAN vb.) kullanarak kolay bir şekilde istenilen bileşenleri modele ekleme imkânı da sunmaktadır. Ayrıca, bu programında simülasyon öncesi veya sonrası için yapılan işlemlerde başka uygulamalara (Excel, Matlab vb.) bağlanabilmektedir. Bu programda bileşenler birbirine bağlanarak proje oluşturulmaktadır. Program içerisinde bulunan her bir bileşenin türü, simülasyondaki matematiksel model tarafından tanımlanmıştır ve her bileşenin girdi, çıktı, parametre vb. kısımları mevcuttur [28,29].

TRNSYS programı aşağıda yer alan maddeleri de içermektedir [28,29];

- Güneş enerjisi ve fotovoltaik sistemler
- Düşük enerji binaları ve HVAC sistemleri
- Yenilenebilir enerji sistemleri
- Kojenerasyon, yakıt hücreleri
- Dinamik simülasyon gerektiren durumlar

2.5 Simülasyon Programında Kullanılan Modeller

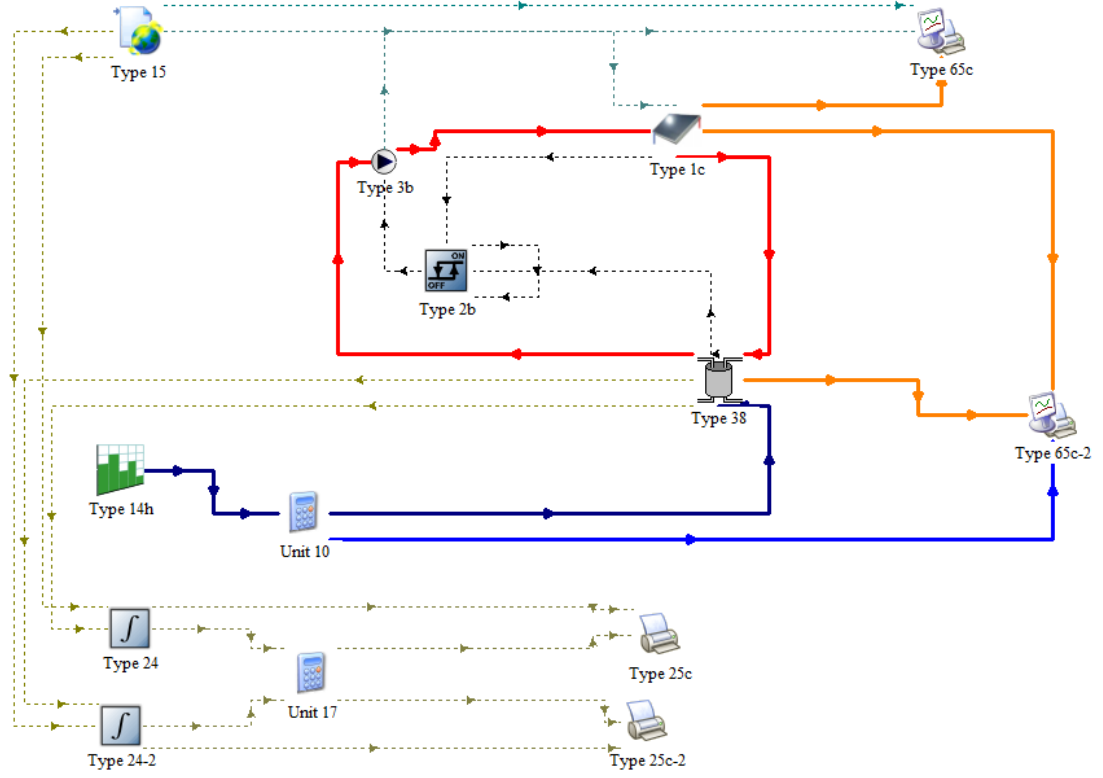
Absorpsiyonlu soğutma sisteminde gerekli olan sıcak kaynağın üretilmesi için simülasyon programında güneş kollektörü kullanılarak istenilen sıcaklıkta su elde edilmeye çalışılmıştır. Düz ve vakum tüplü güneş kollektörüyle oluşturulan modeller Şekil 2.9 ve Şekil 2.10'da görülmektedir. Type24, Unit10 ve Unit17 modüllerinde hesaplamalar yapılmaktadır. Type25c ve Type65c modüllerinde ise ortaya çıkan sonuçların çıktıları elde edilmektedir.

2.5.1 Güneş kollektörü

Simülasyonda kullanılan güneş kollektörlerinin matematiksel modelleri aşağıda ifade edilmiştir. Düz güneş kollektörü için Type-1c modeli, vakum tüplü güneş kollektörü için ise Type-71 modeli kullanılmıştır.

Güneş kollektörünün verimi aşağıdaki denklemle bulunur [30];

$$\eta = \frac{Q_u}{A_{IT}} = \frac{\dot{m}c_p(T_o - T_i)}{A_{IT}} = F_R(\tau\alpha)_n - F_R U_L \frac{(T_i - T_a)}{I_T} \quad (2.4)$$



Şekil 2.9: Simülasyon programında düz güneş kolektörüyle oluşturulan simülasyonun görüntüsü.

U_L değeri tam olarak sabit bir ifade olmadığından dolayı U_L değerine karşı $(T_i - T_a)$ doğrusal bağımlılığı dikkate alınarak daha iyi bir ifade aşağıdaki şekilde yazılabilir [30];

$$\eta = \frac{Q_u}{A I_T} = F_R (\tau \alpha)_n - F_R U_L \frac{(T_i - T_a)}{I_T} - F_R U_{L/T} \frac{(T_i - T_a)^2}{I_T} \quad (2.5)$$

Kollektör verimi, kısaca aşağıdaki gibi hesaplanabilir [30];

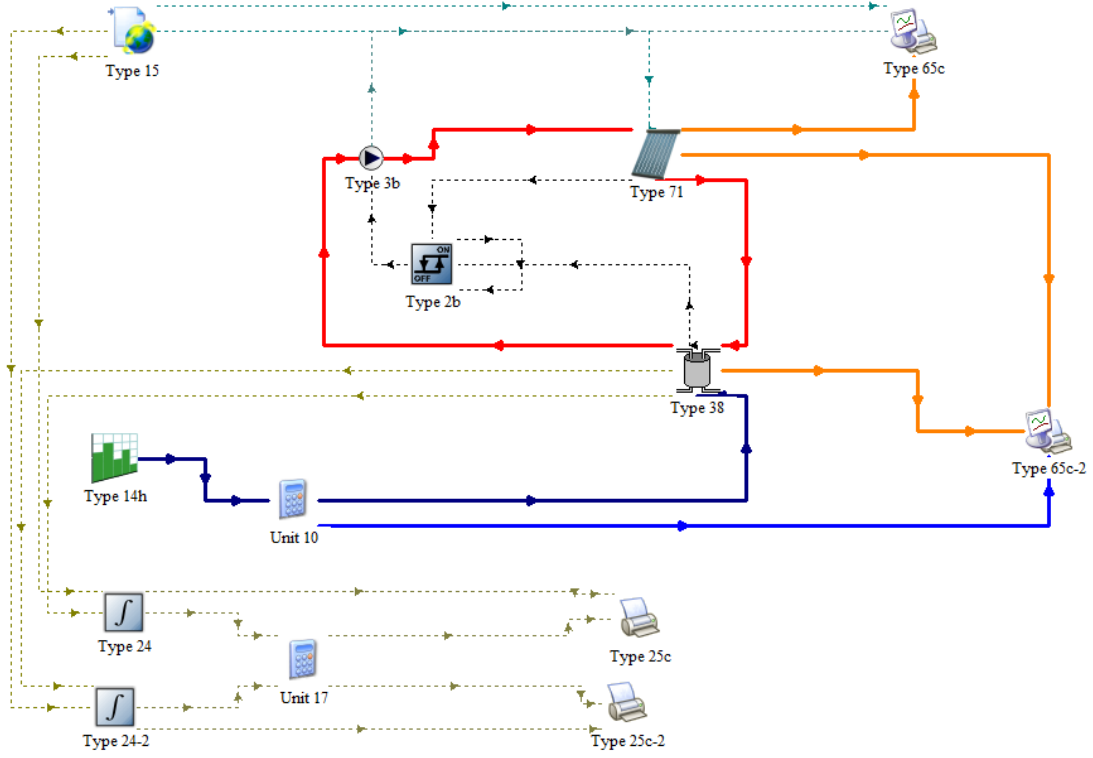
$$\eta = a_0 - a_1 \frac{\Delta T}{I_T} - a_2 \frac{\Delta T^2}{I_T} \quad (2.6)$$

2.7 numaralı denklemde yer alan ΔT , $(T_i - T_a)$ ifadesine eşittir ancak kollektör üreticilerinin test raporları 2.7 numaralı denklemde yer alan sıcaklık farklarına göre düzenlenebilmektedir.

$$\Delta T = \begin{cases} \Delta T_i = T_i - T_a \\ \Delta T_{av} = T_{av} - T_a \\ \Delta T_o = T_o - T_a \end{cases} \quad (2.7)$$

Simülasyonda çalışma yapılması planlanan güneş kollektör verilerinin programa aktarılması gerekmektedir. Öncelikle Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2’de yer alan güneş

geliş açısı düzeltme faktörü değerleri simülasyonda girilir. Kollektörün diğer özellikleri de (Denklemler 2.6'da yer alan a_0 , a_1 ve a_2 değerleri) modül içerisinde yer alan parametre kısmında yazılır.



Şekil 2.10: Simülasyon programında vakum tüplü güneş kolektörüyle oluşturulan simülasyonun görüntüsü.

Çizelge 2.1: Düz güneş kolektörü için güneş geliş açısı düzeltme faktörü.

Geliş Açısı (°)	10	20	30	40	50	60	70
Düzeltilme Faktörü	1,00	0,99	0,96	0,92	0,85	0,75	0,59

Çizelge 2.2: Vakum tüplü güneş kolektörü için güneş geliş açısı düzeltme faktörü.

Geliş Açısı (°)	10	20	30	40	50	60	70
Düzeltilme Faktörü (En)	0,99	0,98	0,98	0,97	0,96	1,12	1,23
Düzeltilme Faktörü (Boy)	1,00	1,00	0,99	0,96	0,92	0,84	0,69

Kollektör modülü içerisinde yer alan parametre ve input değerleri hem düz hem de vakum tüplü güneş kolektörleri için Çizelge 2.3 ve Çizelge 2.4'de gösterilmiştir.

Kollektörden elde edilecek olan faydalı ısı miktarı ise aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır [30];

$$Q_u = \dot{m} C_p (T_o - T_i) \quad (2.8)$$

Çizelge 2.3: Düz güneş kolektörüne ait parametre ve input değerleri.

	İsim	Değer	Birim
Parametre	Kollektör alanı	4	m ²
	Akışkanın özgül ısı değeri	4,19	kJ/kgK
	Test debisi	72	kg/hm ²
	Verim eğrisi kesme değeri (a ₀)	0,718	-
	Verim eğrisi eğimi (a ₁)	5,804	W/m ² K
	Verim eğrisi eğriliği (a ₂)	0,0135	W/m ² K ²
	IAM data sayısı	7	-
Input	Giriş Sıcaklığı	22	°C
	Giriş Debisi	30	kg/hm ²
	Çevre Sıcaklığı	22	°C
	Kollektör Eğimi	21,88	°

Simülasyon sonucunda sistemden elde edilen enerjinin ne kadarının güneş tarafından karşılandığını bulmak için aşağıdaki gibi güneşten faydalanma oranı hesabı yapılabilir [16];

$$SF=1-\frac{Q_{aux}}{Q_u} \quad (2.9)$$

Çizelge 2.4: Vakum tüplü güneş kolektörüne ait parametre ve input değerleri.

	İsim	Değer	Birim
Parametre	Kollektör alanı	4	m ²
	Akışkanın özgül ısı değeri	4,19	kJ/kgK
	Test debisi	72	kg/hm ²
	Verim eğrisi kesme değeri (a ₀)	0,632	-
	Verim eğrisi eğimi (a ₁)	0,338	W/m ² K
	Verim eğrisi eğriliği (a ₂)	0,011	W/m ² K ²
	Enine IAM data sayısı	7	-
	Boyuna IAM data sayısı	7	-
Input	Giriş Sıcaklığı	22	°C
	Giriş Debisi	30	kg/hm ²
	Çevre Sıcaklığı	22	°C
	Kollektör Eğimi	21,88	°

2.5.2 Sıcak su depolama tankı

Sıcak su depolama tankı için kullanılan model Type-38'dir ve matematiksel modeli aşağıda ifade edilmiştir.

Tankta meydana gelen toplam kayıplar aşağıdaki denklemlerle elde edilir [30];

$$\dot{Q}_{env} = \sum_{i=1}^N (UA)_i (T_i - T_{env}) \quad (2.10)$$

Tanka giren enerji miktarını bulmak için Denklem 2.11'den faydalanılır [30];

$$\dot{Q}_{in} = \dot{m}_h C_p (T_h - T_R) \quad (2.11)$$

Yüke giden enerji miktarı ise aşağıdaki gibi hesaplanır [30];

$$\dot{Q}_{sup} = \dot{m}_L C_p (T_D - T_L) \quad (2.12)$$

Sıcak su depolama tankına ait olan parametre ve input değerleri Çizelge 2.5'te gösterilmiştir. Parametre kısmında yer alan set sıcaklık değeri ve yük debi değeri yapılan analize göre (yardımcı ısıtıcı açık veya kapalı, yüklü yüksüz) farklı değerler alabilmiştir. Çizelge 2.5'te yardımcı ısıtıcı açık ve yüklü durum için yapılan simülasyonda kullanılan depolama tankına ait bilgiler yer almaktadır.

2.5.3 Pompa

Simülasyonda kullanılan pompa Type-3b'dir. Aşağıda pompaya ait matematiksel model yer almaktadır.

Pompanın çıkış sıcaklığı aşağıdaki şekilde hesaplanarak bulunur [30];

$$T_o = T_i + \frac{P^* f_{par}}{\dot{m} C_p} \quad (2.13)$$

Çizelge 2.5: Sıcak su depolama tankına ait parametre ve input değerleri.

	İsim	Değer	Birim
Parametre	Tank hacmi	0,28	m ³
	Tank yüksekliği	1,2	m
	Kollektörden dönen hattın yüksekliği	1	m
	Akışkanın özgül ısı değeri	4,19	kJ/kgK
	Akışkanın yoğunluğu	1000	kg/m ³
	İlk sıcaklık değeri	22	°C
	Maksimum ısıtma hızı	16200	kJ/h
	Yardımcı ısıtıcı yüksekliği	1,1	m
	Termostat yüksekliği	1,15	m
	Set sıcaklık değeri	85	°C
Input	Kollektör tarafı sıcaklığı	22	°C
	Kollektör tarafı debisi	30	kg/h
	Yük tarafı sıcaklığı	15	°C
	Yük tarafı debisi	15	kg/h
	Çevre sıcaklığı	22	°C

Pompanın çıkış debisi ise aşağıdaki gibidir [30];

$$\dot{m}_o = \bar{\gamma} \dot{m}_{\max} \quad (2.14)$$

2.14 numaralı denklemde yer alan $\bar{\gamma}$ ifadesi kontrol fonksiyonudur ve $0 \leq \bar{\gamma} \leq 1$ aralığındadır [30]. Pompaya ait parametre ve input değerleri ise Çizelge 2.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 2.6: Pompaya ait parametre ve input değerleri.

	İsim	Değer	Birim
Parametre	Maksimum debi miktarı	30	kg/h
	Akışkanın özgül ısı değeri	4,19	kJ/kgK
	Maksimum güç	240	kJ/h
	Dönüşüm katsayısı	0,05	-
Input	Pompa girişindeki akışkanın sıcaklığı	22	°C
	Pompa girişindeki akışkanın debisi	30	kg/h

2.5.4 Diferansiyel kontrol elemanı

Diferansiyel kontrol elemanı 0 veya 1 değerine sahip olan bir kontrol fonksiyonu üretmektedir. γ_0 değeri iki ölü bant sıcaklık farkları ile karşılaştırıldığında (ΔT_H , ΔT_L), T_H ve T_L sıcaklık değerlerinin farkına göre seçilmektedir. γ_0 'ın yeni değeri γ_i değerinin 0 veya 1 olmasına bağlıdır. Ölü bant koşullarından bağımsız olarak, yüksek limit değeri koşulu aştığı durumlarda kontrol işlevi durmaktadır yani sıfır olmaktadır. Şekil 2.11'de diferansiyel elemana ait fonksiyon görülmektedir [30].

Matematiksel olarak kontrol fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilebilir [30];

- Eğer diferansiyel kontrol önceden aktif durumda ise,

$$\text{Eğer } \gamma_i=1 \text{ ve } \Delta T_L \leq (T_H - T_L), \gamma_0=1$$

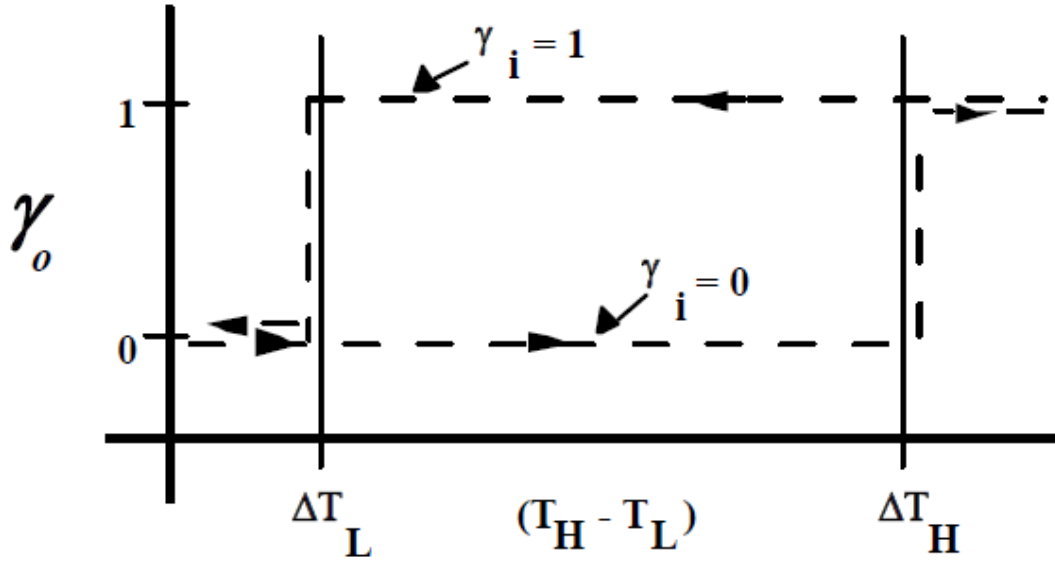
$$\text{Eğer } \gamma_i=1 \text{ ve } \Delta T_L > (T_H - T_L), \gamma_0=0$$

- Eğer diferansiyel kontrol önceden aktif durumda değilse,

$$\text{Eğer } \gamma_i=0 \text{ ve } \Delta T_H \leq (T_H - T_L), \gamma_0=1$$

$$\text{Eğer } \gamma_i=0 \text{ ve } \Delta T_H > (T_H - T_L), \gamma_0=0$$

Bunların dışında $T_{in} > T_{\max}$ olduğu durumda da üst ve alt ölü bant koşullarına bakılmadan diferansiyel kontrol kendini 0 değerine set etmektedir [30].



Şekil 2.11: Diferansiyel kontrol elemanı fonksiyonu [30].

Diferansiyel kontrol elemanına ait parametre ve input değerleri ise Çizelge 2.7’de gösterilmektedir. Çizelgede belirtilen üst giriş sıcaklık değeri kollektör çıkış sıcaklığına bağlanmıştır. Alt giriş sıcaklığı sıcak su depolama tankının alt noktasındaki sıcaklığa, izleme sıcaklığı ise yüke giden tank sıcaklık değerine bağlantı yapılmış ve simülasyon çalıştırılmıştır.

Çizelge 2.7: Diferansiyel kontrol elemanı için parametre ve input değerleri.

	İsim	Değer	Birim
Parametre	Salınım sayısı	5	-
	Yüksek durma limit sıcaklığı	200	°C
Input	Üst giriş sıcaklığı	23	°C
	Alt giriş sıcaklığı	20	°C
	İzleme sıcaklığı	21	°C
	Kontrol fonksiyonu	0	-
	Üst ölü aralık dT	18	-
	Alt ölü aralık dT	8	-

2.5.5 Hava veri okuyucu

Hava veri okuyucu için input değerleri bulunmamaktadır. Parametre değerleri ise Çizelge 2.8’de gösterilmiştir. Çıkış değeri olarak ise kuru termometre sıcaklığı, yağ termometre sıcaklığı, çığ noktası sıcaklığı, rüzgar hızı ve yönü, direk normal ışınım, eğik yüzeye gelen ışınım vb. bir çok değeri kullanıcıya sunmaktadır. Aynı zamanda

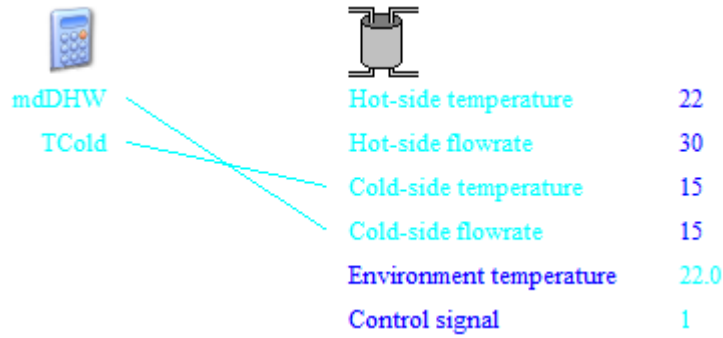
çalışma yapılması düşünülen il veya iller için elde edilen meteorolojik verilerin belli bir formatta olması gerekmektedir. Parametre kısmında dosyanın hangi formatta (TMY, TMY2,..) istendiği bilgileri görülmektedir. Dosya yükleme kısmında çalışma yapılacak il için oluşturulmuş olan uygun formattaki dosyanın yüklemesi yapılarak bu modül hazır hale getirilmektedir.

Çizelge 2.8: Hava veri okuyucu için parametre değerleri.

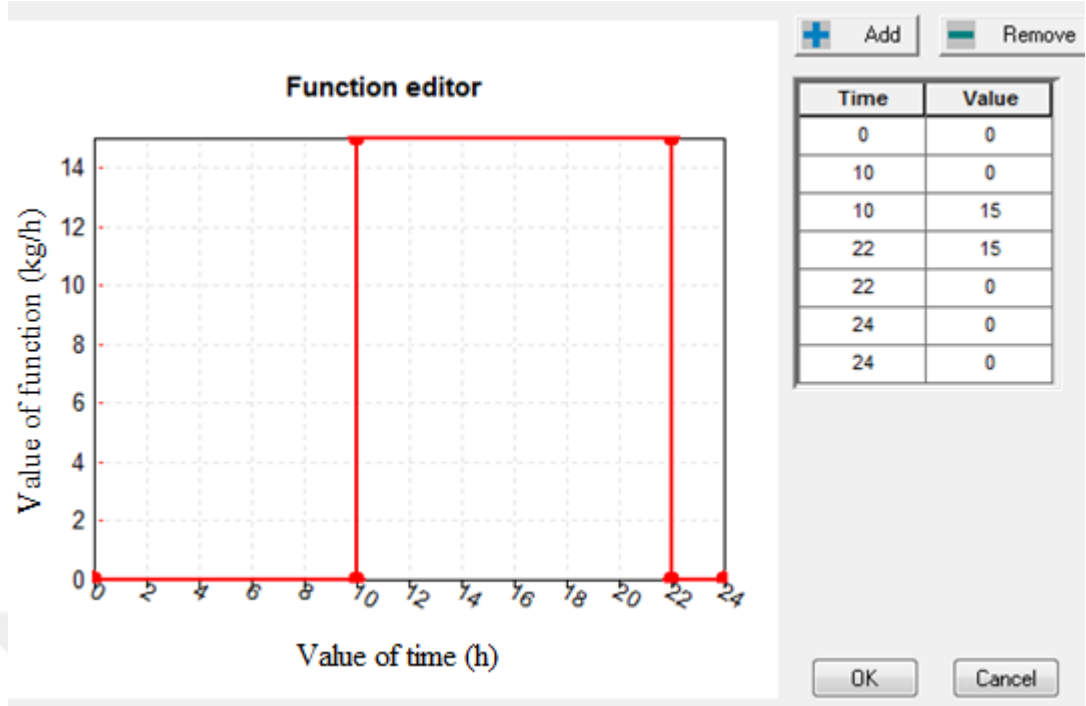
Parametre	İsim	Değer	Birim
	Zemin yansımaları (kar yok)	0,2	-
	Zemin yansımaları (karlı)	0,7	-
	İzleme modu	1	-
	Yüzey eğimi	21,88	°
	Yüzey azimut açısı	0	°

2.5.6 Besleme suyu hattı

Simülasyonda besleme suyu bilgileri (yük) için Type-14h kullanılmıştır. Tanka gidecek olan besleme suyunun sıcaklık bilgisi Unit-10 modülünde girilmektedir. Unit-10 modülünde yer alan sıcaklık bilgisi ve toplam tüketim debisi bilgileri tank modülüne bağlantı yolu ile aktarılmaktadır. Şekil 2.12’de bu bağlantı görülmektedir. Ayrıca Şekil 2.13’te 15 kg/h debi miktarının 10:00-22:00 saatleri arasında olacak şekilde ayarlandığı gösterilmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi farklı zaman dilimleri ekleme butonu yardımıyla oluşturulabilmektedir.



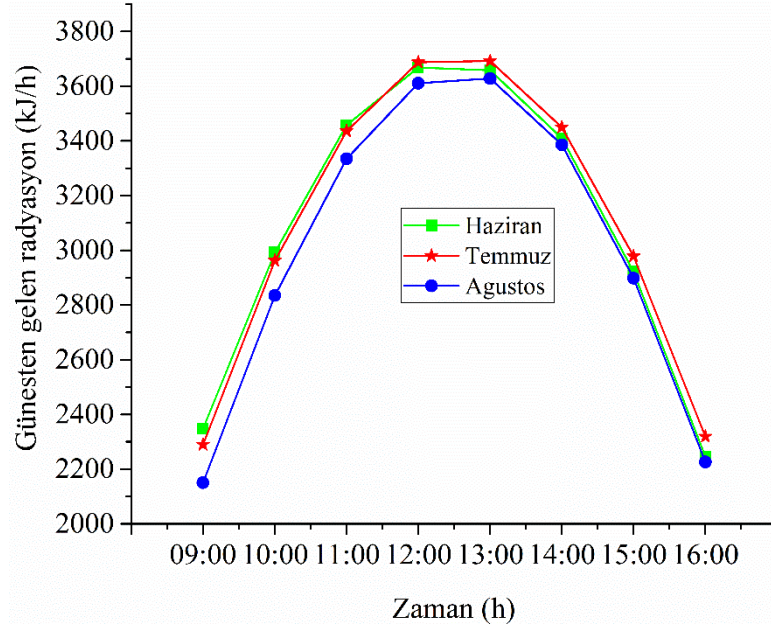
Şekil 2.12: Besleme hattı ve tank arasındaki bağlantı.



Şekil 2.13: Besleme suyu hattı yük göstergesi.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

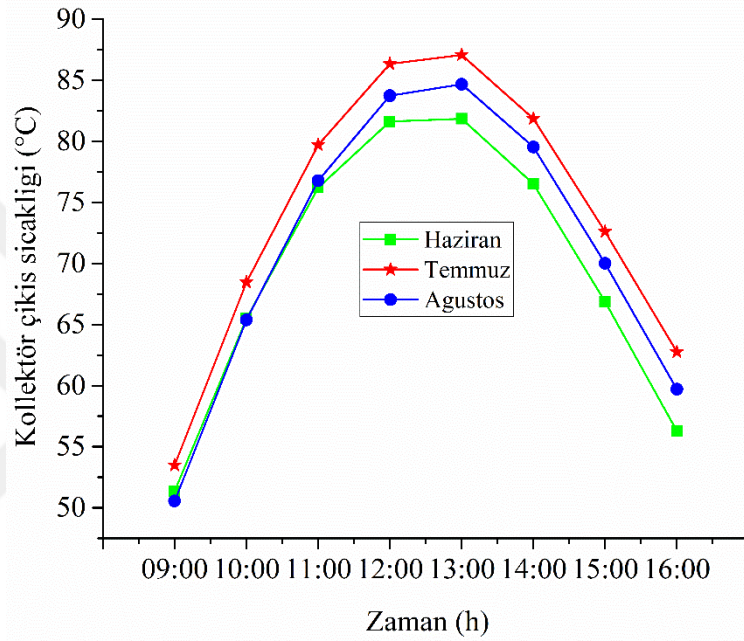
Bu çalışmada, piyasada kullanılan düz ve vakum tüplü güneş kolektörleri kullanılarak analiz gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, simülasyon çalıştırılmadan önce yardımcı ısıtıcı kapatılmış ve yük verilmeden analiz yapılmıştır. İkinci durumda, ilk durumdan farklı olarak yük ilave edilmiştir. 10:00-22:00 arasında farklı yük değerlerinde (15 kg/h, 30 kg/h ve 45 kg/h) sabit debi yükü olacak şekilde ayarlanmıştır. Üçüncü olarak ise, yukarıda bahsedilen ikinci durumdaki yük durumuna ilave olarak yardımcı ısıtıcı da aktif edilmiştir. Bu üç durumda Haziran-Temmuz-Ağustos aylarının 8.günleri için günlük analiz gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerde yükten gelen suyun sıcaklığı 15 °C olarak seçilmiştir. Günlük çalışmanın yapıldığı günlere ait yatay düzleme gelen ışınım değerleri Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Ayrıca bu çalışmanın dışında yaz aylarında 3 ay boyunca sürekli bir şekilde sistem çalıştırıldığında nasıl bir sonuç elde edileceği de gözlemlenmiştir. Yaz sezonu boyunca yapılan çalışmadaki simülasyonda yükten dönen suyun sıcaklık değeri 75 °C olarak alınmıştır.



Şekil 3.1: Haziran-Temmuz-Ağustos ayları için ışınım değeri

Gelen ışınım değerlerine bakıldığında yatay düzleme yaklaşık olarak 3600 kJ/h - 3700 kJ/h arasında ışınım değeri gün içerisinde gelebilmektedir. Düz güneş kolektörü için

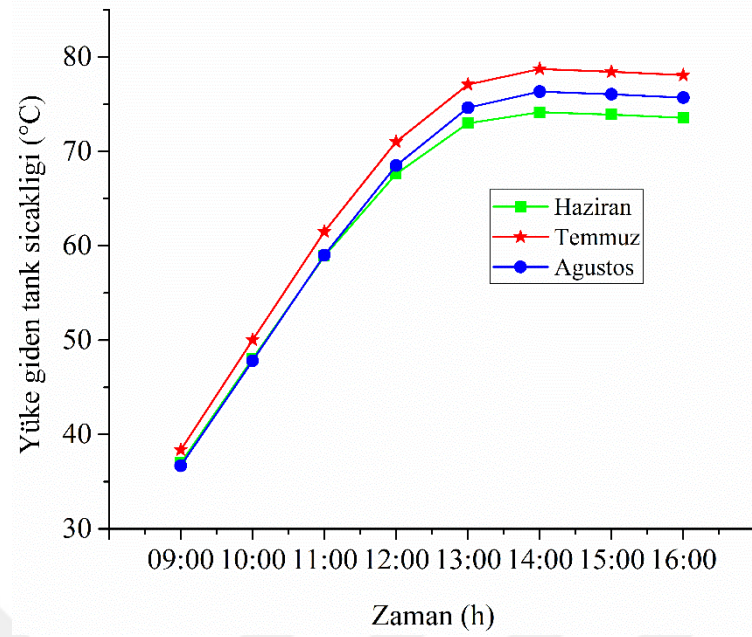
yük verilmediği durum ve yardımcı ısıtıcı kapalı iken elde edilen kollektör çıkış sıcaklığı ve yüke giden tank sıcaklığı Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te verilmiştir. Düz güneş kollektöründe, kollektör çıkış sıcaklığı temmuz ayında maksimum 87 °C'ye, yüke giden tank sıcaklığı ise maksimum 78 °C'ye çıkmaktadır. Aylar bazında kıyaslama yapıldığında Haziran ayında elde edilen sıcaklık değerleri diğer iki aya göre daha düşük sıcaklıklarda kalmaktadır. Haziran ayında kollektör çıkış sıcaklığı maksimum 81 °C, yüke giden tank sıcaklığı ise maksimum 74 °C olmaktadır.



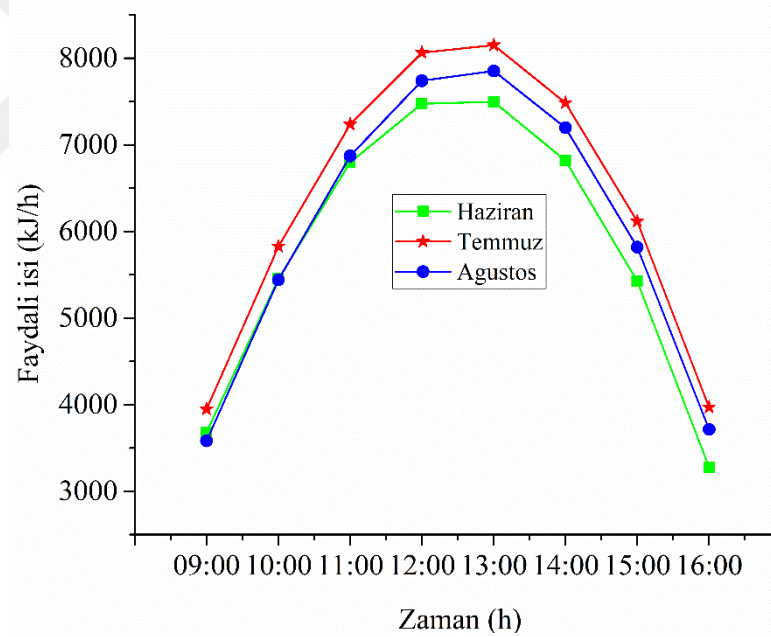
Şekil 3.2: Düz güneş kollektörü çıkış sıcaklığı (yük ve yardımcı ısıtıcı kapalı).

Bu çalışmada düz kollektör için kollektör tarafından elde edilen faydalı ısı miktarının grafiği Şekil 3.4'te verilmiştir. Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında elde edilen maksimum faydalı ısı miktarları sırasıyla yaklaşık olarak 7500 kJ/h, 7800 kJ/h ve 8100 kJ/h olmuştur. Şekil 3.5'te ise düz güneş kollektörünün günlük analiz sonucuna göre aylar bazında verimi gösterilmiştir. Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında maksimum kollektör verimi sırasıyla 0,51 – 0,55 – 0,54 olarak gerçekleşmiştir.

Aylara göre vakum tüplü güneş kollektöründeki kollektör çıkış sıcaklığının günlük analiz grafiği Şekil 3.6'da görülmektedir. Düz güneş kollektöründe yardımcı ısıtıcı kapalı ve yük olmadığı durumda kollektör çıkış sıcaklığı temmuz ayında 87 °C'ye ulaşırken, vakum tüplü güneş kollektöründe kollektör çıkış sıcaklığı temmuz ayında yaklaşık 94 °C'ye ulaşmaktadır. Vakum tüplü güneş kollektöründe, her üç ayda da kollektör çıkış sıcaklığının 90 °C'yi geçtiği analiz sonucunda ortaya çıkmıştır.



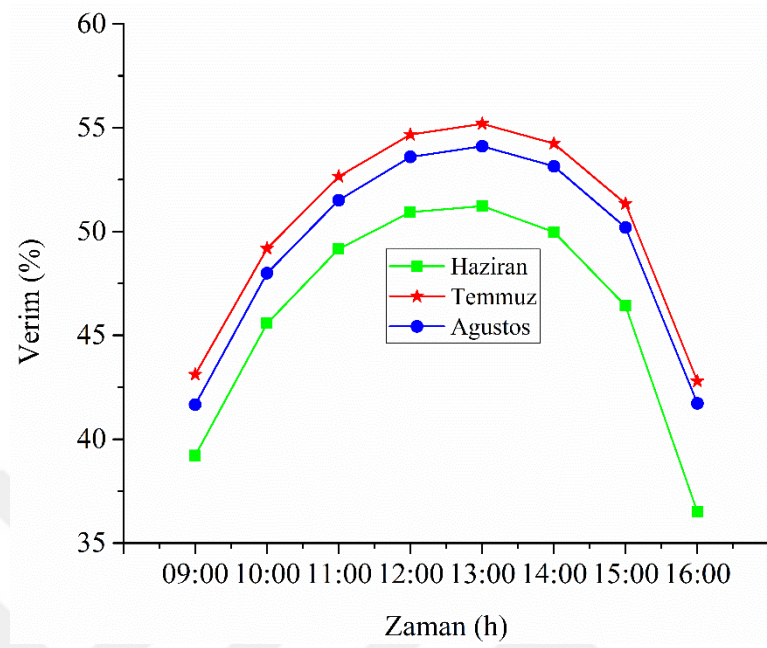
Şekil 3.3: Düz güneş kolektörü yüke giden tank sıcaklığı (yük ve yardımcı ısıtıcı kapalı).



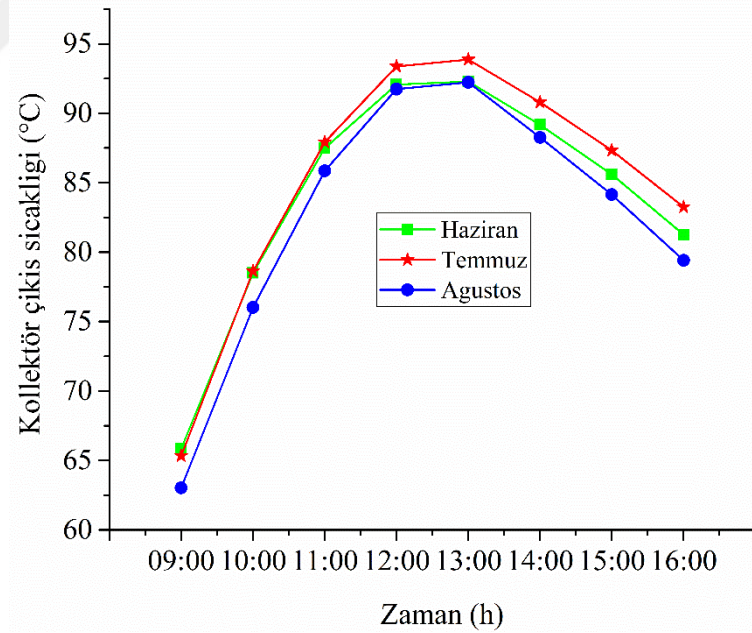
Şekil 3.4: Düz güneş kolektörü faydalı ısı miktarı (yük ve yardımcı ısıtıcı kapalı).

Şekil 3.7’de ise vakum tüplü güneş kolektörü için yüke giden tank sıcaklığının grafiği görülmektedir. Düz güneş kolektöründe yüke giden tank sıcaklığı maksimum 78 °C’ye ulaşırken, vakum tüplü güneş kolektöründe ise Temmuz, Haziran ve Ağustos aylarında maksimum yüke giden tank sıcaklığı yaklaşık olarak sırasıyla 87 °C, 86 °C ve 85 °C’dir. Vakum tüplü güneş kolektöründe elde edilen minimum yüke giden tank sıcaklık değeri düz güneş kolektöründe elde edilen maksimum yüke giden tank

sıcaklığından minimum 7 °C daha fazla olmaktadır. Bu sonuç vakum tüplü güneş kolektörünün daha üstün performans sergilediğini bize göstermektedir.

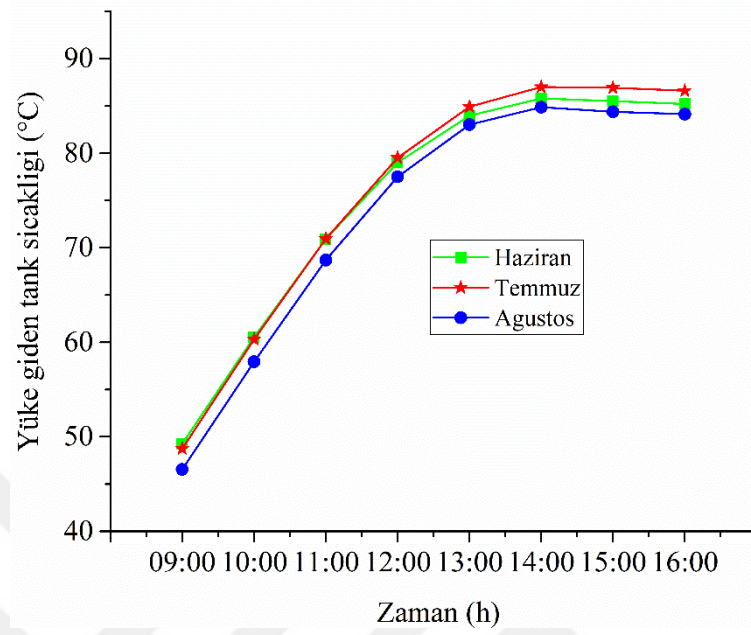


Şekil 3.5: Düz güneş kolektörü verimi (yük ve yardımcı ısıtıcı kapalı).

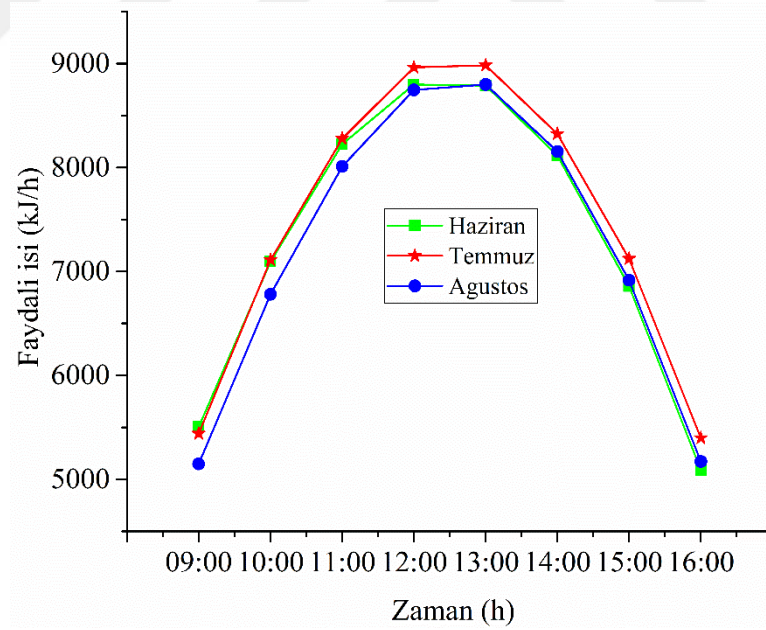


Şekil 3.6: Vakum tüplü güneş kolektörü çıkış sıcaklığı (yük ve yardımcı ısıtıcı kapalı). Vakum tüplü güneş kolektöründen elde edilen faydalı ısı miktarı Şekil 3.8'de görülmektedir. Temmuz ayında yaklaşık 9000 kJ/h değerine ulaşabilmektedir. Haziran ve Ağustos aylarında ise yaklaşık 8800 kJ/h değerine ulaşmaktadır. Vakum tüplü güneş kolektöründe elde edilen bu sonuçlar düz güneş kolektörleriyle kıyasladığında vakum

tüplü güneş kolektöründe minimum 700 kJ/h daha fazla ısı elde edildiğini göstermiştir.



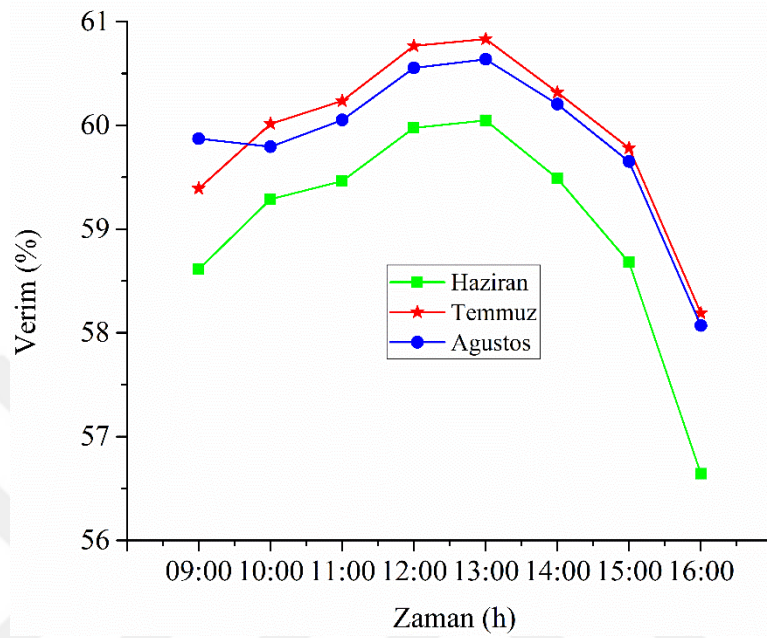
Şekil 3.7: Vakum tüplü güneş kolektörü yüke giden tank sıcaklığı (yük ve yardımcı ısıtıcı kapalı).



Şekil 3.8: Vakum tüplü güneş kolektörü faydalı ısı miktarı (yük ve yardımcı ısıtıcı kapalı).

Şekil 3.9’da ise vakum tüplü güneş kolektörünün günlük verim grafiği görülmektedir. Temmuz ve Ağustos ayında elde edilen sonuçlar Haziran ayında elde edilen sonuçlara göre daha yüksek değerler almış gözükse de, elde edilen maksimum verim değeri her 3 ay içinde yaklaşık 0,6 - 0,61 aralığında elde edilmiştir. Aynı durumda düz güneş

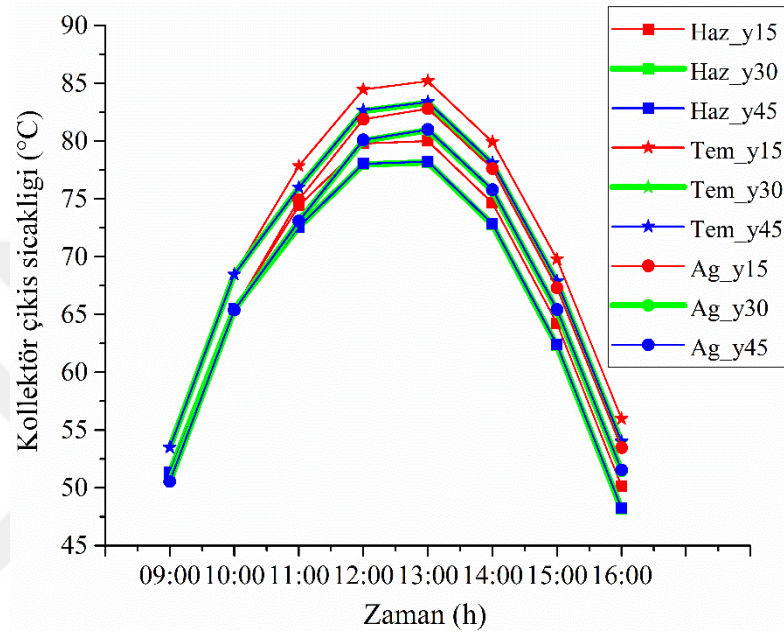
kollektöründe elde edilen verimler ise 0,51 - 0,55 aralığında gerçekleşmiştir. Vakum tüplü güneş kollektöründe ağustos ayında elde edilen verim değeri, aynı ay için düz güneş kollektöründe elde edilen verim değerinden yaklaşık olarak %9 - %10 daha fazladır.



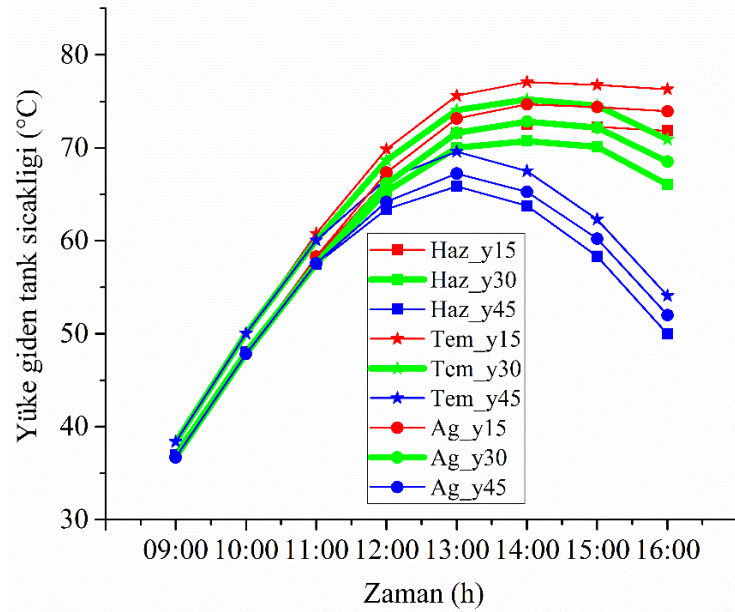
Şekil 3.9: Vakum tüplü güneş kollektörü verimi (yük ve yardımcı ısıtıcı kapalı).

Bu aşamada, ikinci olarak ele alınan yardımcı ısıtıcı kapalı iken sisteme farklı yükler uygulandığında meydana gelen sonuçlar sunulacaktır. Şekil 3.10'da yaz aylarında yüke giden debi değeri 15 – 30 – 45 kg/h alındığı durumda düz güneş kollektöründe kollektör çıkış sıcaklığının nasıl değiştiği görülmektedir. Yük değeri arttırıldığı zaman kollektör çıkış sıcaklıkları düşmektedir. Yapılan çalışmada en yüksek sıcaklık Temmuz ayında yük değeri 15 kg/h iken gerçekleşmektedir. En düşük kollektör sıcaklığı ise Haziran ayında yük değerleri 30 – 45 kg/h iken meydana gelmektedir. Yapılan bu analizde Haziran ve Ağustos ayında farklı yüklerde elde edilen sonuçlara bakıldığında maksimum kollektör çıkış sıcaklığı, Temmuz ayında 15 – 30 – 45 kg/h farklı debilerinde yapılan analizdeki maksimum kollektör çıkış sıcaklık değerlerini geçememektedir. Temmuz ayında yük değeri 15 kg/h iken maksimum kollektör çıkış sıcaklığı yaklaşık 85 °C iken, yük değeri 45 kg/h olduğunda maksimum kollektör çıkış sıcaklık değeri yaklaşık 83 °C olmaktadır. Haziran ayında yük değeri 30 – 45 kg/h iken ise maksimum kollektör çıkış sıcaklığı yaklaşık olarak 78 °C'yi bulmaktadır. Şekil 3.11'de ise farklı yüklerde yüke giden tank sıcaklığının grafiği düz güneş kollektörü için görülmektedir. Grafik incelendiğinde Temmuz ayında en yüksek sıcaklığa

ulaşıldığı görülmektedir. Temmuz ayında 15 – 30 – 45 kg/h debileri için elde edilen yüke giden maksimum tank sıcaklık değeri yaklaşık olarak sırasıyla 77 °C – 74 °C – 70 °C elde edilmiştir. Bu analizde en düşük sıcaklık değeri ise Haziran ayında yük 45 kg/h iken meydana gelmiş ve yaklaşık olarak maksimum sıcaklık değeri 66 °C olarak elde edilmiştir. Ayrıca yük miktarı arttıkça yüke giden tank sıcaklık değeri düşmektedir.

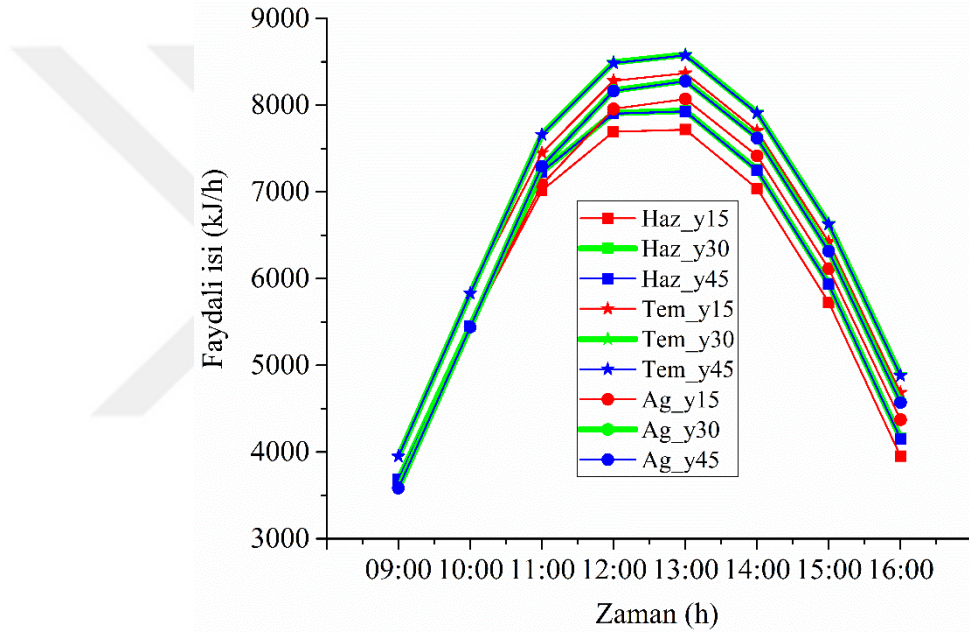


Şekil 3.10: Düz güneş kolektörü için farklı yüklerde kolektör çıkış sıcaklığı (yardımcı ısıtıcı kapalı).



Şekil 3.11: Düz güneş kolektörü için farklı yüklerde yüke giden tank sıcaklığı (yardımcı ısıtıcı kapalı).

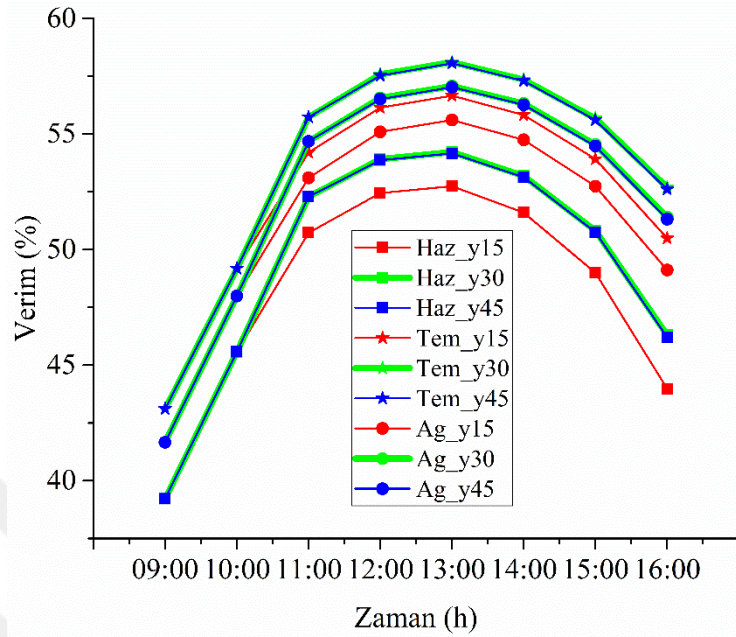
Şekil 3.12’de düz güneş kollektörü için farklı yüklerde ve farklı aylarda elde edilen faydalı ısı miktarı değerleri görülmektedir. Yük değeri arttığında elde edilen ısı miktarı değerinin de arttığı gözlenmektedir. Fakat 30 – 45 kg/h değerlerinde elde edilen faydalı ısı miktarı değerleri birbirine çok yakın değerler almaktadır. Temmuz ayında yük değeri 45 kg/h iken elde edilen maksimum faydalı ısı miktarı yaklaşık olarak 8500 kJ/h iken yük değeri 15 kg/h olduğunda elde edilen maksimum faydalı ısı miktarı yaklaşık 8300 kJ/h değerine ulaşmaktadır. Yaz aylarında yapılan bu analiz sonuçlarına göre elde edilen en düşük faydalı ısı miktarı Haziran ayında yük 15 kg/h değerindeyken meydana gelmektedir ve elde edilen maksimum faydalı ısı miktarı 7700 kJ/h olmaktadır.



Şekil 3.12: Düz güneş kollektörü için farklı yüklerde faydalı ısı miktarı (yardımcı ısıtıcı kapalı).

Şekil 3.13’te ise düz güneş kollektörünün farklı yük değerlerinde ve aylardaki veriminin nasıl değiştiği görülmektedir. Yük değeri arttıkça kollektör verimlerinde de artış meydana gelmektedir. Faydalı ısı grafiğinde olduğu gibi burada da 30 - 45 kg/h debi değerlerinde yakın sonuçlar elde edilmiştir. Temmuz ayında yük değeri 30 – 45 kg/h değerinde iken maksimum verim değeri olan 0,58’e ulaşmaktadır. Yaz ayları için yapılan günlük analiz sonuçlarında en düşük verim ise Haziran ayında yük değeri 15 kg/h debi değerinde iken 0,52 olarak elde edilmiştir. Haziran ayındaki farklı yüklerde elde edilen sonuçlar incelendiğinde diğer iki ayda yapılan çalışmalardan elde edilen verim değerlerinden daha düşük seviye kaldığı görülmektedir. Diğer iki ayda farklı

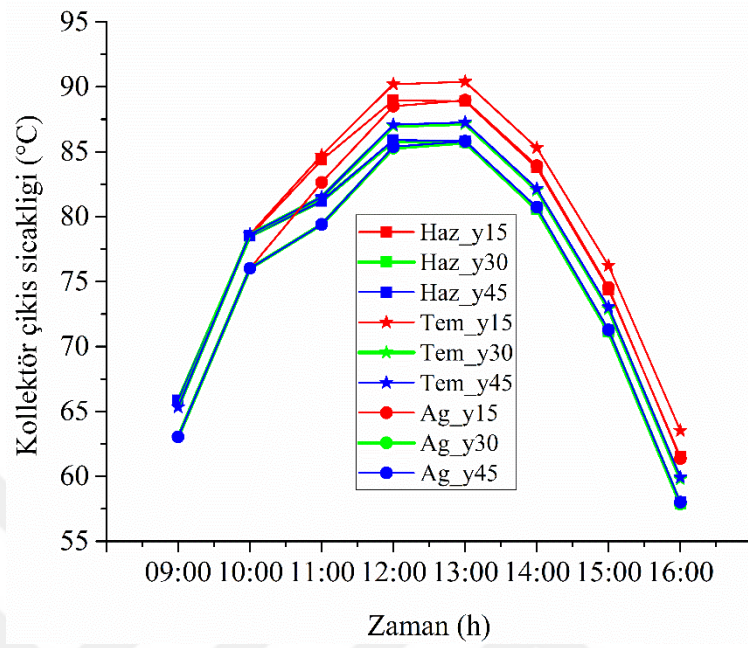
yüklerde elde edilen en düşük verim değeri 0,55 iken, Haziran ayında farklı yüklerde elde edilen maksimum verim değeri ise 0,54 olmuştur.



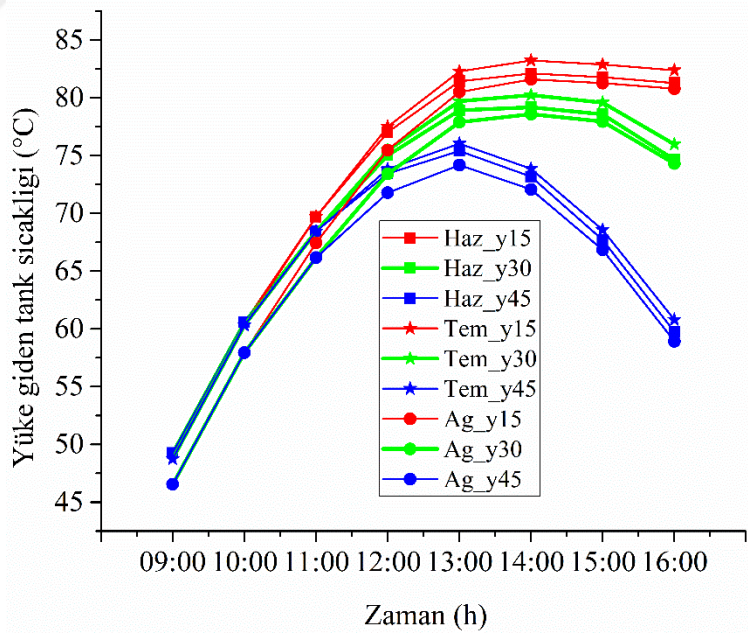
Şekil 3.13: Düz güneş kolektörü için farklı yüklerde kolektör verimi (yardımcı ısıtıcı kapalı).

Vakum tüplü güneş kolektörlerinde farklı yük değerleri ve aylara göre kolektör çıkış sıcaklık değerlerinin nasıl değiştiği Şekil 3.14'te görülmektedir. Maksimum kolektör çıkış sıcaklığı Temmuz ayında yük miktarı 15 kg/h iken 90 °C olmaktadır. Minimum kolektör çıkış sıcaklığı ise yaklaşık olarak 85 °C civarındadır. Bu değer ise, Haziran ve Ağustos aylarında 30 – 45 kg/h debi miktarında gerçekleşmektedir. Aynı koşullarda düz güneş kolektörü ile elde edilen maksimum sıcaklık değeri Temmuz ayında 15 kg/h debi miktarında 85 °C olarak elde edilmiş iken, vakum tüplü kolektörde tüm yük ve aylar arasında elde edilen minimum sıcaklık değeri 85 °C'dir. Bu sonuca göre vakum tüplü güneş kolektöründen elde edilen sıcaklık değerinin daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 3.15'te ise vakum tüplü güneş kolektörünün olduğu sistemde bulunan tankın yüke giden kısmındaki tank sıcaklığının farklı yük ve aylardaki değişimi görülmektedir. Yük değeri arttıkça tanktaki sıcaklığın düştüğü görülmektedir. Maksimum sıcaklık değeri Temmuz ayında yük miktarı 15 kg/h iken yaklaşık 83 °C, minimum sıcaklık değeri ise Ağustos ayında 45 kg/h debi miktarında iken yaklaşık 74 °C olarak gerçekleşmektedir. Düz güneş kolektöründe ise Ağustos ayında 45 kg/h debi değerinde 66 °C, Temmuz ayında 15 kg/h debi değerinde ise 77 °C elde edilmektedir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında vakum tüplü güneş

kollektörleriyle yaklaşık olarak 6 – 8 °C daha yüksek sıcaklık değerleri elde edilmektedir.



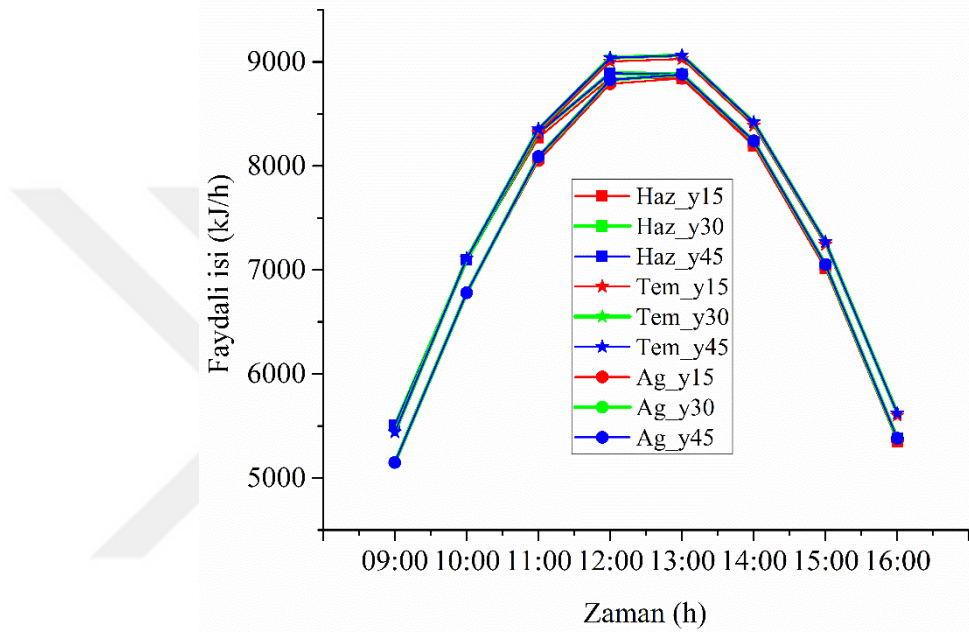
Şekil 3.14: Vakum tüplü güneş kollektörü için farklı yüklerde kollektör çıkış sıcaklığı (yardımcı ısıtıcı kapalı).



Şekil 3.15: Vakum tüplü güneş kollektörü için farklı yüklerde yüke giden tank sıcaklığı (yardımcı ısıtıcı kapalı).

Farklı yük değerleri ve aylarda vakum tüplü güneş kollektörlerinden elde edilen faydalı ısı miktarının değişimi Şekil 3.16’da görülmektedir. Yaz ayları için yapılan günlük analizde farklı yük değerlerinde birbirine çok yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Analiz yapılan aylar ve yük miktarlarına göre elde edilen sonuçlar yaklaşık olarak 8900 – 9000 kJ/h aralığında çıkmaktadır. Düz güneş kolektörüyle aynı koşullarda elde edilen faydalı ısı miktarı değeri maksimum 8500 kJ/h ile Temmuz ayında 45 kg/h debi değerinde meydana gelmiştir. Düz güneş kolektörüyle elde edilen maksimum faydalı ısı miktarı vakum tüplü güneş kolektörüyle elde edilen minimum faydalı ısı miktarını yakalayamamaktadır. Buradaki sonuçlar da vakum tüplü güneş kolektörünün düz güneş kolektörüne göre avantajlı sonuçlar elde ettiğini göstermiştir.

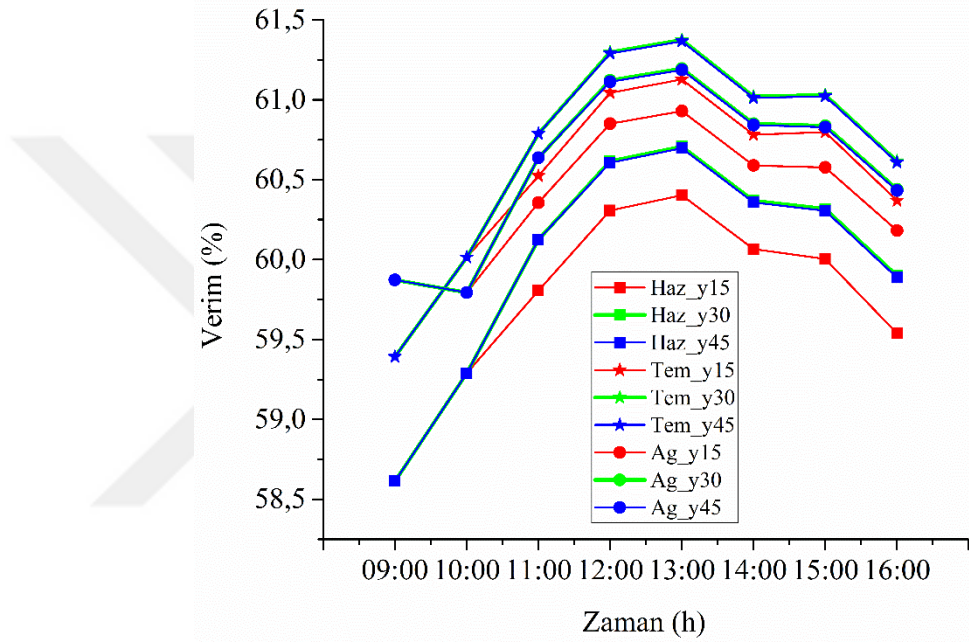


Şekil 3.16: Vakum tüplü güneş kolektörü için farklı yüklerde faydalı ısı miktarı (yardımcı ısıtıcı kapalı).

Şekil 3.17’de ise vakum tüplü güneş kolektör sisteminde bulunan depolama tankından çekilen yük miktarlarına göre elde edilen günlük verim eğrisi görülmektedir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde farklı yük miktarlarında yaz ayları için elde edilen maksimum verim %61,3 - %60 aralığında meydana gelmektedir. Aynı koşullarda düz güneş kolektörü ile elde edilen maksimum verim değeri ise %58 olarak gerçekleşmiştir. Düz güneş kolektöründe haziran ayında elde edilen maksimum verim değeri ise %54 idi. Buradaki sonuçlar incelendiğinde vakum tüplü güneş kolektörleriyle farklı yük ve aylara göre yaklaşık olarak %2 - %6 daha fazla verim elde edilmektedir.

Bu kısımda ise, üçüncü olarak ele aldığımız farklı yükler altında yardımcı ısıtıcının açık olduğu durum incelenmiştir. Yardımcı ısıtıcının set değeri 85 °C olarak ayarlanmıştır. Şekil 3.18’de farklı yükler uygulandığı durumda düz güneş

kollektörlerindeki kollektör çıkış sıcaklık değerlerinin nasıl değiştiği farklı aylar için gözlenmiştir. Temmuz ayında yük değeri 15 kg/h iken maksimum kollektör çıkış sıcaklığı 85 °C olarak elde edilmektedir. Temmuz ayındaki farklı yük değerleriyle elde edilen sonuçlar incelendiğinde diğer aylardaki farklı yüklere bağlı olarak elde edilen sıcaklık değerlerinden fazla olduğu görülmektedir. Haziran ayında yük değeri 30 – 45 kg/h iken elde edilen maksimum sıcaklık değeri yaklaşık olarak 78,2 °C civarındadır. Buradaki analizde de yük miktarının artmasıyla kollektör çıkış sıcaklık değerinin düştüğü sonucuna varılmıştır.

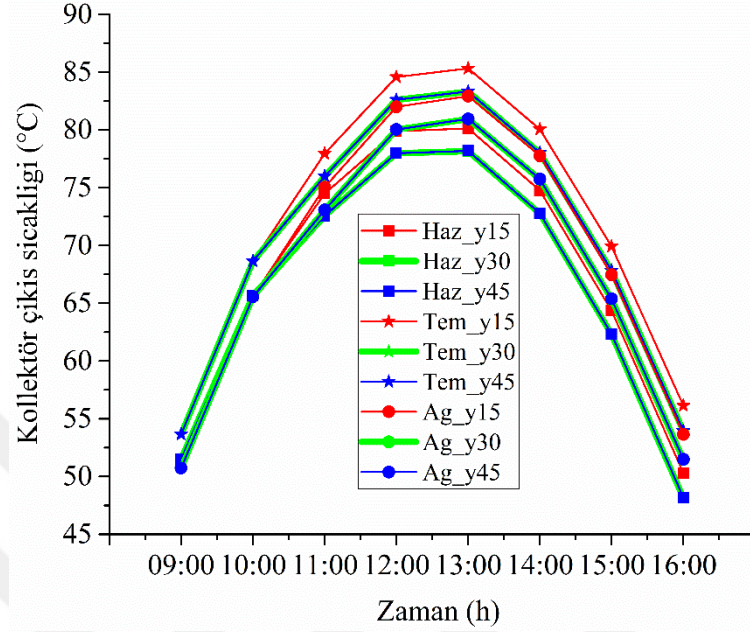


Şekil 3.17: Vakum tüplü güneş kollektörü için farklı yüklerde kollektör verimi (yardımcı ısıtıcı kapalı).

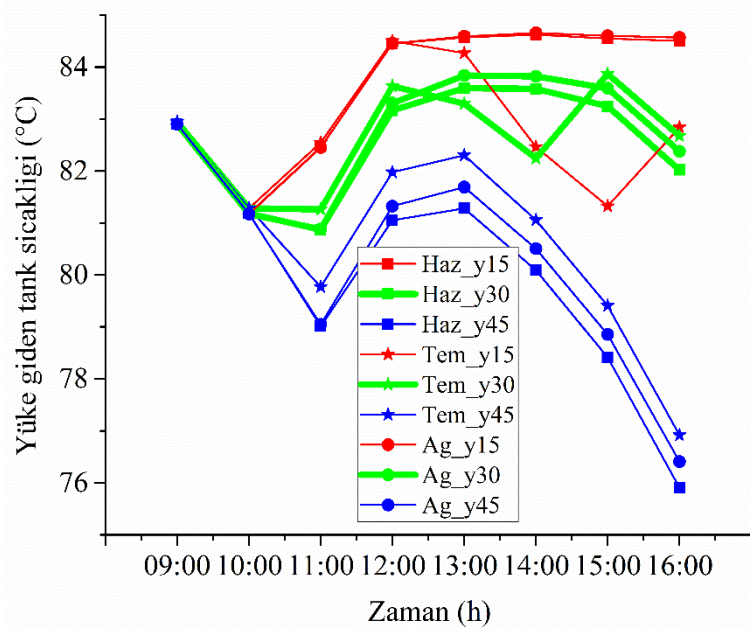
Şekil 3.19’da, yardımcı ısıtıcının sıcaklığı 85 °C’ye set edildiği durumda farklı yükler uygulandığında yüke giden tank sıcaklığının aylara göre nasıl değiştiği görülmektedir. Yük değeri arttıkça tankın yüke giden kısmındaki sıcaklık değeri azalmaktadır. Yük 15 kg/h iken tank sıcaklığı yaklaşık 85 °C değerlerine ulaşabilirken, yük değeri 45 kg/h olduğunda maksimum tank sıcaklığı yaklaşık 81 – 82 °C’ye ulaşabilmektedir.

Şekil 3.20’de ise yardımcı ısıtıcının 85 °C’ye set edilmesi durumunda farklı yükler altında elde edilen faydalı ısı miktarının aylara göre zamanla değişimi görülmektedir. Yük değeri arttığı zaman elde edilen faydalı ısı miktarının da arttığı görülmüştür. 30-45 kg/h yüklerinde elde edilen faydalı ısı miktarları birbirine çok yakın değerler almıştır. Yük değeri 15 kg/h iken Haziran ayında elde edilen maksimum faydalı ısı miktarı ise yaklaşık olarak 7700 kJ/h olmuştur. Temmuz ayında 30 – 45 kg/h debi

değerinde ise maksimum faydalı ısı miktarı olan 8600 kJ/h elde edilmiştir. Ay bazında da tüm yüklerle göre en fazla ısı miktarı Temmuz ayında, en düşük ısı miktarı ise Haziran ayında elde edilmiştir.



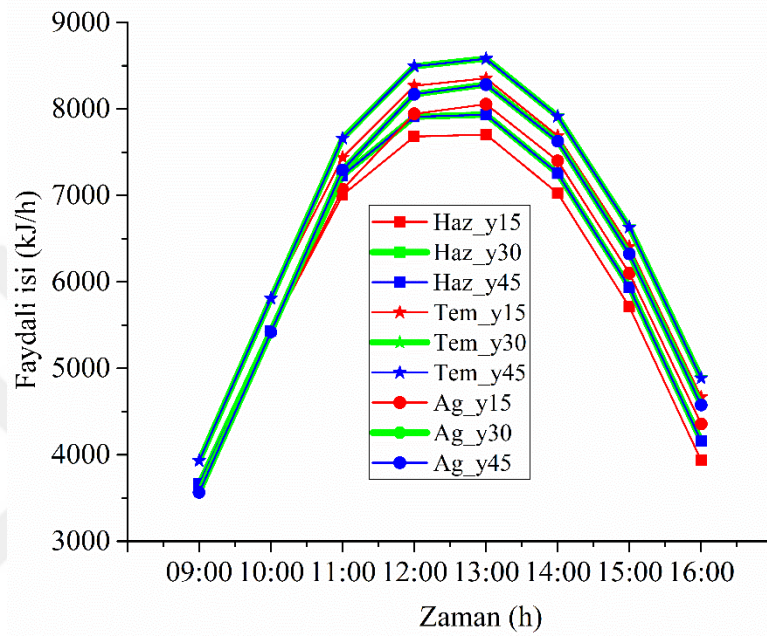
Şekil 3.18: Düz güneş kolektörü için farklı yüklerde kolektör çıkış sıcaklığı (yardımcı ısıtıcı açık).



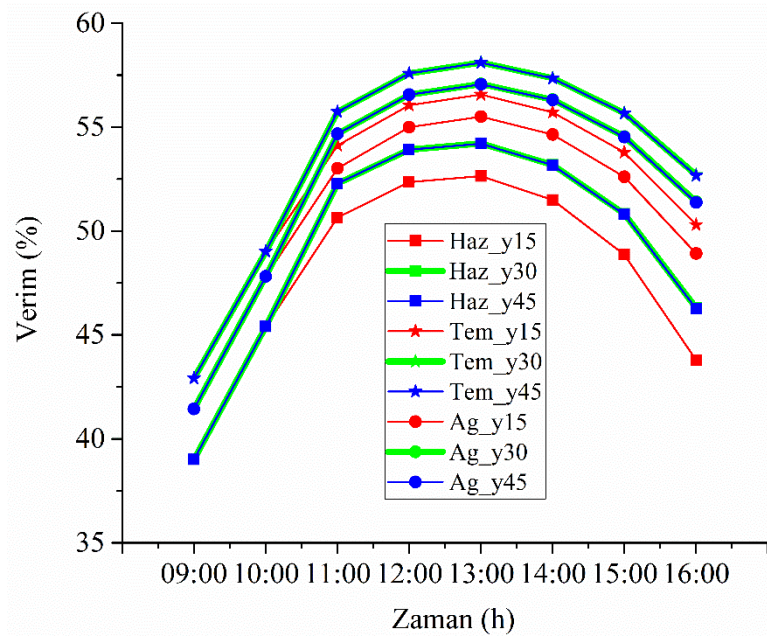
Şekil 3.19: Düz güneş kolektörü için farklı yüklerde yüke giden tank sıcaklığı (yardımcı ısıtıcı açık).

Şekil 3.21’de ise farklı yük ve aylar için yardımcı ısıtıcı değeri 85 °C olarak set edildiği durumda kolektörün günlük veriminin değişimi görülmektedir. Farklı yük değerlerinde ve simülasyon yapılan aylarda kolektör veriminin %50’yi geçtiği

görülmektedir. Maksimum kollektör verimi ise Temmuz ayında yük değeri 30 – 45 kg/h iken %58 olarak gerçekleşmiştir.en düşük verim değeri haziran ayında yük değeri 15 kg/h iken gerçekleşmiştir. Ağustos ayında yük değeri 30 – 45 kg/h iken elde edilen verim değeri %57 iken, Temmuz ayında yük değeri 15 kg/h olduğunda elde edilen verim ise %56,5 olarak elde edilmiştir. Burada elde edilen maksimum verim değerleri %52 - %58 arasında değişmektedir.

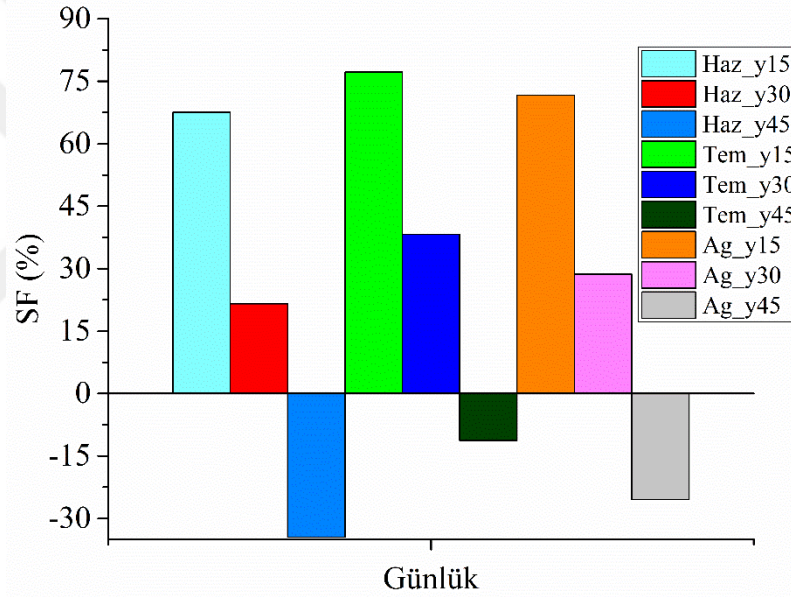


Şekil 3.20: Düz güneş kollektörü için farklı yüklerde faydalı ısı miktarı (yardımcı ısıtıcı açık).



Şekil 3.21: Düz güneş kollektörü için farklı yüklerde kollektör verimi (yardımcı ısıtıcı açık).

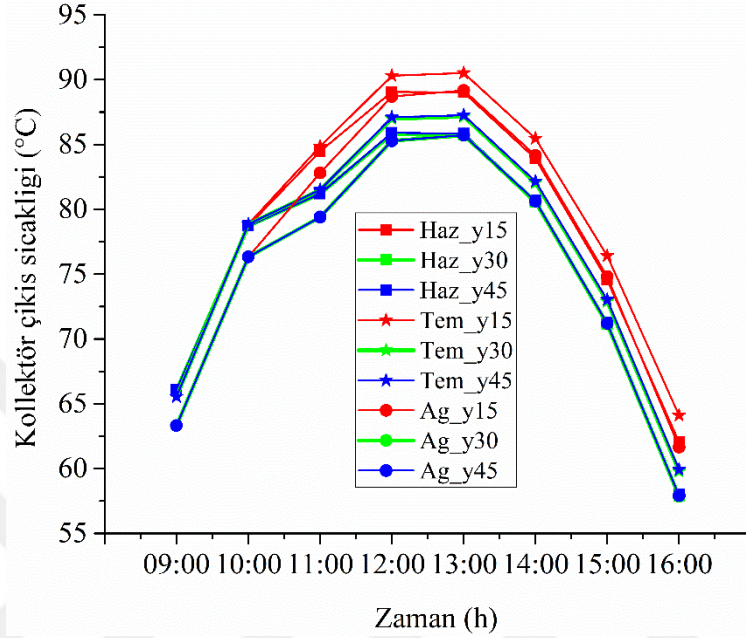
Düz güneş kolektöründe yardımcı ısıtıcının set değeri 85 °C olarak ayarlandığı durumda farklı yük ve aylar için güneşten faydalanma oranlarının verildiği grafik Şekil 3.22’de görülmektedir. Grafikten de görüldüğü gibi yük miktarı arttıkça güneşten faydalanma oranında ciddi derecede azalma meydana gelmektedir. Yük değeri 15 kg/h olduğunda Haziran – Temmuz – Ağustos aylarında elde edilen güneşten faydalanma oranları sırasıyla %67, %77 ve %71 olmaktadır. Yük değeri 30 kg/h olarak değiştirildiğinde ise bu oranlarda düşme meydana gelmekte ve yukarıdaki ay sırasına göre sırasıyla %21, %38 ve %28 olmaktadır. Yük değeri 45 kg/h olduğunda ise güneşten faydalanma oranı negatif değerlere düşmektedir. Bunun anlamı ise yardımcı ısıtıcıda kullanılan enerji miktarının kolektörden elde edilen enerji miktarından fazla olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 3.22: Düz güneş kolektörü için farklı yüklerde güneşten faydalanma oranı (yardımcı ısıtıcı açık).

Vakum tüplü güneş kolektör tiplerinde yardımcı ısıtıcı 85 °C’ye set edildiğinde farklı yük ve aylardaki kolektör çıkış sıcaklığının zamanla değişimi Şekil 3.23’te görülmektedir. Simülasyon yapılan günlerde yük arttıkça kolektör çıkış sıcaklığının değerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Yük değeri 15 kg/h iken Temmuz ayı içerisinde maksimum sıcaklık değeri olan 90 °C’ye ulaşmaktadır. Vakum tüplü güneş kolektöründe aynı koşullar altında yapılan analizlerde Haziran ve Ağustos aylarında elde edilen maksimum kolektör çıkış sıcaklık değerleri birbirine çok yakın çıkmıştır. Yük değeri 30 – 45 kg/h iken Haziran ve Ağustos aylarında en düşük sıcaklıklar elde edilmiştir. Bu durumda elde edilen maksimum sıcaklık değeri ise 85 °C olarak

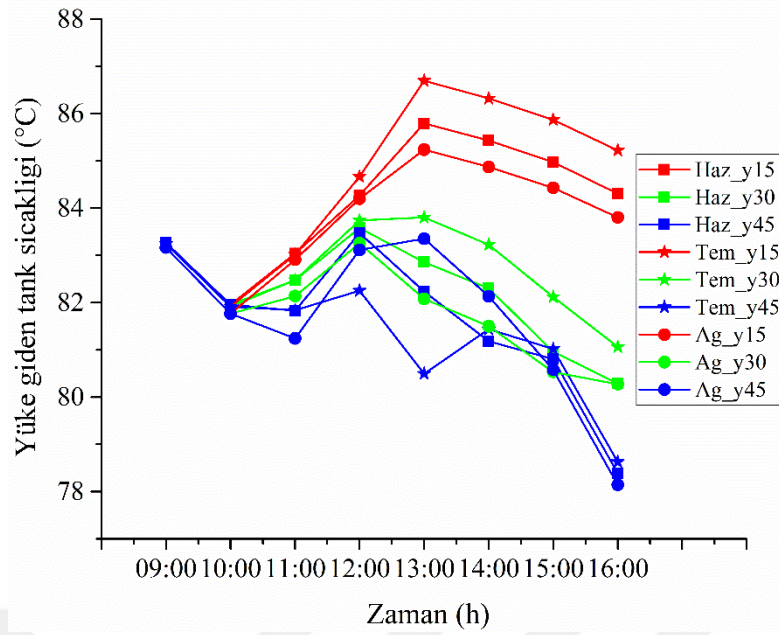
gerçekleşmiştir. Düz güneş kolektöründe yük değeri 15 kg/h iken Temmuz ayında elde edilen maksimum sıcaklık değeri de 85 °C olarak bulunmuştu. Vakum tüplü güneş kolektöründe daha fazla yük uygulandığında elde edilen maksimum sıcaklık değeri, düz güneş kolektöründe daha düşük yük debisinde elde edilebilmektedir.



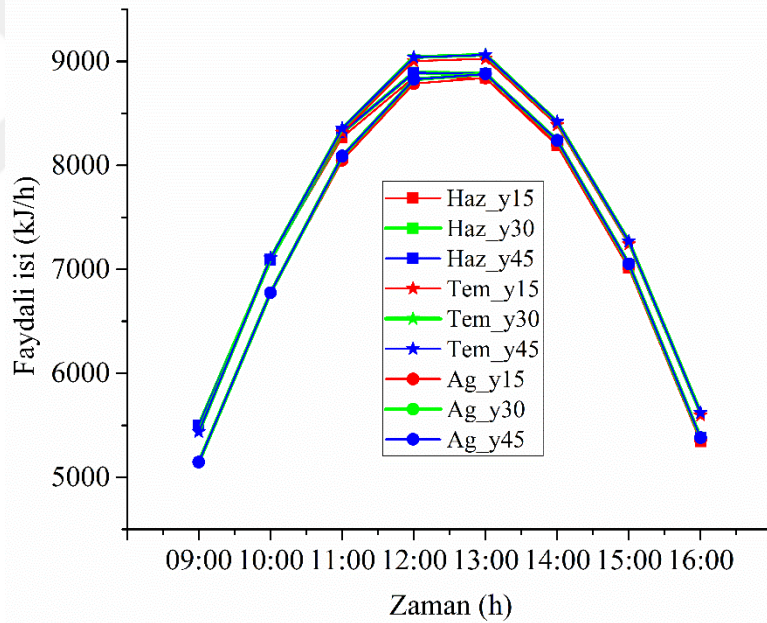
Şekil 3.23: Vakum tüplü güneş kolektörü için farklı yüklerde kolektör çıkış sıcaklığı (yardımcı ısıtıcı açık).

Şekil 3.24'te ise vakum tüplü güneş kolektöründe yardımcı ısıtıcı açık olduğu durumda farklı yük uygulanırsa yüke giden tank sıcaklığının aylara göre nasıl değiştiği görülmektedir. Düz güneş kolektörlerindeki gibi burada da elde edilen sonuçlar benzerdir. Yük değeri 15 kg/h iken sıcaklık değeri yaklaşık 85 °C'ye ulaşabilirken, yük arttığı durumda 45 kg/h iken yüke giden maksimum tank sıcaklığı yaklaşık olarak 82 – 83 °C'ye ulaşmaktadır.

Şekil 3.25'te yardımcı ısıtıcı açık olduğu durumda farklı yükler uygulanması halinde sistemdeki kolektörden elde edilen faydalı ısı miktarının aylara göre zamanla değişimi görülmektedir. Burada elde edilen faydalı ısı miktarı değeri 8900 – 9000 kJ/h aralığında aylara ve yük miktarına göre değişkenlik göstermektedir. Düz güneş kolektöründe ise maksimum elde edilen ısı değeri 8600 kJ/h değerindeydi. Haziran ayında ise maksimum 7700 kJ/h değeri elde edilmişti. Buradaki çıkan sonuçlara göre vakum tüplü güneş kolektörünün düz güneş kolektörüne göre aynı koşullar altında daha fazla ısı elde ettiği söylenebilir.



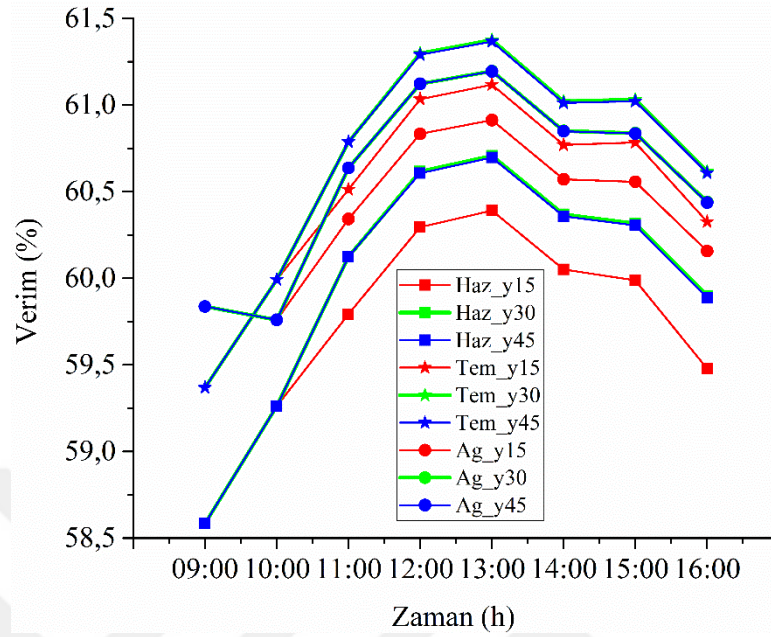
Şekil 3.24: Vakum tüplü güneş kolektörü için farklı yüklerde yüke giden tank sıcaklığı (yardımcı ısıtıcı açık).



Şekil 3.25: Vakum tüplü güneş kolektörü için farklı yüklerde faydalı ısı miktarı (yardımcı ısıtıcı açık).

Şekil 3.26'da ise farklı yük ve aylarda kolektör veriminin anlık olarak nasıl değiştiği görülmektedir. Temmuz ayında %61 verim ile maksimum değere ulaşabilmektedir. Diğer aylarda elde edilen maksimum kolektör verimi de %60 değerinin üzerinde kalmaktadır. Haziran ayında elde edilen kolektör verimleri, diğer aylardaki tüm yüklerde elde edilen kolektör veriminden daha düşük seviyede kalmıştır. Düz güneş kolektörlerinde aynı şartlarda elde edilen verim değerleri ise %52 - %58 arasındaydı.

Düz güneş kolektörü yerine vakum tüplü güneş kolektörü kullanılarak verim değerinde %2 - %9'luk artışlar sağlanabilir.

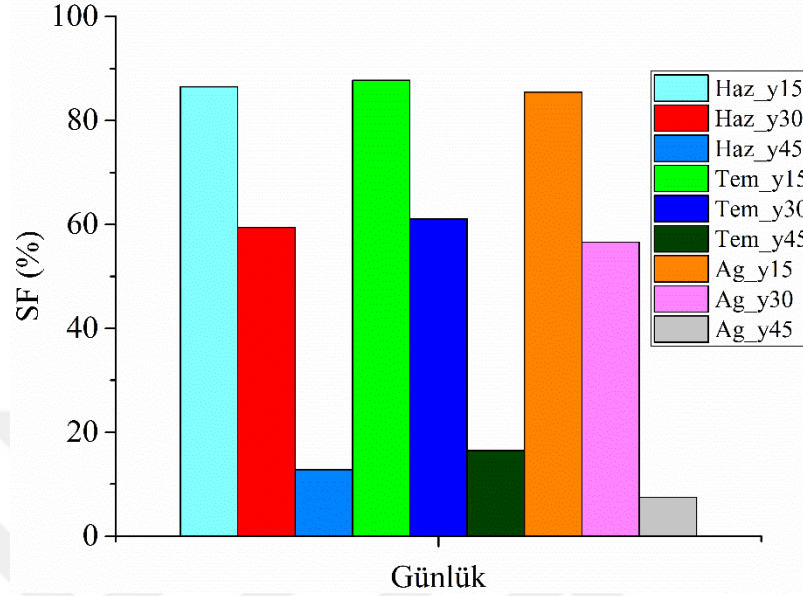


Şekil 3.26: Vakum tüplü güneş kolektörü için farklı yüklerde kolektör verimi (yardımcı ısıtıcı açık).

Yardımcı ısıtıcı açık olduğu durumda vakum tüplü güneş kolektör sisteminde farklı yük ve aylarda günlük olarak güneşten faydalanma oranları Şekil 3.27'de gösterilmiştir. Yük değeri arttıkça güneşten faydalanma oranı düşmektedir. Güneşten faydalanma oranı Temmuz ayında maksimum değeri olan %87'ye, yük değeri 15 kg/h iken ulaşmaktadır. Aynı ay içerisinde yük değeri 45 kg/h olduğunda ise bu oran %16'ya kadar gerilemektedir. Ağustos ayında yük değeri 15 – 20 – 30 kg/h iken elde edilen güneşten faydalanma oranı değerleri sırasıyla %85,4 - %56,6 - %7,4 olarak gerçekleşmiştir. Haziran-Temmuz-Ağustos aylarında ise yük değeri 30 kg/h değerinde iken elde edilen güneşten faydalanma oranı değerleri sırasıyla %59,4 - %61,1 - %56,6 olmuştur. Haziran ayında yük değeri 30 kg/h iken düz güneş kolektöründe yaklaşık %21 güneşten faydalanma oranı varken, vakum tüplü güneş kolektöründe ise aynı ay ve debi değerinde yaklaşık %59 güneşten faydalanma oranı değeri bulunmuştur. Düz güneş kolektöründeki sonuçlarla karşılaştırıldığında vakum tüplü güneş kolektörünün daha üstün olduğu görülmektedir.

Buraya kadar yapılan çalışmalarda yaz aylarında yapılan birer günlük çalışmaların analizlerinden bahsedilmiştir. Bu kısımda ise yaz boyunca sistemin çalışır durumda olduğu düşünülerek, yükten dönüş hattı suyu sıcaklığının 75 °C olduğu kabul edilerek

sistem çalıştırılmıştır. Ayrıca tank kısmında tankın sıcaklığı hem 85 °C hem de 90 °C'ye set edilerek farklı yükler altında (15 – 30 – 45 kg/h) sistemin güneşten faydalanma oranının nasıl değişeceği gözlemlenmeye çalışılmıştır.



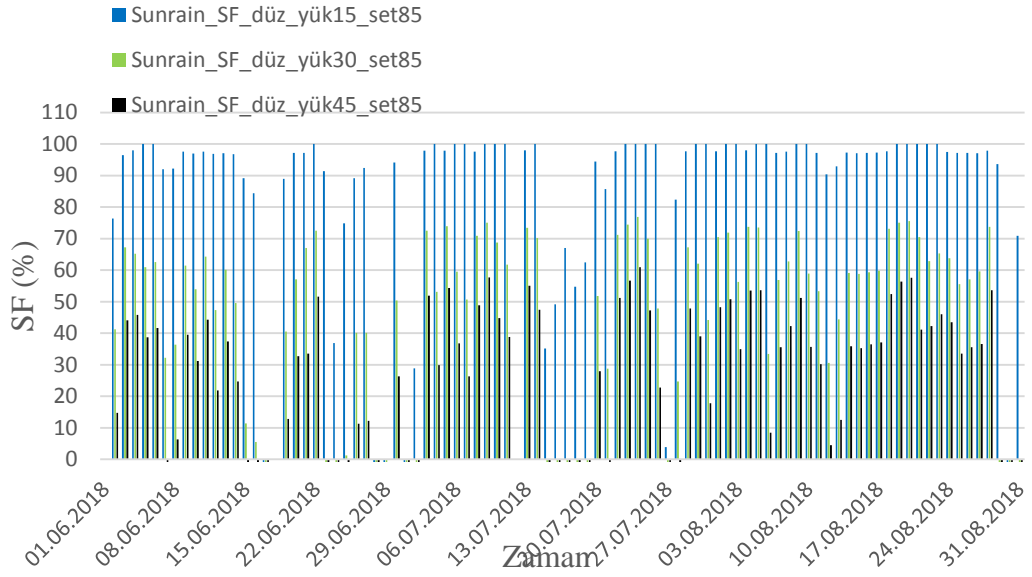
Şekil 3.27: Vakum tüplü güneş kolektörü için farklı yüklerde güneşten faydalanma oranı (yardımcı ısıtıcı açık).

Şekil 3.28 ve Şekil 3.29'da tank sıcaklığı 85 °C'ye set edildiği zaman düz ve vakum tüplü güneş kolektörlerinin güneşten faydalanma oranlarının zamanla nasıl değiştiği görülmektedir. Vakum tüplü güneş kolektöründe birkaç gün dışında güneşten faydalanma oranı tüm yükler için neredeyse %80'in üzerindeyken, düz güneş kolektöründe sadece yük 15 kg/h iken bazı günler için %80'in üzerine çıktığı görülmektedir.

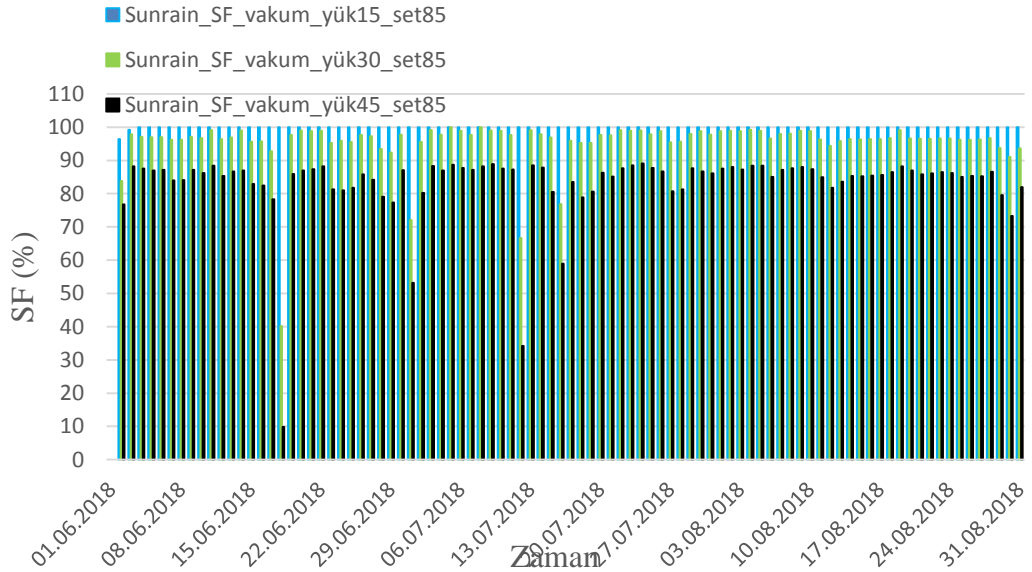
Şekil 3.30 ve Şekil 3.31'de ise tank sıcaklığı 90 °C'ye set edildiği durumda değişimin nasıl olduğu görülmektedir. Temmuz ayında vakum tüplü güneş kolektörlerinde yük değeri 15 kg/h iken faydalanma oranı %100 iken yük değeri 30 kg/h ve 45 kg/h olduğunda faydalanma oranı yaklaşık olarak sırasıyla %90 ve %75 civarında olmaktadır. Düz güneş kolektöründe ise yük değeri 45 kg/h olduğunda çoğu günde sistemi karşılamamaktadır. Temmuz ayının sonuna doğru sadece bir günde güneşten faydalanma oranı %40 değerlerine ulaşabilmektedir.

Şekil 3.32 ve Şekil 3.33'te tank sıcaklığının 85 °C ve 90 °C'lere set edildiği durumlarda yaz boyunca elde edilen toplam güneşten faydalanma oranlarının yük değerine göre nasıl değiştiği görülmektedir. Grafik incelendiğinde yük değeri arttıkça

ve tankın set değeri arttırıldığı durumlarda güneşten faydalanma oranının düştüğü görülmektedir.



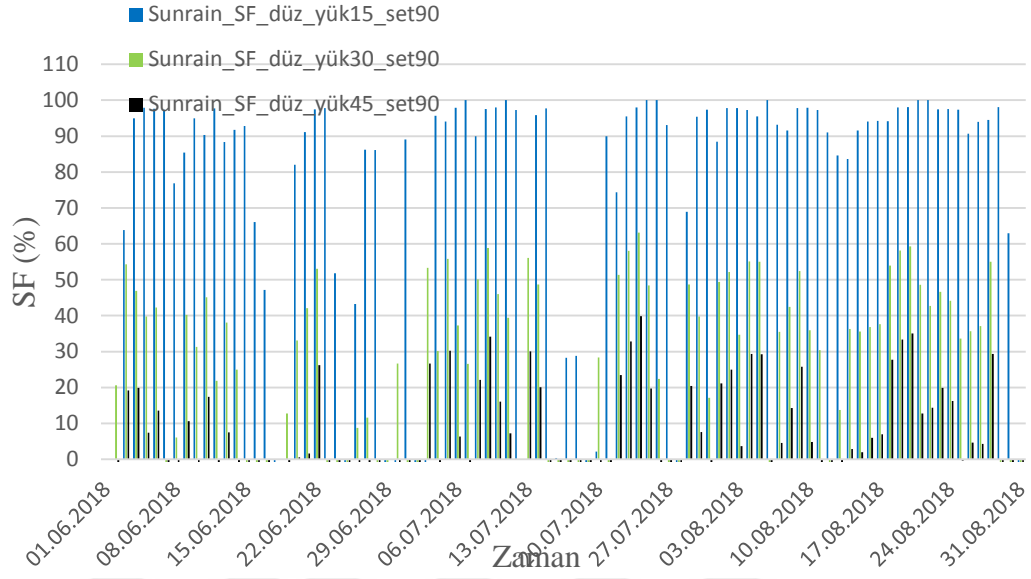
Şekil 3.28: Düz güneş kolektörü için farklı yüklerde güneşten faydalanma oranı (yardımcı ısıtıcı açık-3 aylık).



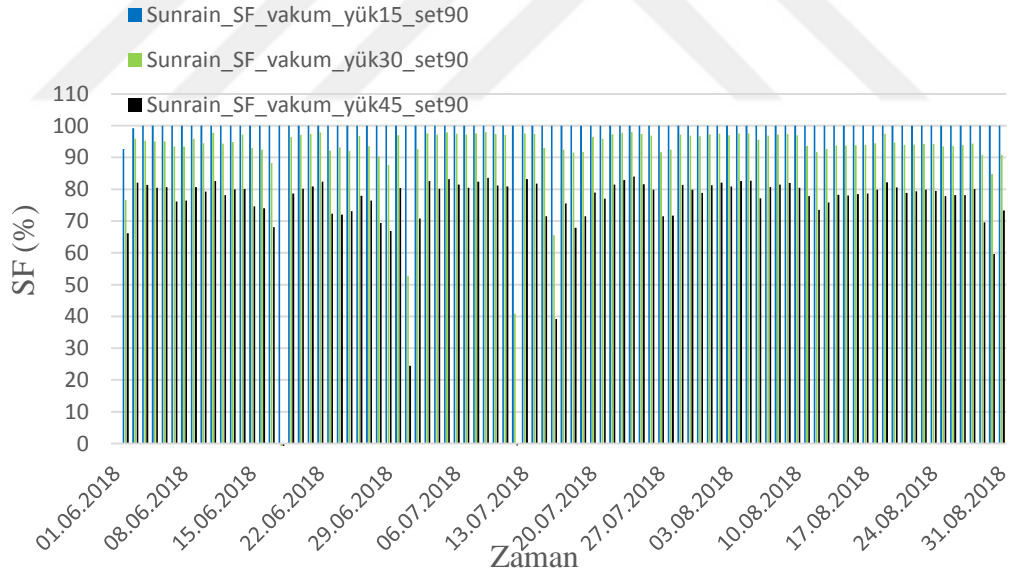
Şekil 3.29: Vakum tüplü güneş kolektörü için farklı yüklerde güneşten faydalanma oranı (yardımcı ısıtıcı açık-3 aylık).

Aynı zamanda aynı yüklerde düz ve vakum tüplü güneş kolektörleri kıyaslandığında da vakum tüplü güneş kolektörünün üstünlüğü görülmektedir. 85 °C'ye set edilen sistemde yük değeri 15 kg/h iken düz güneş kolektöründe oran %90 değerindeyken vakum tüplü güneş kolektöründe ise %99 seviyesindedir. Yük değeri 15 kg/h değerinden 30 kg/h değerine çıkarıldığında ise vakum tüplü güneş kolektöründe az

miktarda bir değişme görölmesine rağmen düz güneş kolektöründe ciddi bir azalma meydana gelmektedir.



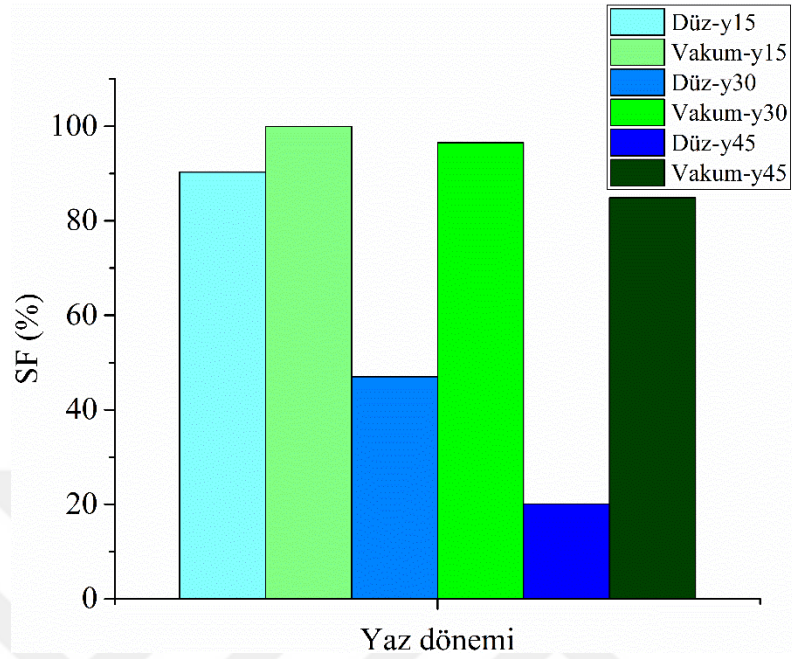
Şekil 3.30: Düz güneş kolektörü için farklı yüklerde güneşten faydalanma oranı (yardımcı ısıtıcı açık-3 aylık).



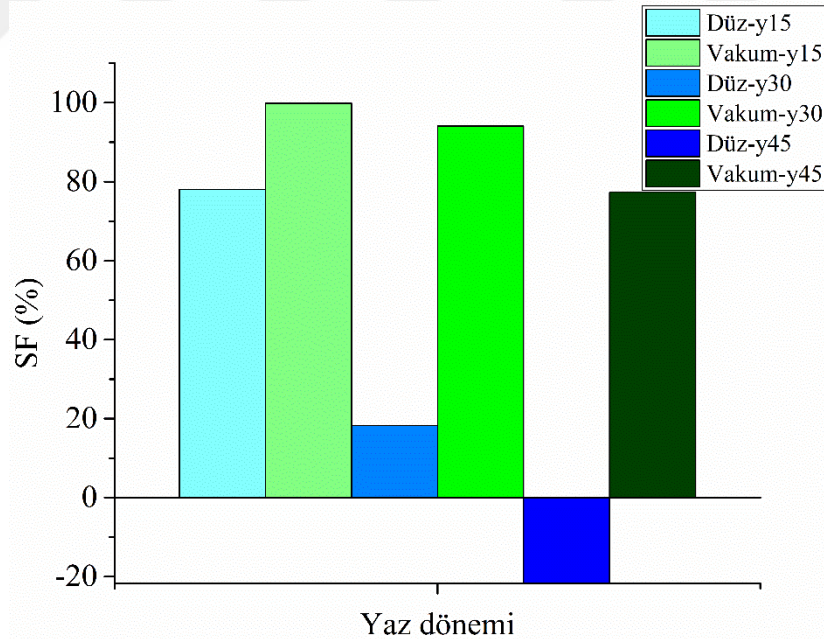
Şekil 3.31: Vakum tüplü güneş kolektörü için farklı yüklerde güneşten faydalanma oranı (yardımcı ısıtıcı açık-3 aylık).

Yük değeri 30 kg/h değerinde vakum tüplünün güneşten faydalanma oranı %96 değerlerinde iken düz güneş kolektöründe ise bu oran %47 seviyesindedir. Ayrıca tank sıcaklığının 90 °C'ye set edildiği durumda yük değeri 45 kg/h olduğunda düz güneş kolektöründe oranın negatif çıktığı görölmektedir. Burada sistemin çalışması sırasında 3 aylık zaman diliminde kolektörden elde edilen toplam enerji miktarı değeri

yardımcı ısıtıcıdan elde edilen enerji miktarı değerinden daha düşük miktarda olduğu durumlarda negatif sonuçlar görülmektedir.



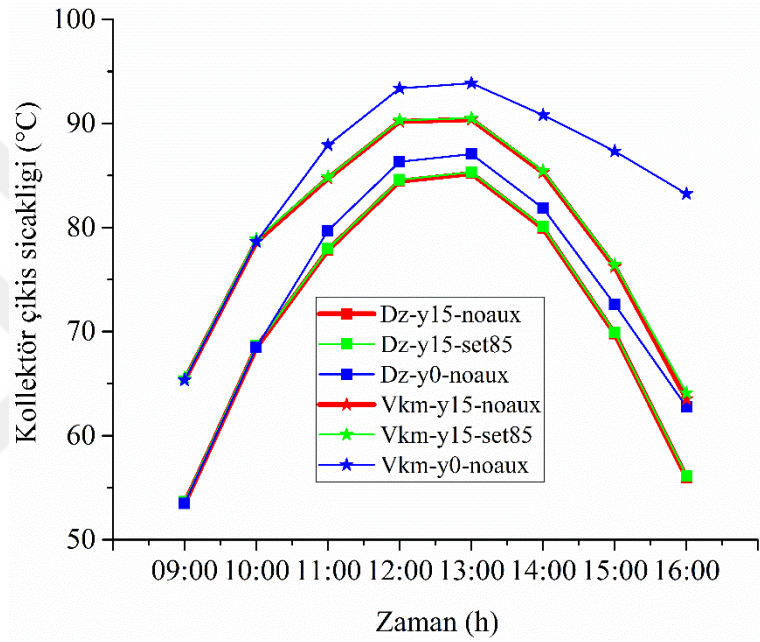
Şekil 3.32: Yardımcı ısıtıcı 85 °C değerine set edildiğinde güneşten faydalanma oranı yardımcı ısıtıcı.



Şekil 3.33: Yardımcı ısıtıcı 90 °C değerine set edildiğinde güneşten faydalanma oranı yardımcı ısıtıcı.

Yapılan analizlerde kollektör çıkış sıcaklık değerlerinin farklı simülasyonlarda nasıl değiştiği ile ilgili grafik Şekil 3.34'te görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde vakum tüplü kollektörlerin düz kollektörlere göre üstün olduğu görülmektedir. Yüksüz ve

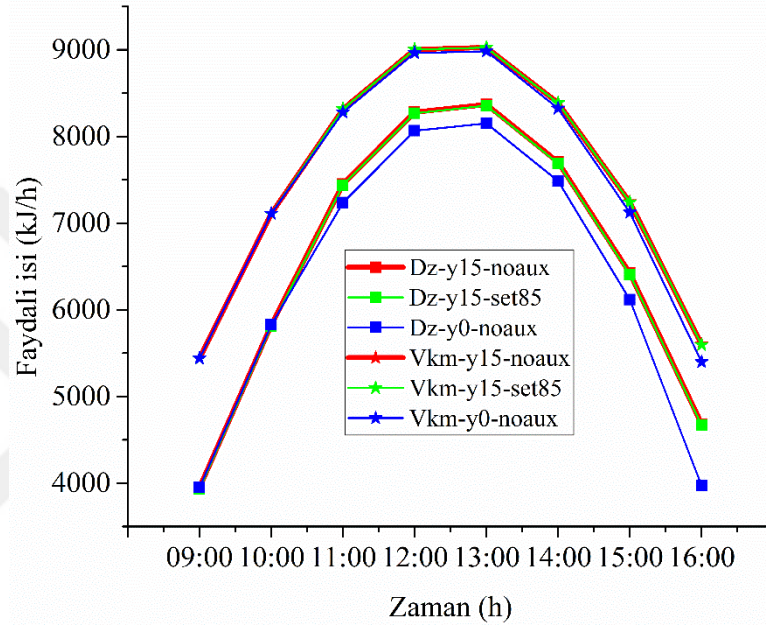
yardımcı ısıtıcı kapalı iken düz kollektörde maksimum sıcaklık değeri yaklaşık 87 °C'ye ulaşırken vakum tüplü güneş kollektörlerinde aynı durumda maksimum kollektör çıkış sıcaklığı ise yaklaşık 94 °C'ye ulaşmaktadır. Aynı kollektör tiplerinde ise yüklü ve yüksüz durumlar karşılaştırıldığında yüksüz durumda daha yüksek sıcaklıklara ulaşmaktadır. Vakum tüplü güneş kollektörlerinde yük değeri 15 kg/h olduğu durumda kollektör çıkış sıcaklığı maksimum 90 °C'ye ulaşmaktadır. Yüklü durumda yardımcı ısıtıcının açık ya da kapalı olması kollektör çıkış sıcaklık değerine pek faz etki etmemektedir.



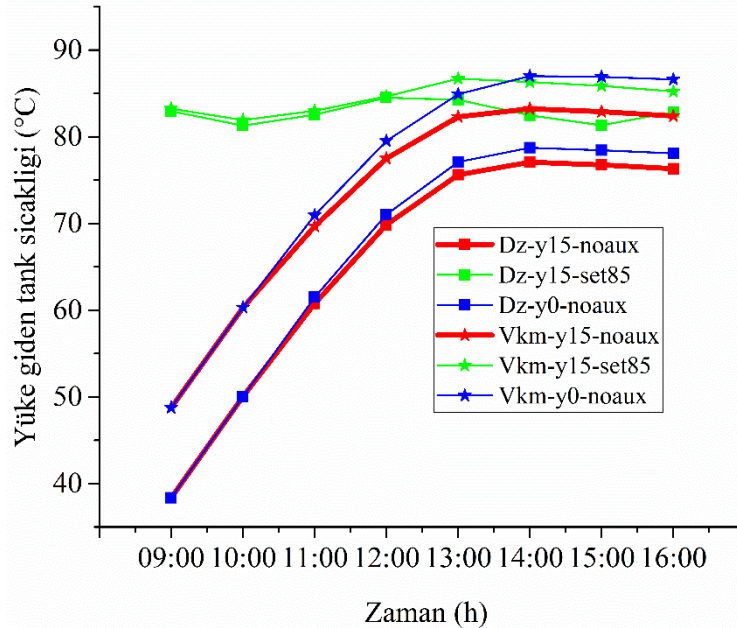
Şekil 3.34: Aynı gün için kollektör çıkış sıcaklığının değişimi.

Şekil 3.35'te ise güneş kollektörü tarafından elde edilen faydalı ısı miktarının aynı gün içerisinde farklı simülasyonlara göre değişimi görülmektedir. Vakum tüplü güneş kollektörleriyle elde edilen faydalı ısı miktarı düz güneş kollektörleriyle elde edilen faydalı ısı miktarından daha fazla olmaktadır. Vakum tüplü güneş kollektörlerinde yüklü ve yüksüz durumlar için birbirine yakın sonuçlar elde edilirken, düz güneş kollektörlerinde yüklü durumda elde edilen faydalı ısı miktarı yüksüz duruma göre elde edilen faydalı ısı miktarından daha fazla olmaktadır. Düz güneş kollektörlerinde yüklü durumda elde edilen maksimum faydalı ısı miktarı yaklaşık olarak 8400 kJ/h iken, yüksüz durumda 8150 kJ/h değerinde olmaktadır. Vakum tüplü güneş kollektörlerinde ise maksimum faydalı ısı miktarı yaklaşık olarak 9000 kJ/h değerine ulaşmaktadır. Şekil 3.36'da ise aynı gün içerisinde farklı simülasyonlara göre tanktan yüke giden akışkanın sıcaklığının değişimi görülmektedir. Bu analiz sonucunda da

vakum tüplü kollektörlerde elde edilen sıcaklık değeri düz güneş kollektörlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Yardımcı ısıtıcı 85 °C'ye ayarlandığında sıcaklık değerleri bu sıcaklığa yakın bir seyir içerisinde olmaktadır. Yüklü ve yüksüz durumlarda ise sabahın erken saatlerinde düz güneş kollektöründe 35 °C, vakum tüplü güneş kollektöründe ise 50 °C sıcaklıklarda olan akışkan sıcaklığı, günün sonlarına doğru düz güneş kollektöründe 77 °C – 78 °C, vakum tüplü güneş kollektöründe ise 83 °C – 86 °C sıcaklık değerlerine ulaşabilmektedir.

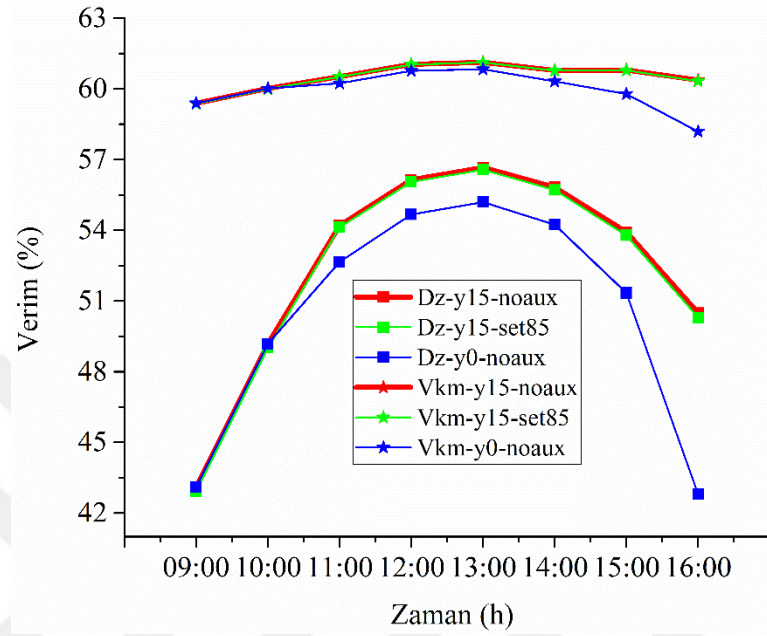


Şekil 3.35: Aynı gün için faydalı ısı miktarının değişimi.



Şekil 3.36: Aynı gün için yüke giden tank sıcaklığının değişimi.

Şekil 3.37’de aynı gün içerisinde kollektör veriminin zamanla değişimi görülmektedir. Vakum tüplü güneş kollektörlerinde maksimum verim %60 değerlerine ulaşmaktadır. Düz güneş kollektörlerinde ise maksimum verim yüklü durumda yaklaşık %56 değerlerine, yüksüz durumda ise maksimum %55 değerlerine ulaşabilmektedir.



Şekil 3.37: Aynı gün için kollektörün verim değişimi.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemizde ve dünyada nüfusun artması ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte ihtiyaç duyulan enerji miktarı artmaktadır. Giriş bölümünde de bahsedildiği gibi ülkemizde ve dünyada tüketilen enerjinin büyük bir çoğunluğu fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Ülkemizin ihtiyacı olan enerjinin karşılanabilmesi için gerekli olan fosil yakıtların çoğu ise ithal edilmektedir [31]. Hem dışa bağımlı oluşumuz hem de fosil yakıt tüketimi sonrasında çevreye salınan zararlı emisyonlardan dolayı, yenilenebilir enerji kaynaklarının amacına uygun ve yüksek verimde kullanılması ve bunun teşvik edilmesi son derece önemlidir. Bu çalışmada ise güneş enerjisinden faydalanarak vakum tüplü güneş kolektörlerinin absorpsiyonlu soğutma işleminde kullanılabilme potansiyeli araştırılmıştır. Hem günlük analizler hem de yaz sezonu boyunca sistemin çalışması sonucunda elde edilen veriler analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre hem vakum tüplü güneş kolektörlerinde hem de düz güneş kolektörlerinde ne kadar güneş enerjisinden faydalanılabileceği sonucu ortaya çıkarılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- 3 aylık simülasyon sonuçlarında güneşten faydalanma oranı uygulanan farklı debi yük değerlerine göre 15 – 30 – 45 kg/h farklılıklar göstermektedir. Yük değeri arttığında güneşten faydalanma oranı düşmektedir. Aynı zamanda düz ve vakum tüplü güneş kolektörleri kendi aralarında kıyaslandığında grafiklerden de görüldüğü gibi vakum tüplü güneş kolektörleri daha üstündür. Yük değeri 45 kg/h olduğunda düz güneş kolektörlerinde güneşten faydalanma oranı değeri maksimum %60,9 değerlerinde iken, vakum tüplü güneş kolektöründe bu değer yaklaşık olarak %89,1 lere ulaşmaktadır. Tankta set edilen sıcaklık değeri 85 °C veya 90 °C olarak ayarlanmıştır. Set sıcaklık değerine göre de güneşten faydalanma oranı değişmektedir. Set değeri 90 °C olduğunda 85 °C olan sisteme göre güneşten faydalanma oranı düşmektedir. 45 kg/h yük değerinde vakum tüplü güneş kolektöründe

güneşten faydalanma oranı maksimum %84 değerlerine ulaşılabilmeyle, düz güneş kolektörlerinde bu oran yaklaşık olarak maksimum %40 seviyesinde kalmaktadır. Yük ve sıcaklık set değeri arttıkça vakum tüplü güneş kolektörlerinin üstünlüğü bariz bir şekilde ortaya çıkmaktadır.

- 3 aylık simülasyon sonuçlarında set değeri 85 °C olduğunda vakum tüplü güneş kolektörlerinde farklı yük değerlerine göre 15 – 30 – 45 kg/h elde edilen güneşten faydalanma oranı değerleri sırasıyla %99 - %96 - %84 olmaktadır. Düz güneş kolektörlerinde ise sırayla %90 - %47 - %20 değerleri elde edilmektedir. Burada da vakum tüplü güneş kolektörlerinin düz güneş kolektörlerine göre üstün olduğu görülmektedir. Aynı zamanda yük değeri arttıkça güneşten faydalanma oranı değerinin de düştüğü gözlenmektedir. Bu analizde set değeri 90 °C çıkarıldığında ise güneşten faydalanma oranında azalmalar meydana gelmektedir. Düz güneş kolektöründe yük değeri 15 kg/h iken %78 olan güneşten faydalanma oranı, yük değeri 30 kg/h değerine getirildiğinde %18 değerlerine düşmektedir. Yük değeri 45 kg/h olduğunda güneşten faydalanma oranı negatif değer almaktadır. Bunun anlamı, sistemin çalışması sırasında kolektörden elde edilen faydalı ısı miktarının, yardımcı ısıtıcıdan elde edilen ısı miktarından daha düşük olmasıdır. Vakum tüplü güneş kolektöründe set değeri 90 °C olduğunda ise 15 – 30 – 45 kg/h yük debilerine karşılık gelen güneş faydalanma oranları %99 - %94 - %77 olarak gerçekleşmektedir. Aynı kolektör tipinde yük değerinin artması sonucunda güneş faydalanma oranı değerinde azalmalar meydana gelmektedir. Vakum ve düz güneş kolektörleri karşılaştırıldığında yük değeri arttıkça vakum tüplü kolektörün daha iyi performans ortaya koyduğu görülmektedir.
- Yapılan günlük analiz sonuçları incelendiğinde kolektör çıkış sıcaklığı değerinin yük değeri arttırıldığında düşmeye başladığı görülmektedir. Analizlerde Temmuz ayında diğer aylara göre daha yüksek sıcaklığa ulaşıldığı rapor edilmiştir. Vakum tüplü güneş kolektöründe yük uygulanmadığı durumda maksimum kolektör çıkış sıcaklık değeri yaklaşık olarak 94 °C'ye ulaşırken, düz güneş kolektöründe benzer durum için ulaşılan maksimum sıcaklık değeri yaklaşık 87 °C dir.

Analiz sonuçlarında yüksüz ve yüklü durumlar karşılaştırıldığında yüklü durumda elde edilen sıcaklık değeri yüksüz duruma göre daha düşük sıcaklık değerinde olmaktadır. Vakum tüplü güneş kollektöründe yük değeri 15 kg/h olduğunda elde edilen maksimum kollektör çıkış sıcaklık değeri yaklaşık olarak 90 °C olmaktadır. Yük uygulanırken yardımcı ısıtıcının açık yada kapalı olması kollektör çıkış sıcaklığına pek faz etki etmemektedir.

- Günlük analiz sonuçlarında kollektörden elde edilen faydalı ısı miktarının durumu incelendiğinde temmuz ayında daha fazla faydalı ısı miktarının elde edildiği görülmektedir. Yük değeri 30 – 45 kg/h değerlerinde birbirine yakın sonuçlar elde edilirken yük 15 kg/h değerine düştüğünde elde edilen faydalı ısı miktarı az da olsa düşmektedir. Vakum tüplü güneş kollektörü ve düz güneş kollektörü kıyaslandığında aynı gün için yapılan analiz sonuçları da incelendiğinde vakum tüplü güneş kollektöründen elde edilen maksimum faydalı ısı miktarı yaklaşık 9000 kJ/h iken, düz güneş kollektöründen elde edilen faydalı ısı miktarı ise maksimum 8350 kJ/h civarında olmaktadır. Vakum tüplü güneş kollektöründe yük olsun veya olmasın elde edilen faydalı ısı miktarı neredeyse aynı sonuçlar vermektedir. Düz güneş kollektöründe ise yüksüz durumda elde edilen faydalı ısı miktarı değeri yüklü durumda elde edilen faydalı ısı miktarından daha düşük seviye kalmaktadır.
- Günlük analizlerde elde edilen kollektör verimi de faydalı ısı miktarındaki benzerdir. Yük değeri 30 – 45 kg/h iken elde edilen verim değeri aynı olmaktadır fakat yük değeri 15 kg/h değerine çekildiğinde verim değeri düşmektedir. Burada da Temmuz ayında daha yüksek verime ulaşılmaktadır. Temmuz ayında yük değeri 30 – 45 kg/h iken elde edilen maksimum verim %61,3 değerinde iken, aynı ay içerisinde yük değeri 15 kg/h olduğunda elde edilen maksimum verim değeri ise %61,1 dir. Elde edilen maksimum verim değerleri yüklü durumlarda olmaktadır. Vakum tüplü güneş kollektörleri ve düz güneş kollektörlerinin verimleri karşılaştırıldığında vakum tüplüde yüklü (15 kg/h) / yüksüz durumda elde edilen maksimum verim değeri yaklaşık %61,1 civarında iken, düz güneş kollektöründe elde edilen maksimum

verim ise yüklü (15 kg/h) durumda %56,5 olmaktadır. Yüklü ve yüksüz durumda elde edilen verim değerlerine bakıldığında yüksüz durumda elde edilen verim değeri daha düşük seviyede kalmaktadır. Düz güneş kolektöründe yüksüz durumda elde edilen maksimum kolektör verimi ise %55,1 dir.

- Günlük analizde güneşten faydalanma oranı değeri yardımcı ısıtıcı açık olduğunda hesaplanmıştır ve elde edilen sonuçlar incelendiğinde vakum tüplü güneş kolektörlerinde daha yüksek oranlara çıkıldığı tespit edilmiştir. Düz güneş kolektörlerinde Temmuz ayında yük değeri 15 kg/h iken maksimum değeri olan %77,2 ye ulaşırken, vakum tüplü güneş kolektöründe ise aynı yük ve ay içinde maksimum değeri %87,7 ye ulaşmaktadır. Aynı ay içerisinde farklı yük durumları incelendiğinde de yük değeri arttıkça güneşten faydalanma oranının düştüğü görülmüştür. Temmuz ayında yük değeri 15 – 30 – 45 kg/h iken vakum tüplü güneş kolektörlerinde elde edilen güneşten faydalanma oranı değerleri sırasıyla %87,7 %61,1 ve %16,5 iken düz güneş kolektöründe ise bu değerler sırasıyla %77,2 %38,2 ve %1,13 olmaktadır. Güneşten faydalanma oranının negatif olması yukarıdaki maddede açıklanmıştır.
- Günlük analiz sonuçlarında yüke giden tank sıcaklığı değeri düz güneş kolektöründe vakum tüplü güneş kolektörüne göre daha düşük seviyede kalmaktadır. Tankın set değeri 85 °C'ye ayarlanan sistemde vakum ve düz güneş kolektörleri 12:00'ye kadar neredeyse aynı iken bu saatten sonra düz güneş kolektöründeki sıcaklık değeri vakuma göre daha düşük seviyede devam etmektedir. Yüksüz durumda düz güneş kolektörüyle elde edilen yüke giden tankın maksimum sıcaklık değeri 78,7 °C iken, vakum tüplü güneş kolektöründe ise 87 °C dir.

Bu analizde vakum tüplü ve düz güneş kolektörleri arasında yüklü- yüksüz ve yardımcı ısıtıcının açık ve kapalı olması durumlarına göre karşılaştırma yapılarak 3 aylık yaz sezonu boyunca ve günlük analiz sonucunda ortaya çıkan sonuçlar Antalya ilimiz için irdelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, özellikle yük miktarının artmasıyla birlikte vakum tüplü güneş kolektörlerinin düz güneş kolektörlerine göre daha yüksek oranda güneşten faydalanılabildiğini bize göstermiştir. Farklı iller için de bu

Çalışma yapılarak hangi illerin bu çalışma için uygun olup olmadığı sonucu ortaya konulabilir. Aynı zamanda farklı parametrelere göre (kollektör alanı, kollektör debisi, tank hacmi, vb) analizler de ortaya konularak optimum çalışma şartları belirlenebilir. Böylece dışa bağımlı olduğumuz fosil yakıtlar yerine yenilebilir enerji kaynaklarının etkin kullanımı sağlanarak ülkemiz ekonomisine katkıda bulunabiliriz.



KAYNAKLAR

- [1] **BP Statistical Review of World Energy.** (June 2018). Erişim: 11 Haziran 2019, <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf>
- [2] **Dünya ve Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü.** (Ocak 2017). Erişim: 11 Haziran 2019, https://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FEnerji%20ve%20Tabii%20Kaynaklar%20G%C3%B6r%C3%BCn%C3%BCm%C3%BC%2FSay%2Fi_15.pdf
- [3] **Daşkın, M. & Aksoy, İ. G.,** (2014). İklimlendirme Amaçlı Güneş Enerjisi Destekli Bir Absorpsiyonlu Soğutma Sisteminin Simülasyonu, *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 4 (1), 52-65.
- [4] **Kent, E. F. & Kaptan, İ. N.,** (2009). İzmir İlindeki Elli yataklı Bir Otel için Güneş Enerjisi Destekli Isıtma ve Absorpsiyonlu Soğutma Sisteminin Teorik İncelenmesi, *IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, (ss. 163-170). İzmir : M.M.O, Mayıs 6-9.
- [5] **Karaçavuş, B.,** (2012). Güneş Enerjili Su Isıtma Sisteminin Optimizasyonu, *Tesisat Mühendisliği*, 128, 71-78.
- [6] **Ghaddar, N. K., Shihab, M., Bdeir, F.,** (1997). Modelling and Simulation of Solar Absorption System Performance in Beirut. *Renewable Energy*, 10, 539-559., doi:10.1016/S0960-1481(96)00039-0.
- [7] **Kuyumcu, M. E., Şahin, H. E., Yumrutaş, R., İmal, M.,** (2015). Kahramanmaraş kentinde Güneş Enerjisi Destekli Absorpsiyonlu Soğutma Sistemi Kullanılarak Bir Apartman Dairesinin Soğutulması. *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18 (2), 25-32.
- [8] **Yakut, A. K., Şencan Şahin, A., Selbaş, R., Dikmen, E., Görgülü, B., Dostuçok, İ., Kutlu, S.,** (2013). Güneş Enerji Destekli Absorpsiyonlu Soğutma Sisteminin Termodinamik İncelenmesi. *Soğutma Dünyası*, 60, 76-81.
- [9] **Hilali, İ., Okuyan, C., Aktacir, M. A.,** (1995). Şanlıurfa İlinde Güneş Enerjisi Destekli Absorpsiyonlu Soğutma Sisteminin İncelenmesi, *10. Ulusal ısı Bilimi ve Tekniği Kongresi*, (ss. 323-332). Ankara : Gazi Üniversitesi, Eylül 6-8.
- [10] **Yalçın, R. Ç.,** (2012). *Bir Absorpsiyonlu Soğutma Sisteminin Isıl Analizi ve Tasarımı* (Yüksek lisans tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [11] **Ayompe, L. M., Duffy, A., McCormack, S. J., Conlon, M.,** (2011). Validated TRNSYS model for forced circulation solar water heating systems with flat plate and heat pipe evacuated tube collectors. *Applied Thermal Engineering*, 31, 1536-1542., doi:10.1016/j.applthermaleng.2011.01.046.

- [12] **Naranjo-Mendoza, C., Rouse, D. R., Quesada, G.,** (2013). Modeling of a Solar Absorption cooling system for Guayaquil Ecuador, *2nd International Conference on Renewable Energy Research and Applications*, (ss.853-856). Madrid : ICRERA, October 20-23.
- [13] **Azimi, M., Mirjavadi, S. S., Mohammadkarim, A.,** (2016). Simulation and Optimization of Vacuum Tube Solar Collector Water Heating System in Iran. *Journal of Science and Engineering*, 07 (01), 001-019.
- [14] **Utham, G., Agravat, S. M., Jani, B., Bhutka, J.,** (2016). Modelling Transient Simulation and Economic Analysis of Solar Thermal Based Air Conditioning System in Gujarat. *Smart Grid and Renewable Energy*, 7, 233-246., doi:10.4236/sgre.2016.78018.
- [15] **Asim, M., Dewsbury, J., Kanan, S.,** (2016). TRNSYS Simulation of a Solar Cooling System for the Hot Climate of Pakistan. *Energy Procedia*, 91, 702-706., doi:10.1016/j.egypro.2016.06.233.
- [16] **Sokhansefat, T., Mohammadi, D., Kasaeian, A., Mahmoudi, A. R.,** (2017). Simulation and Parametric Study of a 5-ton Absorption Cooling System in Tehran. *Energy Conversion and Management*, 148, 339-351., doi:10.1016/j.enconman.2017.05.070.
- [17] **Chen, J. F., Dai, Y. J., Wang, R. Z.,** (2017). Experimental and Analytical Study on an air-cooled single effect LiBr-H₂O absorption chiller driven by evacuated glass tube solar collector for cooling application in residential buildings. *Solar Energy*, 151, 110-118., doi:10.1016/j.solener.2017.05.029.
- [18] **Naik, B. K., Varshney, A., Muthukumar, P., Somayaji, C.,** (2016). Modelling and performance analysis of U tube evacuated tube solar collector using different working fluids. *Energy Procedia*, 90, 227-237., doi:10.1016/j.egypro.2016.11.189.
- [19] **Assilzadeh, F., Kalogirou, S. A., Ali, Y., Sopian, K.,** (2005). Simulation and optimization of a LiBr solar absorption cooling system with evacuated tube collectors. *Renewable Energy*, 30, 1143-1159., doi.org/10.1016/j.renene.2004.09.017.
- [20] **Arabkoohsar, A. & Andresen, G. B.,** (2017). Supporting district heating and cooling networks with a bifunctional solar assisted absorption chiller. *Energy Conversion and Management*, 148, 184-196., doi: 10.1016/j.enconman.2017.06.004.
- [21] **Duffie, J. A. & Beckman, W. A.,** (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*, New Jersey, Wiley.
- [22] **Yiğit, A. & Atmaca, İ.,** (2010). *Güneş Enerjisi*, Bursa, Alfa-Aktüel.
- [23] **Sarbu, I. & Sebarchievici, C.,** (2017). *Solar Heating and Cooling Systems Fundamentals, Experiments and Applications*, United Kingdom, Academic Press.
- [24] **Goswami, D. Y.,** (2015). *Principles of Solar Engineering*, London, CRC Press.
- [25] **Kalogirou, S. A.,** (2014). *Solar Energy Engineering Processes and Systems*, United Kingdom, Academic Press.
- [26] **SS-17 Vakum Tüplü Basınçlı Direk Sirkülasyonlu Kollektör.** (t.y.). Erişim: 11 Haziran 2019, <http://www.sunmax.com.tr/index.php?t=kt&i=5>
- [27] **Çengel, Y. A. & Boles, M. A.,** (2015). *An Engineering Approach Thermodynamics*, New York, McGrawHill Education.

[28] **TRNSYS 18.** (2018). Erişim: 11 Haziran 2019, <http://sel.me.wisc.edu/trnsys/features/features.html>

[29] **Klein, S. A., Beckman, W. A., Mitchell, J. W., Duffie, J. A., Duffie, N. A., Freeman, T. L., Mitchell, J. C., Braun, J. E., Evans, B. L., Kummer, J. P., Urban, R. E., Fiksel, A., Thornton, J. W., Blair, N. J., Williams, P. M., Bradley, D. E., McDowell, T. P., Kummert, M., Arias, D. A., Duffy, M. J.,** (2014). *TRNRYS 17 a transient systems simulation program Getting Started*, Wisconsin, Solar Energy Laboratory.

[30] **Klein, S. A., Beckman, W. A., Mitchell, J. W., Duffie, J. A., Duffie, N. A., Freeman, T. L., Mitchell, J. C., Braun, J. E., Evans, B. L., Kummer, J. P., Urban, R. E., Fiksel, A., Thornton, J. W., Blair, N. J., Williams, P. M., Bradley, D. E., McDowell, T. P., Kummert, M., Arias, D. A., Duffy, M. J.,** (2014). *TRNRYS 17 a transient systems simulation program Mathematical Reference*, Wisconsin, Solar Energy Laboratory.

[31] **Botaş 2014 Sektör Raporu.** (2014). Erişim: 11 Haziran 2019, <https://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FSekt%C3%B6r%20Raporu%2F2014%20Y%C4%B1%20Sekt%C3%B6r%20Raporu.pdf>

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad :Ahmed DÜZCAN
Doğum Tarihi ve Yeri :1987 / BURSA
E-posta :duzcan-ahmed@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** :2011, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek Lisans** :2014, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji