

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

**PARABOLİK GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ TASARIMINDA
HAVANIN FARKLI AKIŞ ŞARTLARINDA ENERJİ
VERİMLİLİĞİ ÜZERİNE ETKİLERİ VE OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Öğrencinin Adı SOYADI : Onur KÖLEOĞLU

ORCID : 0000-0001-6342-7392

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 09.09.2020

Enstitü Anabilim Dalı : Makine Mühendisliği

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mükrimin Şevket GÜNEY

ORCID : 0000-0002-7481-5072

**Ağustos 2020
GİRESUN**

T.C.
GİRESUN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PARABOLİK GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ TASARIMINDA
HAVANIN FARKLI AKIŞ ŞARTLARINDA ENERJİ
VERİMLİLİĞİ ÜZERİNE ETKİLERİ VE OPTİMİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Onur KÖLEOĞLU

Enstitü Anabilim Dalı : Makine Mühendisliği

Bu tez 14/08/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr.
Mükrimin Şevket GÜNEY
Jüri Başkanı

Dr. Öğr. Üyesi
Faruk GÜNER
Üye

Dr. Öğr. Üyesi
Mithat AKGÜN
Üye

Doç. Dr.
Bahadır KOZ
Enstitü Müdürü

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Onur KÖLEOĞLU

14/08/2020

TEŞEKKÜR

Tez sürecimin planlama, araştırma, yürütme, geliştirme ve oluşum aşamalarında bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, mühendislik ile yapılan her çalışmanın teoriyle sınırlı kalmayıp günlük yaşamla da bütünleşmesini ilke edinmemi sağlayan, değerli tez danışmanım Prof. Dr. Mükrimin Şevket GÜNEY' e, bu süreçte yardımlarını benden esirgemeyen değerli dostlarım Osman Can DURAK ve Öznur ÖZER' e, üzerimde emeği geçen herkese ve manevi desteğiyle her zaman yanımda olan aileme çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	I
İÇİNDEKİLER	II
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	IX
TABLOLAR LİSTESİ.....	XI
ÖZET.....	XII
SUMMARY	XIII
BÖLÜM 1.GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.LİTERATÜR ÖZETİ	4
BÖLÜM 3.GÜNEŞ ENERJİSİ VE ENERJİ PROJEKSİYONU.....	12
3.1.Enerji.....	12
3.2.Karbon Döngüsü ve Sera Etkisi	14
3.3.Enerji Görünümü.....	16
3.4.Güneş ve Enerjisi	21
3.5.Güneş Işınımı	21
3.5.1.Direkt radyasyon	23
3.5.2.Yayıllı radyasyon	23
3.5.3.Yansıyan radyasyon	23
3.5.4.Toplam radyasyon.....	23
3.6.Güneş Radyasyonu ve Güneşlenme Süresi Etkinliği.....	24
3.7.Güneş Geometrisi.....	26
3.7.1.Enlem açısı	27

3.7.2.Deklinasyon açısı	27
3.7.3.Saat açısı.....	28
3.7.4.Eğim açısı.....	28
3.7.5.Geliş açısı	28
3.7.6.Zenit açısı	29
3.7.7.Güneş yükseklik açısı.....	30
3.7.8.Yüzey azimut açısı	31
3.7.9.Güneş azimut açısı	31
3.7.10.Hava kütlesi.....	32

BÖLÜM 4. PARABOLİK OLUKLU YOĞUNLAŞTIRICILAR	33
4.1.Parabolik Oluklu Güneş Kollektör Yapıları.....	34
4.1.1.Parabolik yansıtıcı.....	34
4.1.2.Absorber boru/tüp	35
4.1.3.Taşıyıcı kaide ve destek yapısı.....	36
4.1.4.Takip sistemi	37
4.2.Parabolik Güneş Kollektörleri ile Proses Isısı Elde Etme.....	39

BÖLÜM 5.PARABOLİK OLUKLU YOĞUNLAŞTIRICI TASARIMI.....	41
5.1.Optik Parabolik Yansıtıcı Boyutlandırması	41
5.2.Absorber Boru/Tüp Boyutlandırması.....	44
5.3.Parabolik Yoğunlaştırıcı Sistemin Optik Analizi.....	47
5.4.Parabolik Yoğunlaştırıcı Sistemin Isıl Analizi.....	49
5.4.1.İş akışkanı ile emici boru iç kısmı arasındaki ısıl analiz.....	52
5.4.2.Emici borunun dışı ile içi arasındaki ısıl analiz	53
5.4.3.Emici boru dışı ile dış ortam arasındaki ısıl analiz	54
5.5.Parabolik Yoğunlaştırıcı Sistem Performans Analizi	55
5.6.Parabolik Oluklu Yoğunlaştırıcı Sistem Ölçüm ve Kontrol Mekanizması.....	57

BÖLÜM 6.MATERYAL VE YÖNTEM.....	59
6.1.Deneysel Çalışma Yöntemi ve Analiz	61
6.1.1.Amaç	61
6.1.2.Kapsam ve teori.....	61
6.1.3.Deney düzeneği	62
6.1.4.Deneyin yapılışı	65
6.2.Parabolik Oluklu Yoğunlaştırıcı Tasarımı ve Montajı.....	66
BÖLÜM 7.BULGULAR	77
7.1.Verim Analizi.....	78
7.2.Hata Analizi	82
7.3.Maliyet Analizi.....	82
BÖLÜM 8.TARTIŞMA VE SONUÇ	85
BÖLÜM 9.ÖNERİLER	87
KAYNAKLAR	88
EKLER.....	97
ÖZGEÇMİŞ	114

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

h	:Isı taşınım katsayısı
\dot{q}'_{pgk}	:Absorberden iş akışkanına aktarılan ısı enerjisi
$^{\circ}$:Açı cinsinden derece
F_A	:Akış faktörü
$\$$:Amerikan doları
P	:Basınç
λ_s	:Bir molekülün çarpışmaları arasındaki ortalama serbest yol
$\dot{q}'_{absd,cöd}$:Cam örtü dışından absorbe edilen ısı enerjisi
$\dot{q}'_{taş,cöd-doç}$:Cam örtünün dışı ile dış ortam arasında olan ısı enerjisi
$\dot{q}'_{taş,cöd-doç}$:Cam örtünün dışı ile dış ortam arasında taşınım ile olan ısı enerjisi
$\dot{q}'_{ile,cöi-cöd}$:Cam örtünün içi ile dışı arasındaki iletim ile olan ısı enerjisi
δ	:Deklinasyon açısı
β	:Eğim açısı
L_b	:Emici boru dışı ile cam örtü içi arasındaki boşluk
$\dot{q}'_{taş,ebd-cöi}$:Emici boru dışı ile cam örtü içi arasındaki ışınlama ile olan ısı enerjisi
$\dot{q}'_{taş,ebd-cöi}$:Emici boru dışı ile cam örtü içi arasındaki taşınım ile olan ısı enerjisi
$\dot{q}'_{ile,ebd-ebi}$:Emici boru dışı ile emici boru içi arasındaki iletim ile olan ısı enerjisi
$\dot{q}'_{abs,ebd}$:Emici boru dışından absorbe edilen ısı enerjisi
$\dot{q}'_{taş,ebi-ia}$:Emici boru iç kısmı ile iş akışkanı arasındaki taşınım ile olan ısı enerjisi
$\dot{q}'_{taş,ebd-doç}$:Emici borunun dışı ile dış ortam arasındaki taşınım ile olan ısı enerjisi
$\dot{q}'_{ışl,ebd-doç}$:Emici borunun dışı ve dış ortam arasındaki ışınlama ile olan ısı enerjisi

a	:Emme oranı
\emptyset	:Enlem açısı
b_s	:Etkileşim katsayısı
τ	:Geçirgenlik oranı
θ	:Geliş açısı
N	:Gün uzunluğu
γ_s	:Güneş azimut açısı
G_{sc}	:Güneş değişmezi
α	:Güneş yükseklik açısı
β_s	:Hacimsel genleşme katsayısı
m_h	:Hava kütlesi
F_K	:Isıl kazanç faktörü
$\dot{q}'_{kayıp}$:Kayıp ısı
θ_r	:Kenar açısı
r_r	:Kenar açısına bağlı parabol yarıçapı
a_s	:Konum faktörü
\dot{m}	:Kütleli debi
δ_s	:Molekül çapı
D	:Absorber borunun çap uzunluğu
U	:Isıl kayıp katsayısı
A	:Alan
η	:Verim
I	:Güneş ışınımı
k	:Isı iletim katsayısı
ν	:Kinematik viskozite
Nu	:Nusselt sayısı
V	:Akış hızı
ρ	:Öz kütle
Pr	:Prandtl sayısı
Ra	:Rayleigh sayısı
Re	:Reynold sayısı

T	:Sıcaklık
G_{on}	:Ocak'tan itibaren belirtilen günü ifade eden güneş ışınımı
f	:Odak uzunluğu
γ_{ss}	:Özgül ısı oranı
r	:Parabol yarıçapı
L	:Parabolik yansıtıcı modelin yüzey uzunluğu
π	:Pi sayısı
ω	:Saat açısı
C_p	:Sabit basınçta özgül ısı
$^{\circ}C$:Santigrat derece
ΔT	:Sıcaklık farkı
σ	:Stefan Boltzmann sabiti
$f_{sür}$:Sürtünme faktörü
θ_s	:Tepe açısı
F'	:Verim faktörü
ρ	:Yansıtıcılık oranı
δ_{eb}	:Yayılm açısı
ε	:Yayma oranı
g	:Yerçekimi ivmesi
γ	:Yüzey azimut açısı
θ_z	:Zenit açısı
IACPC	:Asimetrik ters emici hat eksenli parabolik yoğunlaştırıcı
rpm	:Bir dakikadaki tur sayısı, devir
DOÇ	:Dış ortam çevre
DNI	:Doğrudan güneş ışığı radyasyonu
EB	:Emici boru
EBD	:Emici borunun dış kısmı
EBİ	:Emici borunun iç kısmı
IST	:Endüstriyel güneş teknolojileri
GW	:Gigawatt
GHO	:Gökyüzü hava küre ortamı
GA	:Gölgelenmeyen alan

GB	:Güneş batış açısı
GS	:Güneş saati
He	:Helyum
H ₂	:Hidrojen
R	:Isıl direnç
İŞİ	:Işınım ile ısı transferi
İLE	:İletim ile ısı transferi
İST	:İstenen
İA	:İş akışkanı
CO ₂	:Karbondiyoksit
K	:Kelvin
kcal	:Kilokalori
kW	:Kilowatt
kWh	:Kilowatt saat
MPa	:Megapaskal
MW	:Megawatt
m	:Metre
m ²	:Metrekare
M.Ö	:Milattan önce
M.S	:Milattan sonra
Mtep	:Milyon ton petrol eşdeğeri
PGK	:Parabolik güneş kolektörü
PTC	:Parabolik oluklu yoğunlaştırıcı
Y	:Parabolik yansıtıcı modelin odak merkezine göre dikey uzunluğu
X	:Parabolik yansıtıcı modelin odak merkezine göre yatay uzunluğu
cm	:Santimetre
TAŞ	:Taşınım
TOP	:Toplam
GHI	:Toplam güneş ışığı radyasyonu
IEA	:Uluslararası Enerji Ajansı
GRI	:Yansıyan güneş ışığı radyasyonu
YO	:Yoğunlaştırma oranı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1.Enerji türlerinin sınıflandırılması.....	12
Şekil 3.2.Enerji kaynaklarının sınıflandırılması.....	13
Şekil 3.3.Karbon döngüsü.....	14
Şekil 3.4.Sera etkisinin çizimsel gösterimi	15
Şekil 3.5.Dünya kaynaklar bazında toplam birincil enerji tüketimi.....	16
Şekil 3.6.Dünya ve Türkiye kaynaklara göre enerji tüketim hacmi.....	17
Şekil 3.7.Dünya ve Türkiye kaynaklara göre elektrik üretim hacmi	17
Şekil 3.8.Türkiye kurulu gücün kaynaklara dağılımı.....	18
Şekil 3.9.Enerji elde etmede karbondioksit emisyonu eğilimi.....	19
Şekil 3.10.Dünya konsantre güneş enerjisi görünümü.....	20
Şekil 3.11.Güneş değişmezi	22
Şekil 3.12.Radyasyon çeşitleri.	24
Şekil 3.13.Türkiye iklimsel global güneş radyasyonu dağılımı.....	24
Şekil 3.14.Türkiye-Karadeniz-Ordu global güneş radyasyonu ortalaması.	25
Şekil 3.15.Türkiye güneşlenme süresi gösterimi	25
Şekil 3.16.P noktası için deklinasyon açısı, enlem ve saat açısı.	26
Şekil 3.17.Yıl boyunca deklinasyon açısındaki değişim.....	27
Şekil 3.18.Zenit açısı, güneş geliş açısı ve eğim açısı	28
Şekil 3.19.P noktası için zenit açısı, güneş yükseklik açısı ve yüzey azimut açısı	29
Şekil 3.20.Zenit açısı, güneş azimut açısı ve yüzey azimut açısı.....	31
Şekil 4.1.Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri	33
Şekil 4.2.Parabolik oluklu sistemlerin genel konsepti	34
Şekil 4.3.Yansıtıcı ayna malzeme yapısı	35
Şekil 4.4.Parabolik oluklu sistemlerde alıcı tüp konsepti	36
Şekil 4.5.Parabolik güneş kolektörleri için taşıyıcı elemanlar.....	37
Şekil 4.6.Takip durumuna göre güneş kolektörlerinin sınıflandırılması.....	38
Şekil 5.1.Alıcı ve parabolik yansıtıcı üzerinde açıları gösteren kesit	41

Şekil 5.2.Güneş ışınlarının atmosferden sisteme transferi	47
Şekil 5.3.Cam örtülü ve örtüsüz absorber boru ısı transfer modeli.....	50
Şekil 5.4.Tasarım termal direnç modeli	51
Şekil 5.5.Absorber boru kesitinde pitot-statik prob ile ölçüm gösterimi	58
Şekil 6.1.Parabolik oluklu güneş kollektörü deney düzeneği şematik şekli	64
Şekil 6.2.Parabolik yoğunlaştırıcı sistem geometrik tasarım boyutları.....	67
Şekil 6.3.”Wolfram Demonstrations” programı ile simülasyon tesisi	68
Şekil 6.4.Parabolik yoğunlaştırıcı sistem oluşumu akış diyagramı	69
Şekil 6.5.Parabolik yansıtıcı yüzeyin teknik resmi	71
Şekil 6.6.Absorber boru seçim parametreleri.....	72
Şekil 6.7.Taşıyıcı yapının teknik imalat resmi	72
Şekil 6.8.Parabolik oluklu yoğunlaştırıcı kısmın üç boyutlu montaj modeli.....	73
Şekil 6.9.Kaide ve destek yapı profil modeli	74
Şekil 6.10.İmalat sonrası güneş ışınlarının odaklama testi	75
Şekil 6.11.Konstrüksiyon imalat süreci	76
Şekil 7.1.Absorber boru içindeki hava akışkanının sıcaklık değişimi	77
Şekil 7.2.Kabul açısına bağlı düzeltme faktörü değişimi.....	78
Şekil 7.3.Absorber boru çapına bağlı kesişim faktörü değişimi	79
Şekil 7.4.Akış hızına bağlı ısı verim değişimi	80
Şekil 7.5.Zamana bağlı ısı verim değişimi.....	81
Şekil 7.6.Ağırlıklı maliyet oranı.....	83

TABLolar LİSTESİ

Tablo 5.1.Bazı yüzeylerin yansıtıcılık özellikleri	43
Tablo 5.2.Bazı absorber yüzeylerin özellikleri	45
Tablo 5.3.Cam malzemelerin ışık geçirgenlik özellikleri	46
Tablo 5.4.Emici boru malzemelerinin ısı iletkenlik katsayıları	54
Tablo 6.1.Ölçüm planı.....	65
Tablo 6.2.Parabolik oluklu güneş yoğunlaştırıcı sistem imalat parametreleri.	67

PARABOLİK GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ TASARIMINDA HAVANIN FARKLI AKIŞ ŞARTLARINDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ ÜZERİNE ETKİLERİ VE OPTİMİZASYONU

ÖZET

Yoğunlaştırılmış güneş enerji sistemlerinden biri olan parabolik oluklu kollektörler, güneş radyasyonu ve geometrisinden yararlanılarak oluşturulan ve önemli bir teknik yaklaşım olarak sunulan termal enerji toplama formudur. Güneş ışınlarının parabol şeklindeki yansıtıcı yüzeyden yansıtılması, absorber boru yapısından odaklanma ve emilimi, absorber boru içindeki akışkandan ise termal aktarımı sağlanmaktadır. Akışkanlardan bu amaç için elde edilecek potansiyel sıcaklığa göre termal aktarım seviyesi belirlenmekte, kaynaklı ve fonksiyonel özelliklere göre ise farklı alternatif seçenekler sunulmaktadır.

Bu çalışmada doğadan doğrudan mevcut veya filtrelenerek elde edilmiş gaz akışkanlardan havanın bu yönde kullanım etkileri incelenmiştir. Bir parabolik oluklu güneş yoğunlaştırıcı sistemi tasarlanarak imalatı sağlanmış ve uygulamalı olarak Ordu ili için test edilmiştir. Ordu ili Haziran 2020 dönemi güneş ışınımı verilerine göre sistemin optik verimi %71, deney düzeneğindeki ölçümlerde ise havanın ısıtılması ile elde edilen ısı verim %23-32 bulunmuştur. Bunun yanı sıra akışkan seçimindeki çeşitlilik ve havanın farklı akış rejimlerindeki ısı performansının optik tasarım yapısıyla uyumu da önem arz etmektedir. Böylece doğadaki havanın termoeconomik analizler ve rasyonel enerji stratejileri ile parabolik oluklu güneş yoğunlaştırıcı sistemlerde yaygın olarak kullanımı sağlanabilecektir. Türkiye'nin subtropikal iklim kuşağında yer alması, güneş radyasyon değerleri ve güneşlenme süresi özellikleri bakımından avantajlarının olması bu çalışma ile enerji arzının ve talebinin karşılanmasını hızlandırması beklenmektedir.

Anahtar kelimeler: Parabolik oluklu kollektör, Güneş enerjisi, Yenilenebilir, Enerji

THE EFFECTS AND OPTIMIZATION OF AIR ON ENERGY EFFICIENCY IN DIFFERENT FLUID CONDITIONS IN PARABOLIC SOLAR COLLECTORS DESIGN

SUMMARY

Parabolic trough collectors, one of the concentrated solar energy systems, are thermal energy collection forms that are created by making use of solar radiation and geometry and presented as an important technical approach. Reflection of the sun rays from the parabolic reflective surface, focusing and absorption from the absorber tube structure, thermal transfer from the fluid in the absorber tube is provided. The level of thermal transfer from fluids is determined according to the potential temperature to be obtained for this purpose, and different alternative options are offered according to the source and functional features.

In this study, the effects of the use of air from gas fluids that are directly available from nature or obtained by filtration are examined. A parabolic trough collector system has been designed and manufactured, has been practically tested for Ordu. According to the solar radiation data of Ordu Province for June 2020, the optical efficiency of the system was 71%, while the thermal efficiency obtained by heating the air in the measurements in the experimental setup was 23-32%. Also, the diversity of fluid selection and the compatibility of the thermal performance of the air in different flow regimes with the optical design structure are important. Thus, the use of air in nature will be widely used in parabolic trough solar concentrator systems with thermoeconomic analysis and rational energy strategies. In terms of taking place in Turkey's subtropical climate, and being solar radiation values and the duration of daily sunshine exposure values have an advantage is expected to expedite the fulfilment of the energy supply and demand with this work.

Keywords: Parabolic trough collector, Solar energy, Renewable, Energy

BÖLÜM 1.GİRİŞ

Bilimsel ve teknolojik gelişmeler, tüketimin çeşitlenerek büyümesi gibi nedenlerle bireysel ve endüstriyel enerji gereksinimi ve kullanımı artmaktadır. Enerjinin kullanım yeri ve zamanında yeterince bulunması elzemdir. Bunun yanı sıra arz edilen bu enerjinin primer kaynaklar bakımından niteliği de önemlidir.

Toplumların, ülkelerin ve süreçlerin enerjiye temelden bağlı olmaları politik, ekonomik, sosyal, teknolojik, çevresel ve yasal açılardan ülkelerin stratejik planlamalarını etkilemektedir. Enerji arz güvenliğinin sağlanması; üretim ve ithalat, iletim, depolama ve dağıtım, teknik seçenek çokluğunun sağlanarak sürekli geliştirme ve talebin yönetilmesi olarak değerlendirilmektedir.

Nitelikli enerji elde etme ve ihtiyaca karşılık doğru kullanılan enerjinin yeniden sisteme entegrasyonu ile tasarruf ve verimlilik kavramları, hali hazırdaki enerji sistemleri ve projelendirilen yöntem, teşvik edicilik, bilgi sağlanabilirlik, sosyal sorumluluk kampanyaları, teknolojik uyumluluk, sürdürülebilirlik gibi kapsamlı konularda ilişki içinde olmasını da sağlayan performans göstergeleridir. Sürdürülebilir kalkınmayı teşvik etmek ve iklim değişikliğiyle mücadele, enerji planlaması, analiz ve politika yapımının ayrılmaz bir parçası olmaktadır. Enerji, toplam sera gazı emisyonlarının üçte ikisini ve CO₂'nin %80'ini oluşturduğu için emisyonları azaltma ve iklim değişikliğinin önüne geçilmesi çabaları enerji sektörünü etkilemektedir. Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency, IEA) gibi çeşitli profesyonel kuruluşlar küresel enerji arz ve talebi üzerine tahmin yapmaktadır. Gelecek projeksiyonlarında otuz yıllık dönem için dünya enerji isteminin %60 civarında artış göstereceği tahmin edilmektedir.

Uluslararası Enerji Ajansı araştırmasına göre (rüzgâr ve jeotermal için 3-4 \$cent/kWh, biokütle için 8\$cent/kWh) birim yatırım maliyeti açısından, fosil yakıtların önüne geçebilmiş seviyede değildir (IEA, 2019). Fosil yakıtların kullanımından kaynaklanan olumsuzlukları bertaraf edebilmek için yenilenebilir enerji ve nükleer enerji seçenekleri düşünülmektedir. Ancak nükleer enerjinin emniyetli kullanımı ve atıkların bertaraf edilmesi sorunları da bilinmektedir.

Enerji politikaları, fizibilite değerlendirmeleri ile sağlam temellendirilerek olası olumlu ve olumsuz değişimleri karşılayabilecek biçimde güvenilir belirlenmelidir. Enerji arz seçeneklerinin çeşitlendirilmesi ile geleceğe yönelik altyapı ve teknoloji yatırımlarının sebep olabileceği tıkanıklıkların asgari seviyeye indirilmesi temel politika öncelikleri olmalıdır. Yenilenebilir enerjiler arasında en yüksek potansiyel arz eden güneş enerjisi ülkemiz için güneşlenme süresi bakımından avantajlıdır.

Yenilenebilir enerjinin bazıları gibi güneş enerjisinde gün içinde belli sürelerde elde edilebilirlik mevcuttur. Genişleterek söylemek gerekirse güneş enerjisi yıl içinde mevsimlere, gün içerisinde gece-gündüz saatlerine, meteorolojik şartlara, Ekvator bölgesinden uzaklık gibi faktörlere bağlı olarak dalgalanma ve kesikliğe sahiptir. Bu kapsamda şebekeden bağımsız veya şebekeye bağlı sistem durumuna göre yedek enerji kaynağı, fazla enerjinin depolanması ve entegre tasarımlar gibi önlemler alınması gerekmektedir. Şebekeye bağlı sistemlerde bu dalgalanmaları bertaraf edebilecek özel önlemler ayrıca istenmektedir. Güneş enerjisinin dönüştürülmesi sayesinde amaca uygun olarak fotovoltaik yöntemlerden doğrudan veya yoğunlaştırılmış güneş enerjisi ile buhar türbinleri çevrimleri ve Stirling motoru çevrimleri vasıtasıyla dolaylı biçimde elektrik üretimi, ısı üretimi, elektrik ve ısının birlikte üretimi, deniz suyunun damıtılması, güneş enerjili soğutma, endüstriyel proses ısısı elde etme ve karma sistemler gerçekleştirebilmek mümkündür. Güneş enerjisinden yararlanma doğrudan güneş ışınlarını dönüştüren fotovoltaik paneller vasıtasıyla doğrudan elektrik enerjisine çeviren ve güneş ışınlarını toplayıcı yüzeyler vasıtasıyla ısı enerjisine çeviren (termal) sistemler olarak temelde ikiye ayrılmaktadır.

Proses ısını bu tarz sistemlerle doğrudan elde edebilmek dönüşüm kayıpları oluşmadığından enerjinin daha etkin kullanılmasının önünü açmaktadır. Ayrıca konsantre sistemler ile tarzlarına göre parabolik oluklu sistemlerde 700 °C , paraboloid sistemlerde ise 3000° C sıcaklıklara teorik olarak ulaşabilmek ve dolaylı biçimde çeşitli termodinamiksel çevrimlere dayanarak elektrik enerjisi üretmek mümkündür.

Güneş yoğunlaştırıcı sistemlerden biri olan parabolik oluklu güneş kolektörleri kolay gerçekleştirilebilir olması, şebekeden bağımsız ve doğrudan proses ısı elde edilebilmesi bakımından öne çıkmaktadır. Öte yandan mevcut diğer yöntemler ile elektrik üreten santrallere denge ve destek amacı sağlaması bakımından maden ocakları, radar istasyonları, uzak köylerin elektrik ve proses tekniğinde gereken yüksek akışkan sıcaklığı ihtiyacı karşılanmasında rahatlıkla kullanılmaktadırlar.

Dünyada parabolik oluklu sistemlerle elektrik enerjisi ve proses ısı elde edilmesine yönelik tesisler yaygınlaşmaktadır. Ülkemizde ise parabolik oluklu konsantre sistemlerin üretimine yönelik araştırma ve geliştirme çalışmaları sürdürülmektedir.

Bu çalışmada enerjinin temel sınıflandırılmaları yapılmış, enerji kaynakları, çeşitleri ve bunların niteliklerinden bahsedilmiştir. Enerji sarfiyatı ve gelecek otuz yıldaki dünya projeksiyonları ele alınmıştır. Bununla birlikte fosil yakıtların tükenirliği, çevreye olumsuz etkisi, hava kirliliği ve Sera etkisine de değinilmiştir. Bu manada yenilenebilir enerjiye gereksinimin arttığı ve bu kaynakların kullanımının yaygınlaştırılması üzerinde durulmuştur. Güneş enerjisi de potansiyel bakımından en önemli yenilenebilir enerji kaynağıdır. Bu tezde küçük ölçekli gaz akışkanlarının doğrudan ısıtmasına yönelik parabolik oluklu sistemler üzerinde çalışılmıştır. Bu sistem verileri baz alınarak parabolik oluklu sistemlerin modellenmesi gerçekleştirilmiştir.

BÖLÜM 2.LİTERATÜR ÖZETİ

M.Ö 218 'de ünlü matematikçi Arşimet, bugün İtalya'da bulunan Sirakuza şehrini Roma ordularından korumak amacıyla optik tekniği üzerine yaptığı çalışmalarla içbükey aynalarla güneş ışınımını odaklayarak Roma filolarını yakmıştır (Roberts, 1996).

M.Ö.7 'de büyüteç benzeri malzeme ile toplumlar ateş yakmak ve karıncaları yakmak için güneş ışınlarını yoğunlaştırmak için kullanmıştır (Qwertyu, 2017).

M.Ö 3'de Yunanlılar ve Romalılar meşaleleri yakmak için dini amaçlar için yanan aynaları kullanmıştır (Vivint, 2015).

Yunan matematikçi Diocles, parabolik bir oluğun optik özelliklerini M.Ö. 2'de tanımlamıştır (www.sciencedirect.com, 2001).

M.S.20'de Çinliler, dini amaçlar için fenerleri yakmak için yanan aynaları kullanmışlardır (www.britannica.com, 2017).

Heliostat tasarımlarının geliştirilmesi, 1746'da Comte de Buffon tarafından tanımlanmıştır (Lovegrove, 2012).

1767'de İsviçreli bilim adamı Horace de Saussure, Güney Afrika seferi sırasında yemek pişirmek için ilk güneş fırını icat etmiştir (www.solarcooking.com, 2019).

1830'larda Sir John Herschel tarafından kullanılan, dünyanın ilk güneş kolektörünü inşa etmekle itibar kazanmıştır (www.britannica.com, 2017).

1860 yılında Fransız bilim adamı Mouchot, parabolik aynalar aracılığı ile güneş ışınımını odaklayarak küçük bir buhar makinesi prototipi icat etmiştir. Mouchot aynı zamanda güneş pompaları ve güneş ocakları üzerinde sayısız çalışma yapmıştır (Nexten, 2019).

1884'te Ericsson, New York'ta sergilenen büyük bir “güneş motoru” inşa etti. 15.88 cm çapında bir kazan borusu üzerine güneş ışınımına odaklanan 3.35 m uzunluğunda 4.88 m genişliğinde bir parabolik oluklu yoğunlaştırıcıdan oluşmaktadır. Cihazın tamamı güneşi manuel olarak takip etmektedir. Motorun yaz denemeleri sırasındaki ortalama deviri 120 rpm ve mutlak piston çalışma basıncı 0.24 MPa'dır (Ericsson, 1884).

1907 yılında Aalen'den Dr. Maier'e ve Stuttgart'tan Bay Remshalden'e parabolik oluk şeklindeki bir toplayıcı için doğrudan buhar üretimi için güneş ışınımı kullanmak için bir patent verilmiştir (Ebit, 2016).

1912'de Meadi' de (Mısır) 45 kW kapasiteli parabolik oluk kolektörlerini kullanan ilk güneş enerjisi termik santrali olarak devreye alınan parabolik güneş kolektörleri, Philadelphialı bir mucit, güneş vizyoneri ve iş girişimcisi Frank Schuman tarafından küçük bir çiftlikte kurulmuştur. Parabolik oluklar, büyük su pompalarını süren, kurak çöl topraklarının engin alanlarına dakikada 6000 galon su pompalayan buhar üretmek için kullanılmıştır (Nasa,2012).

1936'da C.G. Abbot, bir PTC ve 0,37-kW buhar motoru kullanarak güneş enerjisini mekanik güce dönüştürmüştür. Abbot %15.5 genel sistem verimliliği tahmin etmiştir. Odak eksenini boyunca ısı kaybını azaltmak için çift cidarlı boşaltılmış bir cam manşonun içine yerleştirilmiş tek flanş boru monte edilmiştir. Sistem, suya maruz kalmasından beş dakika sonra tam buhar basıncını yükseltmek üzere tasarlanmıştır (Pytlinski, 1978).

İlk operasyonel konsantre güneş enerjisi santrali 1968'de İtalya'daki Sant'Ilario'da Profesör Giovanni Francia inşa etmiştir (Qwertyu, 2017).

Yunan bilim adamı Dr. Loannis Sakkas, 1973 yılında 60 Yunan denizcisini sıraya sokarak, bronz kaplı aynaları tutarak güneş ışınlarını yakalamak için ışınları ortak bir noktada odaklamak maksadı ile onları yaklaşık 200 metre uzaklıktaki bir gemiye yönlendirerek ateş aldırılmayı başarmıştır (Hellenica, 2004).

Hassan ve Refaie (1973) silindirik parabolik güneş kolektörlerinde performans analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada kolektör boyutlarına bağlı olarak kritik yoğunlaştırma açıları tespit edilmiş ve bunların kutupsal denklemleri oluşturulmuştur. Genel koşullar altında oluşan ısı akısı ve maksimum güç için derinlik oranları ve kritik açılarda yaklaşımlar bulunmuştur. Bu çalışmalar hem açıklığın ön kısmı için hem de arka kısmı için yapılmıştır (Hassan ve Refaie, 1973).

Cope ve Tully yoğunlaştırıcıların güneşi izleme stratejilerini güneş konumunun hesaplanabileceği denklemlerle incelemiş ve mevcut yoğunlaştırıcılar üzerindeki izleme hatalarını deneysel değerlerle karşılaştırmışlardır (Cope ve Tully, 1982).

Jeter parabolik oluk tipi yoğunlaştırıcı yüzeyinin üzerine gelen güneş ışınımının sonlu elemanlar yardımıyla analizini yapmış, bu modeli kullanarak yoğunlaştırıcının yoğunlaştırma oranını ve verimini hesaplamıştır (Jeter, 1983).

M. Halil, alıcı alt sistemin ısı analizini için bir boyutlu ısı transfer modelinin optik hataların azaltılması için sunulduğu deneyler yapmıştır. Ayrıca, kolektörün geometrisini analiz etmek için de faydalıdır. Bu modelin, alıcının ısı davranışını karakterize etmek için alıcı yüzey alanının bir ısı kaybı parametresini hesaplamak için kullanılabileceği gösterilmiştir. Sunulan termal analiz, anulus boşluğu boyutunun boyutlandırılması için kullanılabileceği gösterilmiştir. Geliştirilen yöntem, kapsamlı bir tasarım ve optimizasyon yönteminde kullanılmaktadır (Halil, 1984).

Hession ve Boonwick değişik boyutlardaki yoğunlaştırıcılar için takip sistemlerini denemişlerdir. Takip sistemi ile güneşi hassas şekilde izleyen ışığa duyarlı devre yapmışlar ve blok diyagramını vermişlerdir (Hession ve Bonwick, 1984).

1986'da Kaliforniya'daki Kramer Junction'da bulunan dünyanın en büyük güneş enerjisi termal tesisi devreye alınmıştır. Güneş alanı, güneş enerjisini ısı transfer akışkanı sirküle eden bir boru sistemine yoğunlaştıran ayna sıraları içermektedir. Isı transfer sıvısı, elektrik üretmek için geleneksel bir türbini besleyen buhar üretmek için kullanılmaktadır (Hellenica,2004).

Ecevit ve Goshtaspour (1985), ısı üretimi için kullanılacak parabolik oluk tipi yoğunlaştırıcıların optik ve ısıl özelliklerini irdelemişler ve bu yoğunlaştırıcılar için malzeme seçimini yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre yoğunlaştırıcıyı tasarlayıp imal etmişlerdir (Ecevit ve Goshtaspour, 1985).

Bhowmik ve arkadaşları (1985) ortalama ısı transferi katsayısının tespiti, dış sıcaklığa bağlı olarak sistem parametrelerini içeren ortalama akışkan sıcaklığının bulunması üzerine çalışmalar yapmışlardır (Bhowmik ve ark., 1985).

Espana ve Rodriguez (1987), kararsız şartlarda, parabolik tipi güneş yoğunlaştırıcılarının lineer olmayan diferansiyel denklemlerine yaklaşık analitik çözümler elde etmişlerdir (Espana ve Rodriguez, 1987).

Prapas ve arkadaşları (1987) düşük yoğunlaştırma oranına sahip parabolik güneş kolektörlerinde diffüz yayının etkileri üzerine çalışmalar yapmışlardır (Prapas ve ark., 1987).

1989'da Karaduman, parabolik güneş yoğunlaştırıcısının etkinliğini belirlemek için, pompalı ve doğrudan akışkanı ısıtan sistemle çalışan bir parabolik güneş yoğunlaştırıcısının tasarımı, imali ve performansını hayata geçirmiştir. Yoğunlaştırıcı için 145.5 cm uzunluğunda cam kılıflı ve seçici yüzey kaplamalı bir boru, toplayıcı olarak kullanmıştır. Yansıtıcı parabolik yüzeyin boyu 145.5 cm, eni 114 cm, çevresel uzunluğu 134 cm ve odak uzaklığı 28.5 cm olacak şekilde taslak oluşturmuştur. Çalışmada yansıtıcı olarak iki farklı malzeme incelenmiş ve karşılaştırılması yapılmış, kolektör verimine etki eden tasarım parametreleri incelenmiştir (Karaduman, 1989).

A. Farouk Kothdiwala ve arkadaşları (1996) asimetrik ters emici hat eksenini bileşimi parabolik konsantre kolektörünün (IACPC) bir güneş simülatörü altında değerlendirildiği bir deney yapmıştır. Elde edilen maksimum sıcaklık 109°C ve 157°C iken giriş sıcaklığı 20°C ile 70°C 'dir (Kothdiwala ve ark., 1996).

Bakos G.C. ve arkadaşları, bir hat odaklı parabolik oluklu kolektörü tasarlamış ve simülasyon yaparken, kolektörün veriminin ısı transfer akışkan akışı, boru çapı, güneş radyasyonu yoğunluğu ve parabolik güneş oluklarının aktif alanının bir fonksiyonu olarak değiştiğini bildirmişlerdir (Bakos ve ark., 2001).

Almanza ve arkadaşları (2002), parabolik oluk tip güneş yoğunlaştırıcılarıyla direkt olarak buhar üretiminde, çelik emici borulardaki iki fazlı akış incelenmiş, boru giriş ve çıkışındaki sıcaklık farkındaki değişiklikler ile borunun alt ve üst kısımlarının farklı sıcaklıklarda olmasının boruda eğilme ve kırılma problemleri yarattığı deneysel olarak irdelenmiştir (Almanza ve ark., 2002).

Singh B.S.M. ve ark., uzun vadeli performansın optimizasyonu için artan açıklık alan kaynaklı artan termal kayıplar ve azalan açıklık alanı ile artan optik kayıplar arasında elde edilen denge güneş parabolik oluk kolektörü deneyi gerçekleştirmişlerdir. Bu deneyde konsantrasyon oranı arttıkça, ısı uzaklaştırma faktörü ve verimliliğin azaldığını tespit etmişlerdir (Singh ve ark., 2003).

Grass ve arkadaşları (2004), yaptıkları araştırmada, yüksek sıcaklık uygulamaları için güneş takip mekanizmasız bileşik parabolik yoğunlaştırıcı toplayıcı ile güneş izleme mekanizmalı yansıtıcılara sahip parabolik oluk tip ve vakum borulu toplayıcıların optik verimini karşılaştırmışlardır. Bileşik parabolik yoğunlaştırıcı toplayıcı ile 300°C çalışma sıcaklığında yansımayı önleyici malzeme ile kaplanmış cam boru ve seçici yüzey uygulamasında verimi 0.65 olarak bulmuşlardır. Karşılaştırma için ZAE Bayern' de kullanılan ilk deney düzeneğinde standart cam boru ve siyaha boyanmış yutucu yüzey test edilmiştir ve optik verimi 0.71 bulmuşlardır (Grass ve ark., 2004).

Ming Qu ve arkadaşları, boşaltılmış bir saydam tüpün içine yerleştirilmiş, yüzey işlem görmüş metalik bir boru alıcısına odaklanan doğrusal izleme parabolik oluk reflektörü üzerinde çalışmakta ve temel ışınlama ve konvektif ısı transferi ve kütle ve enerji dengesi ilişkileri sağlamışlardır. Deney, 165 ° C'deki sıcak suyun, 900 W/m² güneş yalıtımlı ve 0 olay açısına sahip 6 m ile 23 m parabolik güneş kolektöründen geçtiği, tahmini kolektör verimliliğinin yaklaşık %55 olduğunu göstermiştir. Alıcı tüpün iç kısmı, kısa boylu güneş ışınlarının yüksek emiliminden ve termal radyasyon kayıplarını azaltmak için uzun dalga enerji spektrumunun düşük emisyonundan dolayı seçici karartılmış nikel ile kaplanmış emici tüptür (Qu ve ark., 2006).

Bakos (2006), parabolik oluk yoğunlaştırıcının iki eksenli sürekli güneş takip sistemi üzerinde çalışmıştır. Kolektörün topladığı enerjiyi ölçmüş ve 40° güneye doğru eğilmiş sabit yüzeyli yoğunlaştırıcı ile kıyaslamıştır. Sonuç olarak hareketli iki eksenli güneş takip eden yoğunlaştırıcının sabit kolektörden %46.46 daha fazla enerji topladığını elde etmiştir (Bakos, 2006).

2007'de Valan Arasu ve Sornakumar, sıcak su üreten parabolik oluk kolektörler için fibreglasla güçlendirilmiş parabolik oluğun dizayn ve üretimini yapmışlardır. Çalışmalarında toplam parabol kalınlığı 7 mm olmuştur. Fibreglasla güçlendirilmiş parabolik oluk 34 m/s hızla esen rüzgârın uygulayacağı kuvvete denk bir yük altında test edilmişler rüzgâr yükünden dolayı paraboldeki biçim bozukluğunun kabul edilebilir olduğunu bulmuşlardır. Bu teste göre parabol yüzey hatalarındaki dağılımın standart sapmasını 0.0066 olarak tahmin etmişlerdir (Valan ve Sornakumar, 2007).

Garcia-Valladares ve Velazquez (2009), tek ve çift geçişli parabolik oluk tipi güneş yoğunlaştırıcılarının ısı ve akış davranışlarının nümerik simülasyonlarını incelemiştir. Çalışmalarında Sandia National Laboratories sağlanan deneysel verileri kullanmışlardır. İki geçişli parabolik oluk yoğunlaştırıcı kullanıldığında ısı transfer kayıplarının azaldığını görmüşlerdir. Ayrıca Reynold sayısı, kanal kalınlık oranı ve geri çevrim oranı arttığı zaman, istenen ısı transfer artışı ve çevreye olan ısı kayıpların düşüşünün arttığını elde etmişlerdir (Valladares ve Velazquez, 2009).

Joshua Folaranmi, parabolik bir güneş buhar jeneratörü güneş enerjisi ile ilgili tasarlanmış, çok yüksek bir sıcaklığa buhar oluşturmak için ulaşabilen şekilde test edilmiş ve yoğunlaştırıcı kollektörün üretildiğini bildirmiştir. Ortalama güneşli ve bulutsuz günlerde, test sonuçları 200 ° C'nin üstünde yüksek sıcaklık verdiğini gözlemiştir (Folaranmi, 2009).

Valentina A. Konsantre Güneş Enerjisi üzerinde çalışmalar yapmış ve orta sıcaklıkların yaklaşık 550 ° C olduğu bir güneş parabolik oluk geliştirmiştir. Yanıcı, pahalı ve 400 ° C'nin üstünde kullanılmayan sentetik hidrokarbon yağı, endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılan ve çalışma ortamı olarak 600 °C' ye kadar kimyasal olarak stabil olan, erimiş tuzların (sodyum ve potasyum nitrat) bir karışım kullanmışlardır. Ayrıca bir koni şeklinde depolama tankı erimiş karbonat tuzlarından ve maksimum 565 ° C sıcaklıkta çalışan kombinasyondan yapmışlardır (Valentina ve ark., 2010).

2010 yılında Fernandez ve arkadaşları çalışmasında parabolik oluklu güneş yoğunlaştırıcısının tarihsel sistem ilerlemeleri üzerine odaklanmış ve 400°C'de buhar kullanımlı elektrik üreten sistemler üzerinde durarak pazarlama süreci üzerine çalışmalar yapmıştır (Fernandez ve ark., 2010).

Khular ve arkadaşları, 2012 yılında, nano-akışkan bazlı direkt emilim sağlayan bir güneş parabolik oluk toplayıcısının ısıl verimini teoriksel araştırmışlardır. Therminol-VP1 akışkanı için süspansiyon halinde%0.05 oranında alüminyum nano parçacıkları kullanmışlardır. Termal verimin klasik parabolik oluklu sistemlere kıyasla düşük sıcaklıklarda %10 ve yüksek sıcaklıklarda %5 arttığını göstermişlerdir (Khullar ve ark., 2012).

Rodriguez ve arkadaşları (2013) Gemasolar benzeri bir santral tesisindeki parabolik yoğunlaştırıcıları sayıca etkilerini değerlendirmiş ,geometrik değişkenlerin maksimum tüp sıcaklığı, maksimum erimiş tuz film sıcaklığı, ısı transfer akışkanının basınç düşüşü ve alıcı yatırım maliyeti üzerine araştırmalar yapmışlardır (Rodriguez ve ark., 2013).

Ghasemi ve Ranjbar (2016) nanoakışkan bazlı su kullanılarak yapılan bir çalışmada ise nano akışkanın parabolik güneş kolektörünün ısı performansını üzerine etkisini incelemiş, nano akışkan kullanılan kolektörün saf suya göre daha iyi performans sergilediğini belirtmişlerdir (Ghasemi ve Ranjbar, 2016).

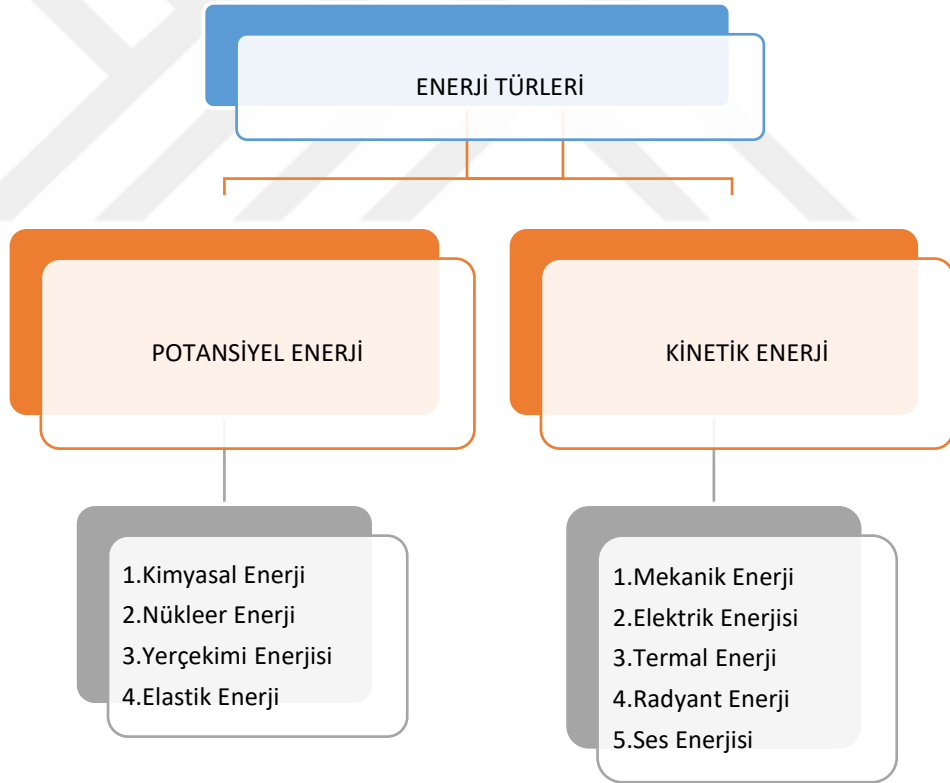
Caldino-Herrera ve arkadaşları (2017) parabolik güneş kolektörlü organik Rankine sistemini tasarlamışlar ve sistem performans analizleri yapmışlardır. Güneş enerjisi kullanımı ile Therminol 55 akışkanı yapısında güç depo etmişlerdir (Caldino ve Herrera , 2017).

Eisavi ve arkadaşları (2018) parabolik güneş kolektör içerikli trijenerasyon sisteminin performans analizini incelemiş ve parabolik güneş kolektöründe ekserji yıkımının en yüksek seviyede olduğunu bulmuşlardır (Eisavi ve ark., 2018).

BÖLÜM 3.GÜNEŞ ENERJİSİ VE ENERJİ PROJEKSİYONU

3.1.Enerji

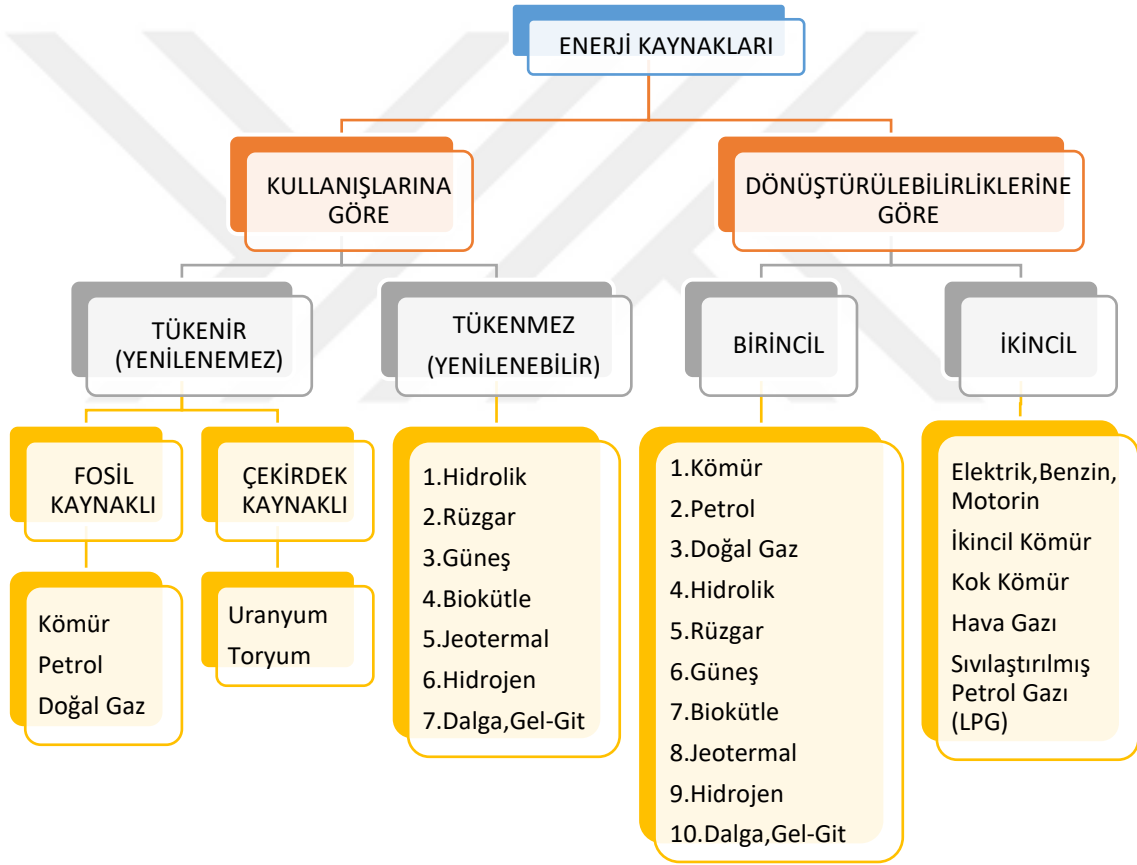
Enerji, fiziksel sistemin iş yapma kapasitesi olarak ifade edilir. İki enerji türü vardır. Bunlardan ilki depolanan enerji ile pozisyonun enerjisi olan potansiyel enerjidir, kinetik enerji ise konumdaki ve durumdaki değişime bağlı olarak oluşan enerji olarak tanımlanmaktadır ve Şekil 3.1'deki gibi iki ayrı bölümde incelenebilmektedir.



Şekil 3.1.Enerji türlerinin sınıflandırılması (Koç ve Şenel, 2013).

İç enerji, sistem moleküllerinin kinetik ve potansiyel enerjileri toplamıdır. Termodinamiğin birinci yasasında belirtilen enerjinin korunumu göre, bir sistemin toplam enerjisi sabit kalır ancak enerji başka bir forma dönüşebilmektedir.

Enerji kaynakları kullarılarına ve dönüştürülebilirliklerine göre sınıflandırılmaktadır. Kullarılarına göre yenilenebilir ve yenilenemez kaynaklar olarak, dönüştürülebilirliklerine göre ise birincil ve ikincil kaynaklar olarak ifade edilmektedir. Hiçbir dönüşüme uğramamış, ikinci farklı bir enerji kaynağından elde edilmeyenlere birincil kaynaklar ve bu birincil kaynakların dönüştürülmesi ile elde edilenler ise ikincil kaynaklar olarak isimlendirilmektedir. Birincil kaynakları kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlar, güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir kaynaklar, yeni alternatif kaynaklar olarak da hidro ve nükleer oluştururken, ikincil kaynakları ise elektrik, benzin, motorin, kok kömür ve benzeri oluşturmaktadır.



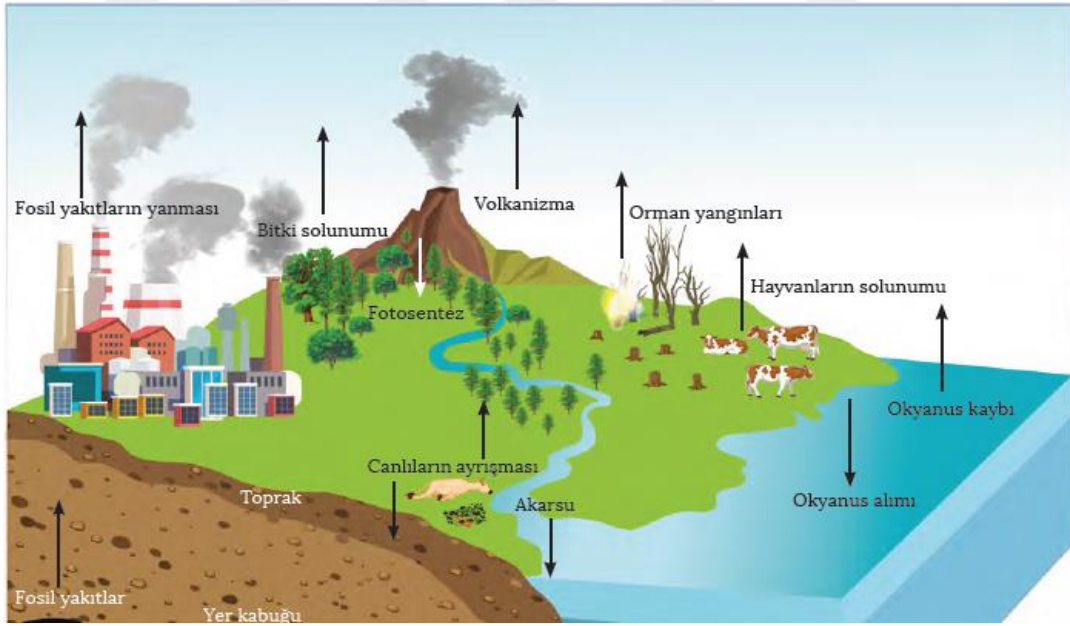
Şekil 3.2.Enerji kaynaklarının sınıflandırılması (Koç ve Şenel , 2013).

Doğal kaynak bazlı kendi kendine yenilenebilme özelliği gösteren ve tükenmez kaynaklara yenilenebilir kaynak, rezervi sınırlı ve tükenme eğiliminde olan kaynaklara ise yenilenemez kaynak denmektedir (Ferguson, 2015).

3.2.Karbon Döngüsü ve Sera Etkisi

Karbon, dünyayı oluşturan katmanlarda farklı şekillerde bulunmaktadır. Canlıların kendi yapısındaki karbonun bir kısmı solunumla diğer bir kısmı ise ölüm olayı neticesinde ayrıştırıcılar tarafından atmosfere gönderilmektedir. Karbonun diğer kısmı da kömür ve petrol gibi fosil yakıtlara dönüştürülmekte ve yer kabuğunda toplanmaktadır. Fosil enerji kaynaklarını oluşturan kömür, petrol, doğal gaz gibi maddelerin yakılarak kullanımı esnasında atmosfere yüksek oranda karbondioksit yayılmaktadır. Küresel iklim problemlerinin giderilmesi amacıyla karbon emisyonlarını yakalama, depolama ve kullanılmak üzere enerjiye dönüştürme gibi konularda çok yönlü ve kapsamlı araştırmalar sürdürülmektedir.

Dünya, güneşten gelen ışınların aksine bu gelen ışınların dünyadan çarpıp geri yansımalarının daha fazla oluşu ile ısınmaktadır. Yansıma kaynaklı bu ışınlar atmosferdeki gazlar tarafından tutulması ile dünyanın ısınmasına neden olmaktadır.

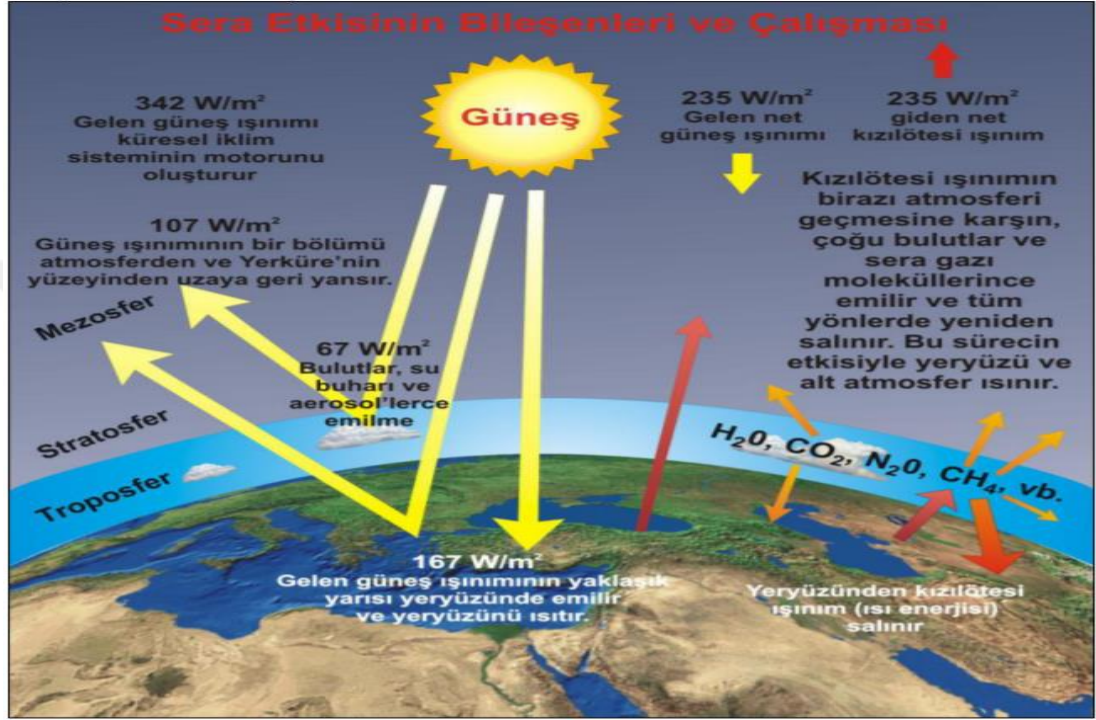


Şekil 3.3.Karbon döngüsü (Ferguson, 2015).

Karbondioksit miktarının artması ile yansıyan ışınların perdelenmesi dünya için sıcaklık boyutunun daha da artışına zemin hazırlamaktadır. Bu durumun sürekli olarak ilerlemesi ile meydana gelen etkiye sera etkisi denir. Atmosferdeki sera gazları bu süreçte küresel ısınmayı da büyük oranda artırmaktadır.

Güneş merkez sıcaklığının 8 – 40 milyar K olduğu ve yüzey sıcaklığının ise yaklaşık 6000 K olduğu tahmin edilmektedir (Nasa, 2019).

Güneşten dünya atmosferine gelen, güneş enerjisinin yıllık ortalama değeri 1367 W/m^2 ($= 1175 \text{ kcal/h.m}^2$)' dir (Nasa, 2019).



Şekil 3.4.Sera etkisinin çizimsel gösterimi (Türkeş, 2010).

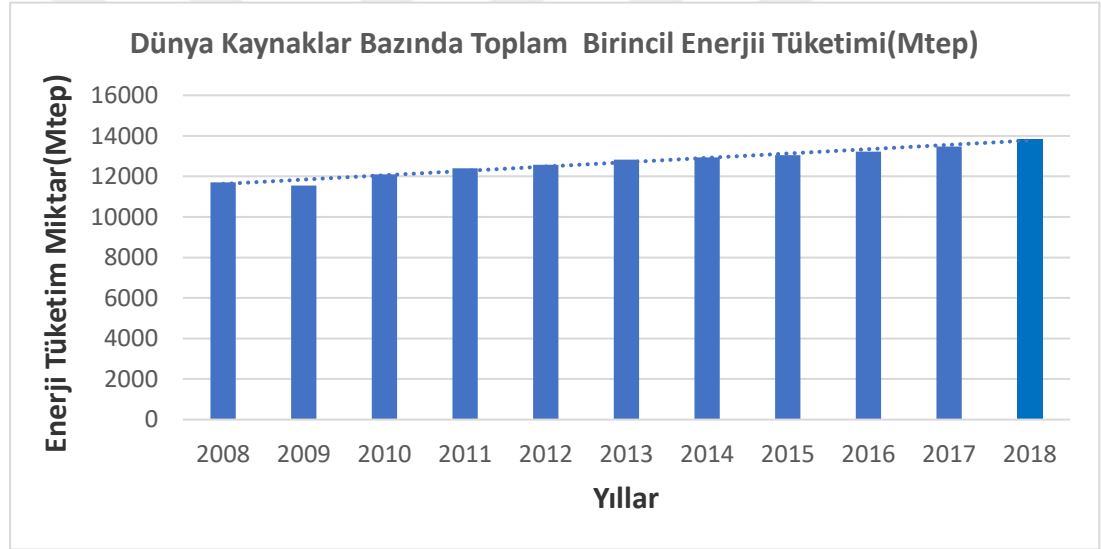
Güneş ışınımının %25'i atmosferden bulutlara çarparak uzaya geri yansımakta, %25'i de atmosferde difüzyona uğramaktadır (Nasa, 2019).

Bu ışınların %9'u uzaya geri yansımakta ve %16'sı da yerküreyi dolaylı olarak ısıtmaktadır. Ayrıca %15'i atmosferde ve bulutlarda absorbe edilmektedir. %8'i yere çarpınca uzaya yansımakta ve %27'si doğrudan yerküreyi ısıtmaktadır (Nasa, 2019).

Karbon döngüsü kapsamında fosil kaynakların kullanımının küresel dengeleri olumsuz etkilemesine karşın yenilenebilir enerji, tüm pratik uygulamalar için yenilenebilir doğal kaynaklardan elde edilen enerjidir.

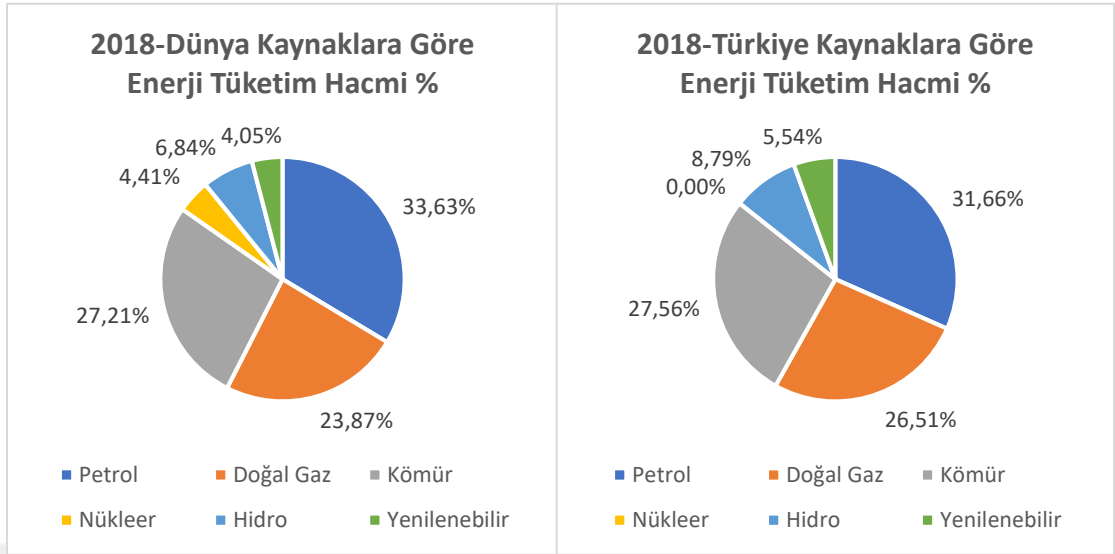
3.3.Enerji Görünümü

Yenilenebilir enerjiye dayalı teknolojilere geçiş 1973 yılında yaşanan enerji ve petrol krizi ile gündeme gelmiştir. Bunun yanı sıra günümüzde petrol ve gaz fiyatlarındaki sürekli artışın göz önünde bulundurulması hem gelecekte kaynak rezervi azalma potansiyelinin olmaması hem de dünya iklim değişikliği konularının kritik önem arz eden alternatif çözümleri ile ön plana çıkmıştır. Fosil yakıtların kaynak ve etkilerinin daha iyi anlaşılması açısından yenilenebilir enerji önem kazanmıştır. Bu süreç güneş ve rüzgâr enerjisi sistemlerinin hızla gelişmesi, önemli ölçüde ilk yatırım maliyetleri ile enerji maliyetlerinin azaltılması ve sistem performanslarının sürekli geliştirilmesi yönünde ilerlemiştir.



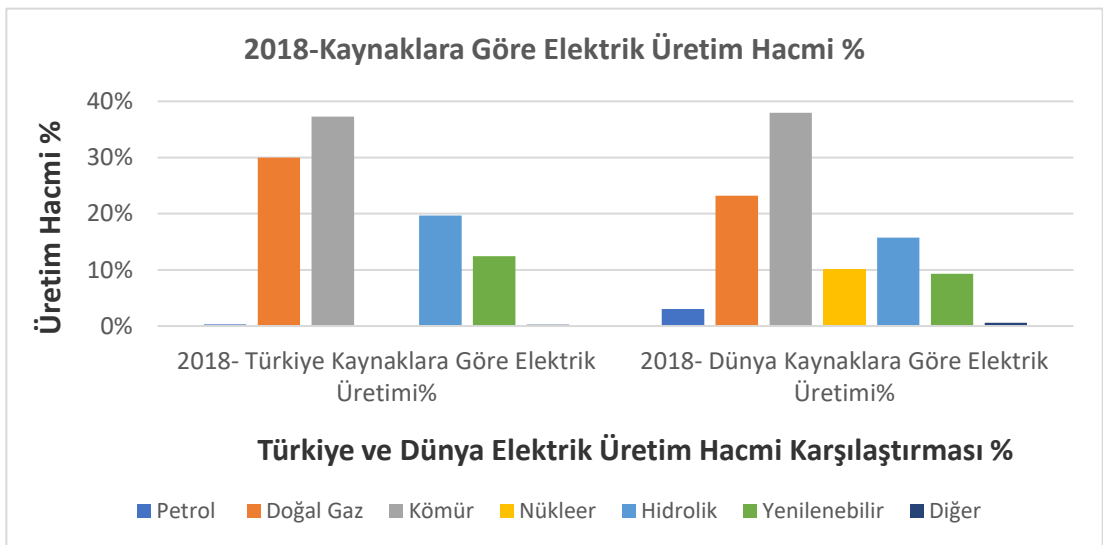
Şekil 3.5.Dünya kaynaklar bazında toplam birincil enerji tüketimi (IEA, 2018).

2018 yılında yenilenebilir enerji ortalamasındaki artış (71 Mtep), 2017'deki rekor artışa yakın olmasına rağmen, dünya enerji artış ortalamasının %14.5'i kadar artmıştır. Şekil 3.5'te dünyada enerji tüketim eğilimi sürekli olarak artış yönünde devam etmiştir. Bu kapsamda enerji dar boğazı oluşumu da meydana gelmiştir. Dünya ve Türkiye'de birincil enerji tüketiminin ise Şekil 3.6'da gösterildiği gibi ağırlıklı olarak yenilenemez kaynakların oluşturduğu söylenebilir. Hidroelektrik üretimi ortalamasının üzerinde %3.1 artarken, Avrupa üretimi %9.8 (12.9 Mtep) artmıştır. Nükleer üretim, 2010'dan bu yana en hızlı büyüme olan %2.4 artmıştır.



Şekil 3.6.Dünya ve Türkiye kaynaklara göre enerji tüketim hacmi (BP Dünya Enerji Görünümü Raporu, 2019).

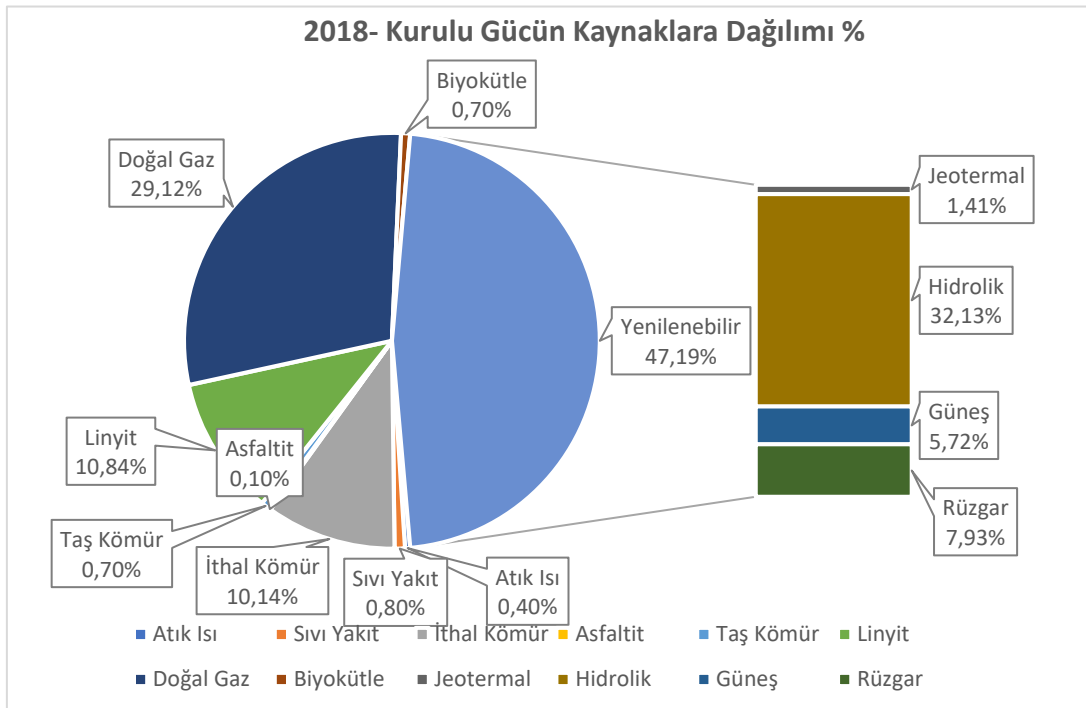
Çin (10 Mtep), küresel büyümenin neredeyse dörtte üçüne katkıda bulunmuştur, Japonya'da (5 Mtep) ise bunun yanı sıra en büyük ikinci artış olmuştur (IEA, 2019). Kullanıma ve katma değer sağlamaya yönelik yenilenebilir enerjiye dünya genelinde önemli ve büyük teşvikler sağlanmaktadır. Türkiye'nin de yer aldığı ve ortak bilinci üstlenen ülkeler iklim değişikliğine yönelik "İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi", "Kyoto Protokolü" ve "Paris Anlaşması" gibi ortak küresel sorumluluklar üstlenmektedir (Enerji Sektörel Bakış Raporu, 2019).



Şekil 3.7.Dünya ve Türkiye kaynaklara göre elektrik üretim hacmi (IEA Dünya Enerji Tüketim Raporu,2018).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın Şubat 2019 başında yayınladığı verilere göre, 2017 ile 2018 yılları arasında incelendiğinde, hidroelektrik santraller aracılığıyla üretilen elektriğin payı yaklaşık yüzde 13 artmış, rüzgârın elektrik üretimindeki payı yüzde 1.19 artmış, güneşin payı ise yüzde 0.53 artmıştır. Jeotermal kaynaklardan gerçekleştirilen elektrik üretiminin payı da yüzde 0.48 yükselmiştir (Enerji Sektörel Bakış Raporu, 2019).

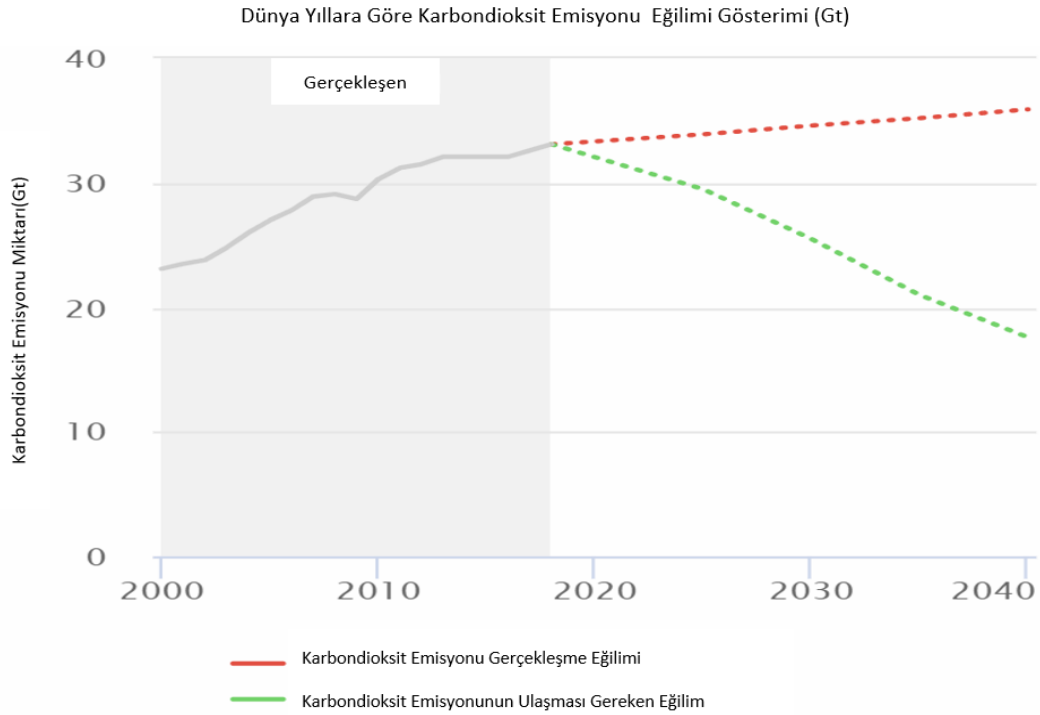
Şekil 3.8'de 2018 yılı sonu itibarıyla Türkiye'de kurulu gücün %52.81'i fosil kaynaklardan, %47.19'u yenilenebilir kaynaklardan karşılandığı görülmektedir. Güneş enerjisini etkin kullanmaya yönelik sistemlerden biri olan konsantre güneş enerjisi (CSP) üretimi 2018'de yaklaşık %8 artmıştır. 2018'de 600 MW CSP kapasitesi eklenmiş ve 2013'ten günümüze kadar en büyük yıllık artışa ve 2017'den beş kat fazla kapasiteye sahiptir (IEA, 2019). 2011 ile 2017 yılları arası karşılaştırıldığında, konsantre güneş enerjisi santralli elektrik üretimi, toplam küresel kapasitenin üç katına çıkmasıyla yılda ortalama %25 artış gösterdiğinde, 2018'de rekor düzeydeki ilavelere rağmen %8 artmıştır. Yıllık kapasite artırımının 2025'te yılda 2 GW' a, 2030'da 8 GW' a ulaşması ön görülmüştür (IEA, 2019).



Şekil 3.8. Türkiye kurulu gücün kaynaklara dağılımı (Türkiye Enerji Raporu, 2018).

Küresel enerji kaynaklı CO₂ emisyonları 2018'de %1.7 artarak en yüksek 33.1 Gt CO₂ seviyesine ulaşmıştır. 2013'ten günümüze kadar olan süreçte en yüksek emisyon büyüme oranı ve 2010'dan bugüne kadar ortalama artıştan %70 daha yüksek olmuştur. 2018 yılında artan yenilenebilir enerji kullanımı CO₂ emisyonu üzerinde daha büyük bir etkiye sahiptir, bunun büyük çoğunluğu ise enerji sektöründeki yenilenebilir enerji kaynaklarına ve hibrit sistemlere geçiş sebeplidir. Neredeyse on yılda ilk kez, 2018 yılında büyük ölçekli karbon toplama, kullanma ve depolama (CCUS) tesisleri geliştirme planlarında bir artış görmüştür. 2018 yılının sonuna kadar, yapım aşamasında veya ciddi düşünülerek faaliyette bulunan proje sayısı 43'e yükselmiştir (IEA, 2019).

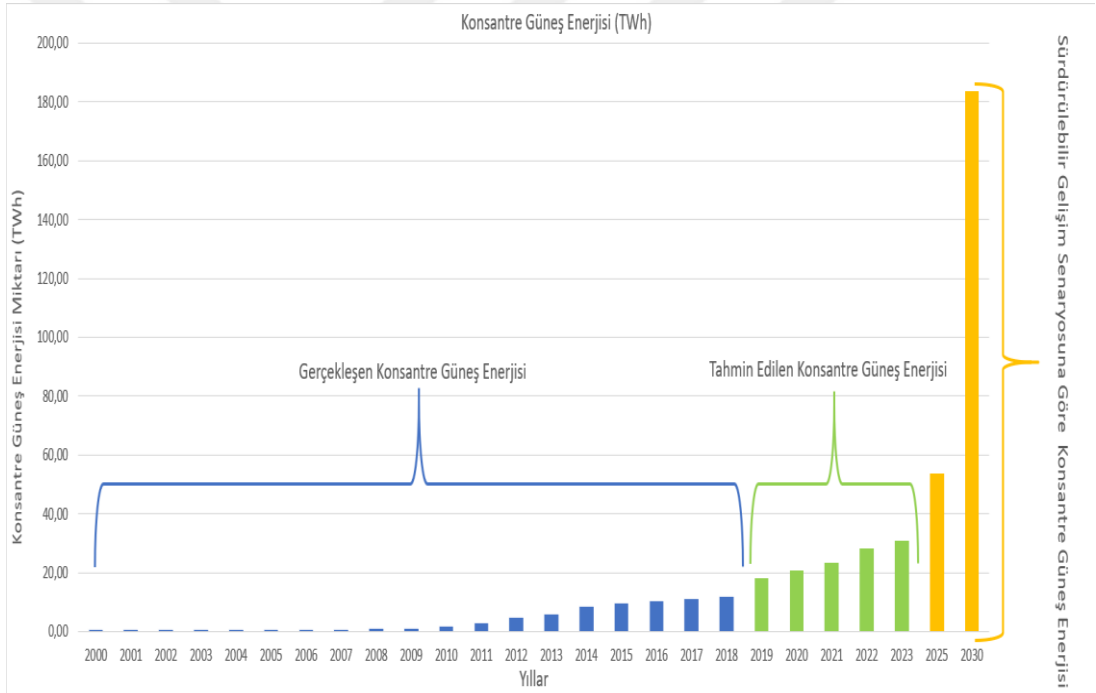
Yenilenebilir enerjinin birincil kaynağı güneş radyasyonu, yani güneş enerjisidir. Güneş enerjisi üretimi, rüzgardaki (32 Mtep) artışın hemen altında, (30 Mtep) yükselmiş ve yenilenebilir enerji artışının %40'ından fazlasını sağlamıştır. Çin yenilenebilir enerji kaynaklarına sağladığı büyüme (32 Mtep) ile tüm OECD'deki (26 Mtep) büyümeyi aşmış ve en büyük katkıyı yapmıştır (IEA, 2019).



Şekil 3.9. Enerji elde etmede karbondioksit emisyonu eğilimi (IEA, 2019).

Konsantre güneş enerjisinin 2018 ile 2023 yılları arası dönemde 4.3 GW olacağı tahmin edilmektedir. Çin, 1.9 GW seviyesinde, ardından Fas ve Güney Afrika'da çok taraflı kalkınma bankası desteği alan projelerden 1 GW, Orta Doğu'da 1 GW ve Avustralya ve Şili'de 300 MW' a ulaşması hedeflenmektedir (IEA, 2019).

En fazla kurulu kapasiteye sahip iki ülke olan İspanya ve ABD'nin tahmin süresi içinde projeleri devreye alması beklenmemekle birlikte Çin 2023'te en büyük ikinci kurulu üssüne sahip olmak için yatırımlarını bu doğrultuda sürdürmektedir. Çin, 2020 yılına kadar çeşitli pilot projelerle iddialı bir 5 GW hedefi getirmiş olsa da ilerleyiş yavaş olmuştur.



Şekil 3.10. Dünya konsantre güneş enerjisi görünümü (IEA Enerji Raporu, 2019).

Greenway Solar Firması konsantre güneş enerjisi tasarımına yönelik Türkiye'de Mersin Toroslar bölgesinde inşa ettiği 4 MW' lık pilot tesiste geliştirdiği heliostat sistemiyle bir alıcı yüzey üzerinde yoğunlaştırma işlemini başarmıştır (Asme, 2009).

MetCap Enerji Yatırım, General Electric ve E-Solar firmalarının Karaman'da kurmayı tasarladıkları toplam 530 MW gücündeki kombine santrali ilginin öncüsü olmuştur.

2015'te devreye alınması düşünölen tesisin kapasitesinin 50 MW'lık bölümünün konsantre güneş enerjisi ile desteklenen güneş kulesi sisteminden oluşacağı belirtilmiştir (Livatyalı ve Yıldırım, 2011).

Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisinde üretim odaklılık esaslı güneş enerjisini ön planda tutacak şekilde revizelerin olması ve süre gelen dönemde gerekli yasal uygulamaların teşvik artırmaya yönelik ortak noktada kesişmesi üzerine yatırımcıların da ilgisi artmaya başlamıştır.

3.4.Güneş ve Enerjisi

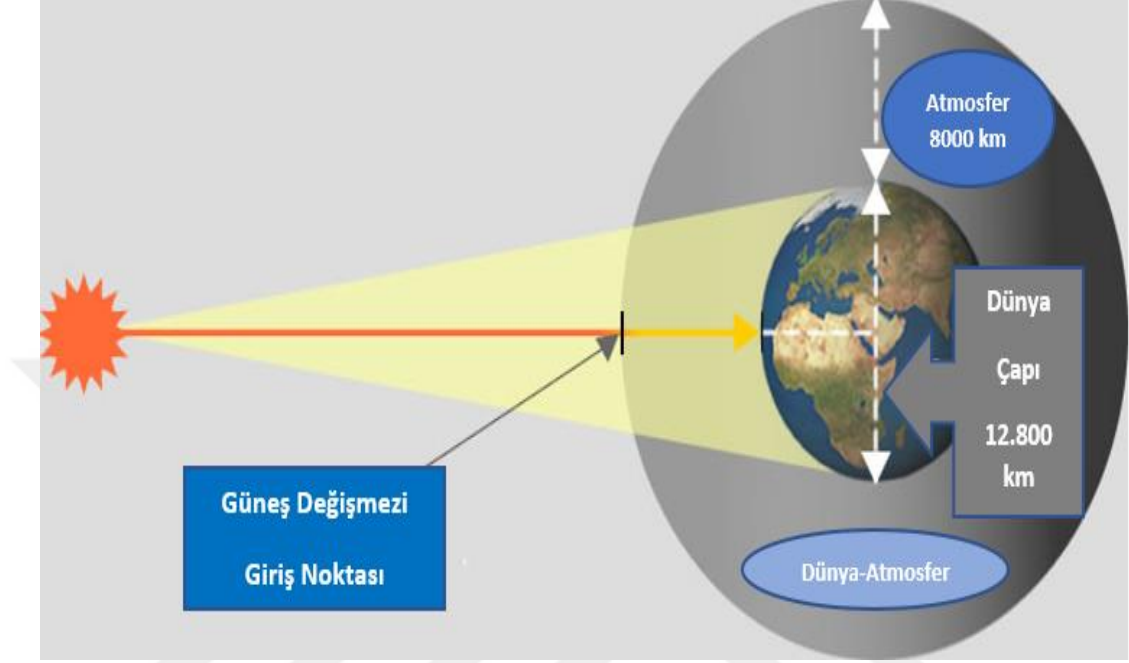
Güneş devasa bir enerji kaynağıdır ve yerküredeki yaşam döngüsü bakımından vazgeçilemez biçimde elzemdir. Güneş dünyamıza yaklaşık 150 milyon km uzaklıkta olup çapı 1.39 milyon km'dir. Dünyanın çapı ise 12.800 km'dir. Merkezindeki sıcaklığının 15.6 milyon olduğu tahmin edilen güneşin yüzey sıcaklığı ise yaklaşık 6000 °C'dir (Nasa, 2019).

Merkezindeki yüksek sıcaklık nedeni ile her saniye, 650 ton H₂'den 646 ton He meydana gelmektedir. Aradaki fark kaybolan kütleyi ifade eder ve bu kütle enerjiye dönüşerek füzyon tepkimesi meydana gelmektedir. Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde meydana gelen füzyon süreci ile açığa çıkan enerjidir. Ayrıca yapısında az miktarda neon, karbon, kalsiyum, magnezyum, silikon, demir ve oksijen de bulunmaktadır. Bu elementler güneşin yaklaşık %1'ini oluşturmaktadır (Nasa, 2019).

3.5.Güneş Işınımı

Güneş yüzeyinden 175 milyar MW radyasyon göndermektedir. Yeryüzüne ulaşan ışınlım miktarı insanlığın enerji gereksiniminin 20.000 katı kadardır (Nasa, 2019). Dünyaya gelen güneş enerjisi çeşitli dalga boylarındaki ışınlımlardan oluşmaktadır ve bu ışınlımlar güneş-dünya arasını yaklaşık 8 dakika aşarak dünyaya ulaşmaktadır.

Güneşten gelen ışınımın dağılımına bakıldığında, bunların %9'u mavi ötesi bölgede, %45'i görünür ışık bölgesinde ve geri kalan %46'sı kırmızı ötesi bölgesinde bulunmaktadır (Nasa, 2019).



Şekil 3.11.Güneş değişmezi (Encyclopedia, 2019).

Güneşten dünya atmosferine gelen, güneş enerjisinin yıllık ortalama değeri 1367 W/m^2 ($=1175 \text{ kcal/h.m}^2$) dir. Bu değer, tanım gereği, yıl boyunca değişmez kabul edilmektedir. Bu sayı "Güneş Değişmezi" olarak bilinmektedir (Nasa, 2019).

Atmosfer bu enerjinin %6'sını yansıtır, %16'sını da sönümler ve böylece deniz seviyesinde ulaşılabilen en yüksek güneş enerjisi 1020 W/m^2 olur (Nasa, 2019).

Atmosfer harici tüm dalga boyutlarında ve yılın $n=1$ Ocak'tan itibaren belirtilen günü ifade eden güneş ışınımı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır (Universetoday, 2019).

$$G_{on}=G_{sc} \left(1+0.033\cos\frac{360n}{365}\right) \quad (3.1)$$

3.5.1.Direkt radyasyon

Doğrudan güneş ışınımı , güneşten dünya yüzeyine doğru düz bir çizgide ilerleyen güneş ışınımıdır.

Güneş sistemine en büyük katkıyı sağlar ve güneş sistemini elektrik enerjisine dönüştürme yeteneği üzerinde en büyük etkiye sahiptir. "Güneş Işığı Radyasyonu" veya "Doğrudan Güneş Işığı Radyasyonu"(DNI) olarak adlandırılır (W/m^2).

3.5.2.Yayıllı radyasyon

Yayıllı (DHI) güneş radyasyonu, güneşten doğrudan bir yolla ulaşmayan ancak ışınların bulutlar, su buharı, toz ve diğer küçük havada kalan partiküller tarafından diffüz yayılıp yatay bir yüzey tarafından birim alan başına her yönden eşit olarak alındığı radyasyondur (W/m^2).

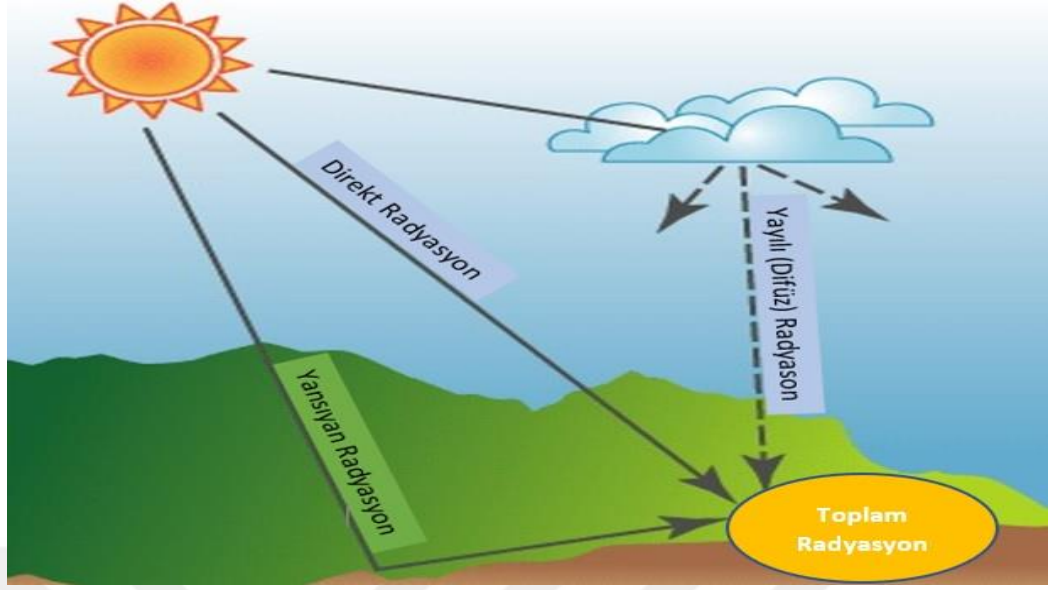
3.5.3.Yansıyan radyasyon

Yansıyan radyasyon (GRI), güneş yansımalarına dayanarak bir yüzeyden yansıyan güneş enerjisi miktarı olarak ifade edilmektedir (W/m^2).

3.5.4.Toplam radyasyon

Belirli bir sahadan alınan toplam küresel güneş radyasyonu (GHI), direkt, yayılı ve yansıyan bileşenlerinin toplamıdır (W/m^2) ve aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır:

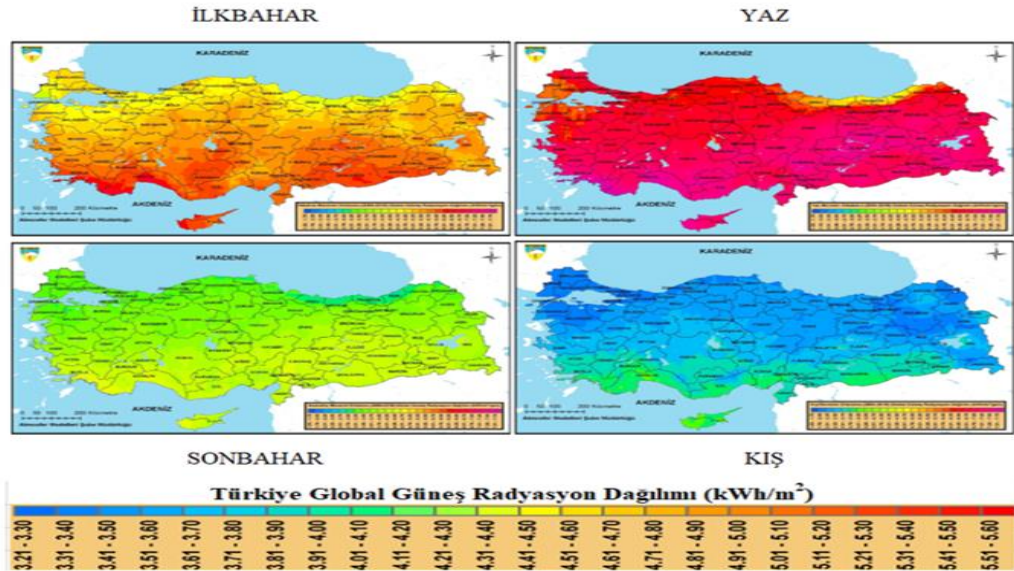
$$GHI=DNI+DHI+GRI \quad (3.2)$$



Şekil 3.12.Radyasyon çeşitleri (Solarsystemzone, 2019).

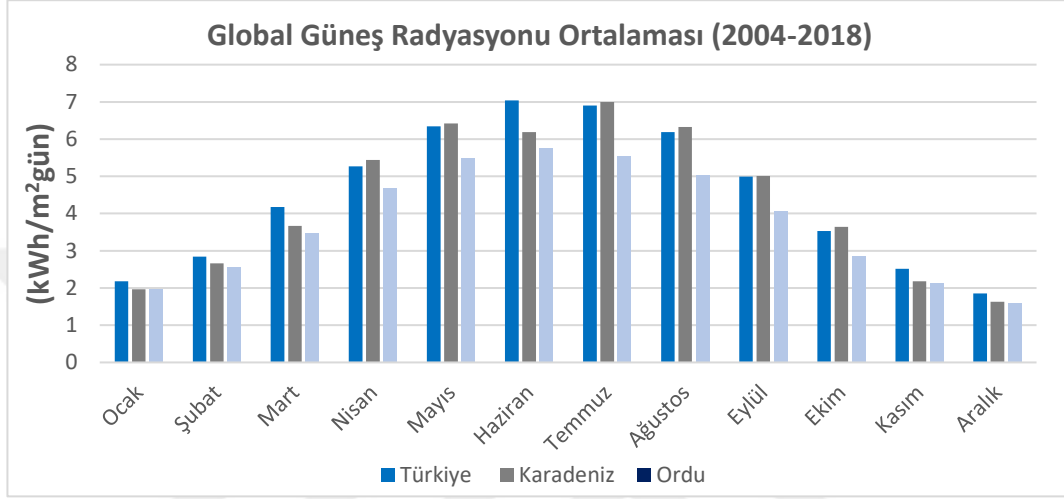
3.6.Güneş Radyasyonu ve Güneşlenme Süresi Etkinliği

Türkiye'nin konumuna bağlı güneş radyasyonu mevsimlere bağlı görünümü Şekil 3.13'teki gibidir:



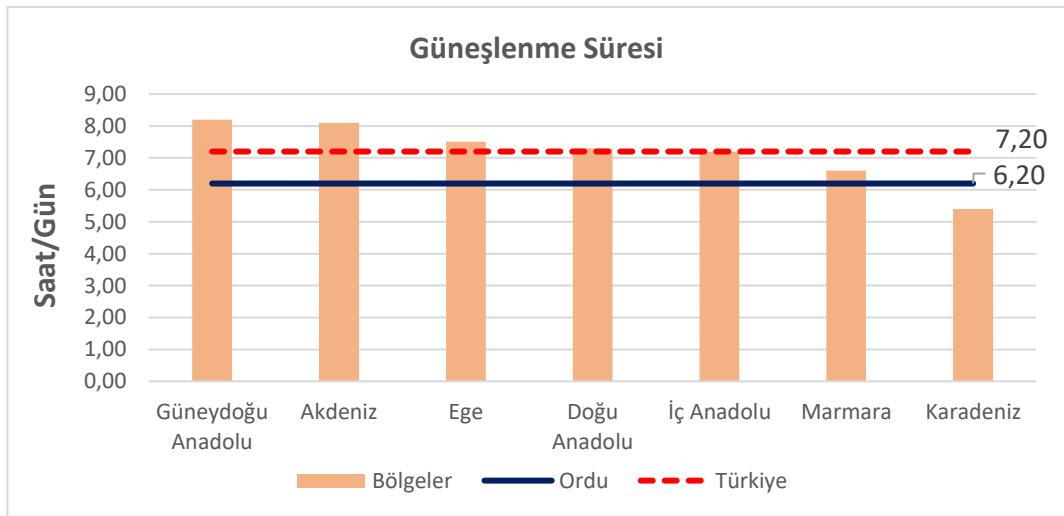
Şekil 3.13.Türkiye iklimsel global güneş radyasyonu dağılımı (MGM, 2019).

Dört mevsim güneş radyasyonu mevsimsel toplam süreci detaylı incelediğinde en düşük güneş radyasyonu olan Karadeniz Bölgesi için bile yararlanma potansiyeli yüksektir. Dünya üzerindeki bir noktanın güneş enerji potansiyeli ekvatora olan yakınlık uzaklık ilişkisi ile orantılıdır. Türkiye, ılıman kuşak ile subtropikal kuşak arasında yer almaktadır.



Şekil 3.14. Türkiye-Karadeniz-Ordu global güneş radyasyonu ortalaması (MGM, 2019).

2004-2018 Global güneş radyasyonu ortalamaları incelenip yılın tamamı düşünüldüğünde Türkiye ortalamasının 4.4855 kWh/m^2 olduğu ve Ordu ilinin değerlerine bakıldığında ise bu değer 3.7648 kWh/m^2 olduğu görülmektedir.



Şekil 3.15. Türkiye güneşlenme süresi gösterimi (YEGM, 2019).

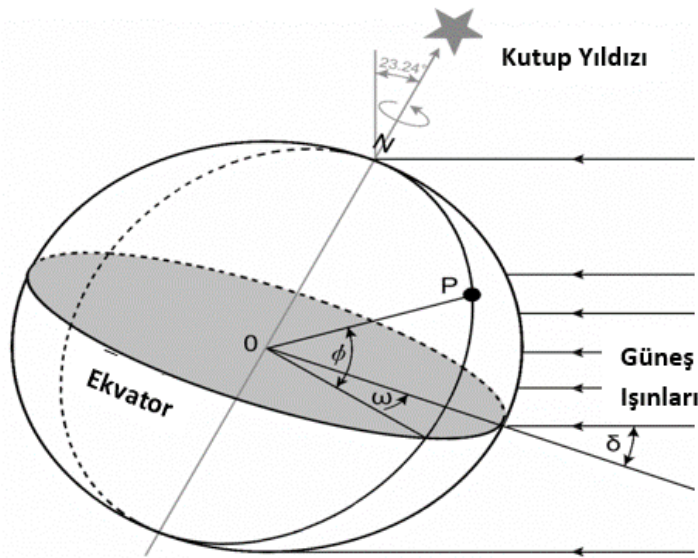
Güneş radyasyonu bakımından birçok dünya ülkesine karşın Türkiye güçlü potansiyeli ile yeni nesil teknolojik fırsatları da bünyesinde barındırmaktadır (MGM, 2019). Türkiye'nin güneşlenme süresi 7.2 saat/gündür.

Güneşlenme süresi ortalamasının altında Marmara ve Karadeniz Bölgesi bulunmasına karşın birçok dünya ülkesine kıyasla fazladır. Bu kapsamda Ordu ilinin güneşlenme süresi de 6.2 saat/gün ile potansiyel bir bölgedir.

3.7.Güneş Geometrisi

Güneş açıları, başka bir ifadeyle güneş ışınımını ifade eden güneş geometrisi, dünyanın güneş ile doğrudan ya da dolaylı hareketleri sonucunda kendine özgü geometrik şekil özelliklerinin birleşimini oluşturan ve dünya üzerine gelen ışıklardan faydalanmada açısal bağıntıları ortaya koyan konu bütünüdür.

Etkin güneş enerjisi doğru yerde doğru kullanımı ile mümkün olacaktır. Bu kapsamda güneş enerji sistemlerini oluştururken yüksek verime ulaşmak için sistem dışında dış faktör konumunda olan güneşin meydana getirdiği etkileri iyi kavramak gerekmektedir.



Şekil 3.16.P noktası için deklinasyon açısı (δ), enlem (ϕ) ve saat açısı (ω) (Itaca, 2019).

3.7.1.Enlem açısı

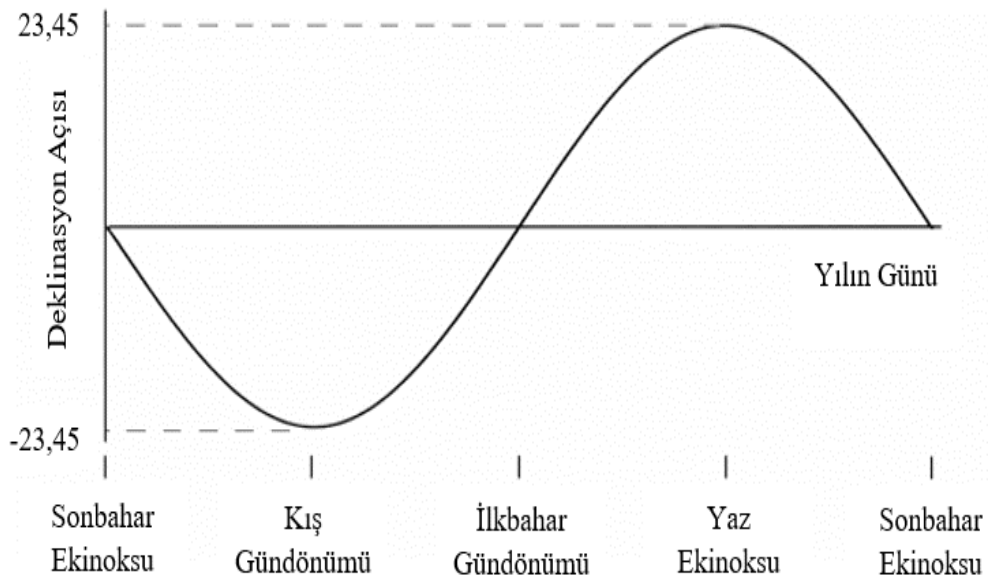
Yeryüzünde belirli herhangi bir noktanın ekvatora uzaklığının açı cinsinden ifadesi enlem açısını oluşturmaktadır. Kuzey ve güney yönünde değişmektedir. ($-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$)

3.7.2.Deklinasyon açısı

Deklinasyon(sapma) açısı, ekvator ile Dünya'nın merkezleri ve güneş arasında çizilen çizgi arasındaki açı olarak tanımlanır. Dünyanın yıllık hareketi esnasında yörünge düzlemi ile dünyanın ekvator düzlemi üst üste çakışmaz ve aralarında $23^\circ 45'$ açı vardır. Bu sapma şeklinde meydana gelen açısal değişim yaz mevsiminde maksimum 23.45° değerinde, minimum değerine ise -23.45° ile kış mevsiminde ulaşır (Duffie ve Beckman, 2006).

Deklinasyon açısı n =yılın gün sayısı şeklinde Cooper Eşitliği ile hesaplanmaktadır:

$$\delta = 23.45 \sin [(0.9863 * (284 + n))] \quad (3.3)$$



Şekil 3.17.Yıl boyunca deklinasyon açısındaki değişim (Itaca, 2019).

3.7.3.Saat açısı

Güneş ışınlarının boylamsal konumu ve gözlenen yerin konumu arasındaki açı olarak tanımlanmaktadır ve dünyanın kendi eksenini etrafında 15° dönüşü ile yerel meridyenin güneşin doğu veya batı yönünde açısal yer değiştirmesi olarak ifade edilmektedir (Duffie ve Beckman, 2006). Eşitlikte (GS)güneş saatini göstermektedir:

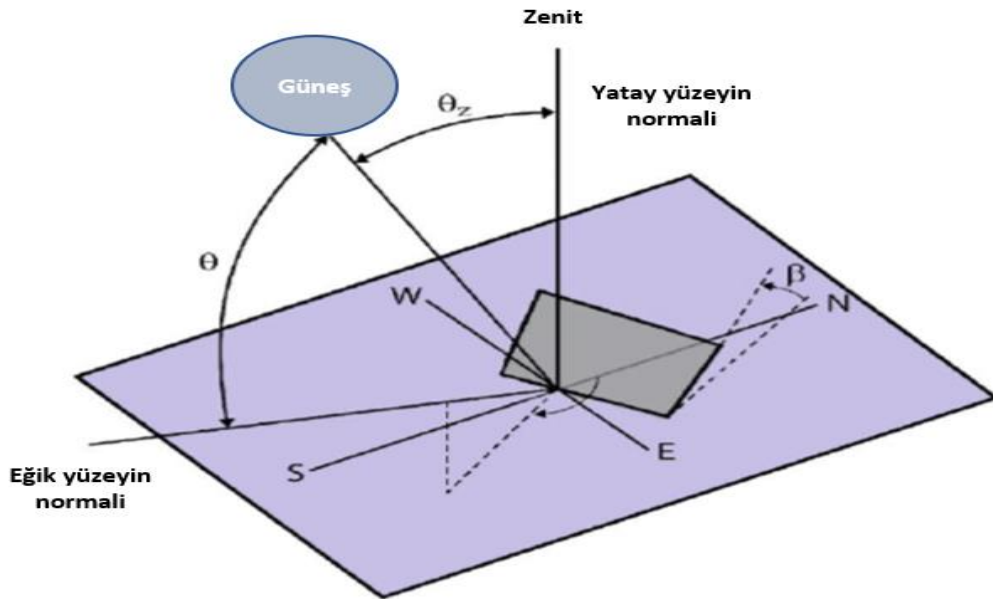
$$\omega=15(GS-12) \quad (3.4)$$

3.7.4.Eğim açısı

İstenen yüzeyin yatay düzlem ile yaptığı açıdır (Duffie ve Beckman, 2006).

3.7.5.Geliş açısı

Güneş ışınımı ile yüzeyin dikeyi arasındaki açı güneşin geliş açısı olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 3.18.Zenit açısı (θ_z), güneş geliş açısı (θ) ve eğim açısı (β) (Demain ve ark.,2013).

Yüzey güneş ışınlarına dik geliyorsa geliş açısı 0° , paralel geliyorsa 90° dir (Duffie ve Beckman, 2006). Geliş açısı aşağıdaki ile hesaplanmaktadır:

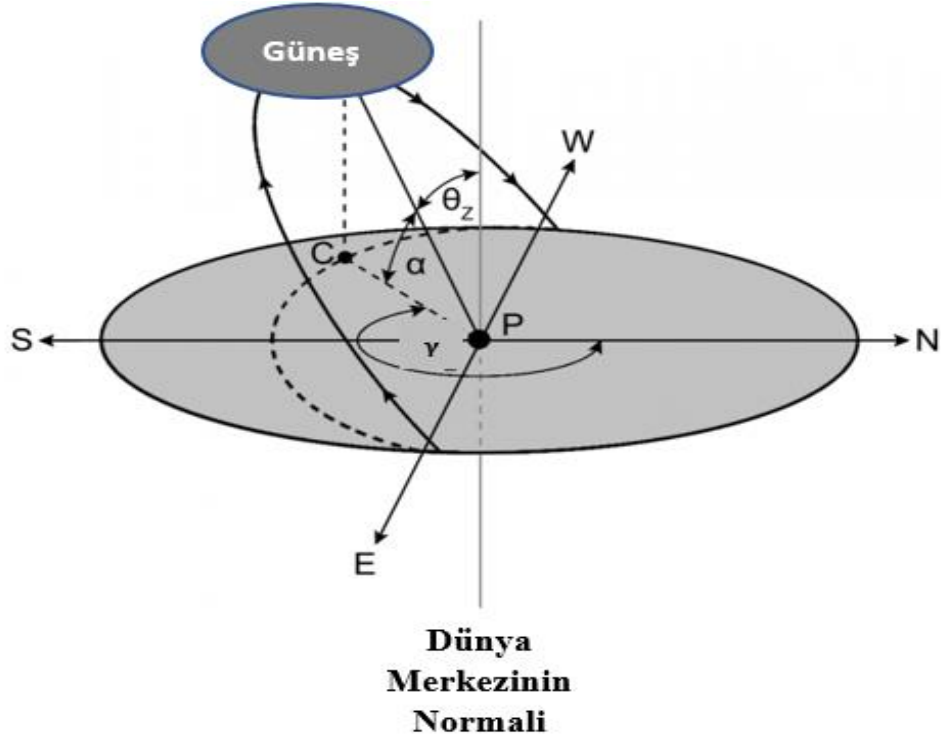
$$\theta = \cos^{-1}[\cos(\delta)\cos(\phi-\beta)\cos(\omega) + \sin(\delta)\sin(\phi-\beta)] \quad (3.5)$$

Eşitlik için δ deklinasyon açısı, ϕ enlem açısı, ω saat açısı ve β yüzeyin eğim açısı olarak ifade edilmiştir.

3.7.6.Zenit açısı

Yatay yüzeyin $\beta=0$ için güneş geldiği açı olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir ifade ile Güneş ışınımı ile yatay düzlemin normali arasındaki açıdır (Duffie ve Beckman, 2006). Zenit açısı α güneş yükseklik açısı ile ifade edilmektedir.

$$\theta_z = 90 - \alpha \quad (3.6)$$



Şekil 3.19.P noktası için zenit açısı (θ_z), güneş yükseklik açısı (α) ve yüzey azimut açısı (γ) (PennState, 2019).

Enlem açısına bağlı hesaplamalar için aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır:

$$\theta_Z = \cos^{-1} [\sin(\varnothing) \sin(\delta) + \cos(\varnothing) \cos(\delta) \cos(\omega)] \quad (3.7)$$

Eşitlik için δ deklinasyon açısı, \varnothing enlem açısı ve ω saat açısı olarak ifade edilmiştir.

3.7.7. Güneş yükseklik açısı

Güneş ışını ile yatay düzlemin arasındaki açıyı yani ufuk çizgisinden yüksekliği tanımlar (Duffie ve Beckman, 2006).

$$\alpha = 90 - \theta_Z \quad (3.8)$$

Enlem açısına bağlı hesaplamalar için aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır:

$$\alpha = \sin^{-1} [\sin(\varnothing) \sin(\delta) + \cos(\varnothing) \cos(\delta) \cos(\omega)] \quad (3.9)$$

Eşitlik için δ deklinasyon açısı, \varnothing enlem açısı ve ω saat açısı olarak ifade edilmiştir.

Güneş doğuş ve batış zamanlarının hesaplanması güneş batış açısı ile hesaplanmaktadır:

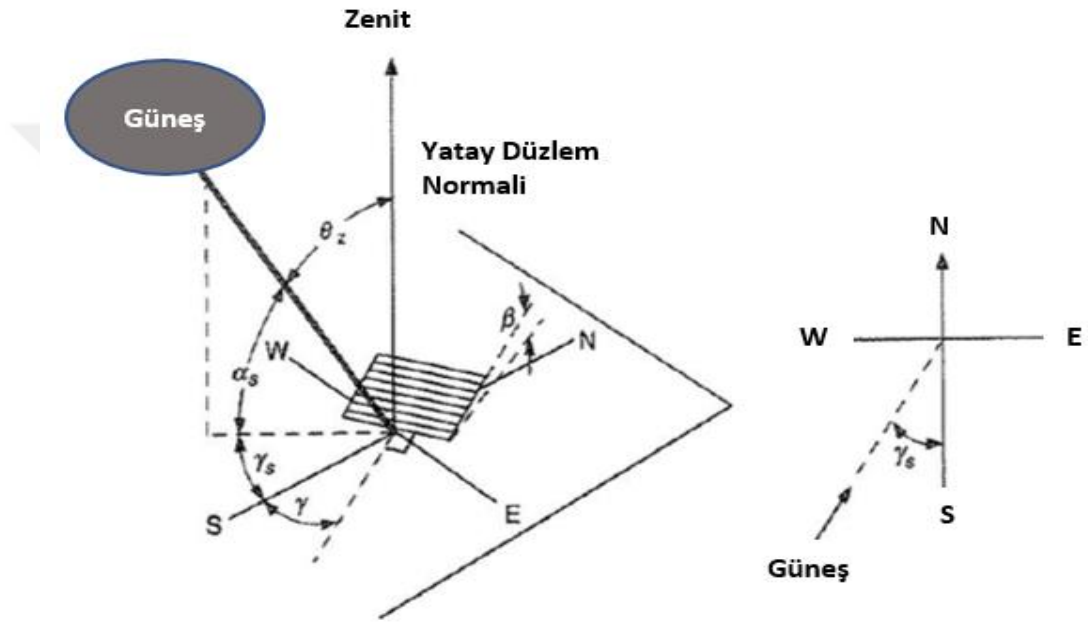
$$GB = \cos^{-1} [-\tan(\delta) \tan(\varnothing)] \quad (3.10)$$

Eşitlik için δ deklinasyon açısı ve \varnothing enlem açısıdır. Gün uzunluğunu hesaplamak için ise aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır: Eşitlik için δ deklinasyon açısı, \varnothing enlem açısı ve GB güneşin batış açısıdır.

$$N = \frac{2}{15} \cos^{-1}[-\tan(\delta)\tan(\phi)] = \frac{2}{15} GB \quad (3.11)$$

3.7.8. Yüzey azimut açısı

Yüzeyin normalinin yatay düzlemdeki izdüşümü ile güney doğrultusu arasındaki açı olarak tanımlanmaktadır. $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$ (Duffie ve Beckman, 2006).



Şekil 3.20. Zenit açısı (θ_z), güneş azimut açısı (γ_s) ve yüzey azimut açısı (γ) (Beckman, 2006).

3.7.9. Güneş Azimut Açısı

Güneş-dünya doğrultusundaki yatay düzlem izdüşümünün, kuzey-güney doğrultusuyla oluşturduğu açıdır (Duffie ve Beckman, 2006). Aşağıdaki eşitlik ile belirlenmektedir:

$$\gamma_s = \sin^{-1} \left[\frac{\cos(\delta) \sin(\omega)}{\cos(\alpha)} \right] \quad (3.12)$$

Eşitlik için δ deklinasyon açısı, ω saat açısı ve a güneş yükseklik açısı olarak ifade edilmiştir.

3.7.10.Hava kütlesi

Işık radyasyonun atmosfer sınırından geçip güneş tam yukarda iken içinden geçeceği atmosfer kütesine oranlanması neticesinde aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır:

$$m_h = \frac{1}{\cos(\theta_z)} \quad (3.13)$$

θ_z eşitlik için zenit açısıdır (Duffie ve Beckman, 2006).

Güneş enerjisi , güneş kolektörleri ve etkili olan tasarım parametreleri aşağıdaki gibi verilir:

1. Gelen güneş ışımının yoğunluğu
2. Güneşlenme süresi
3. Güneşin geliş açısı
- 4.En uygun verimlilikteki sıcaklık
5. Malzeme ve tasarım yapısı (Penn, 2019).

BÖLÜM 4. PARABOLİK OLUKLU YOĞUNLAŞTIRICILAR

Güneş kaynaklı enerji teknolojileri, güneş fotonlarını doğrudan elektriğe dönüştüren hücre yapılı fotovoltaik sistemler ile güneş enerjisini üzerinde toplayan ve aracı akışkana ileten termal sistemler olarak ikiye ayrılmaktadır (Dupeyrat ve ark., 2014).

Termal sistemler düzlem kollektörler ve yoğunlaştırıcı sistemler olarak sınıflandırılmaktadır. Yoğunlaştırıcı sistem teknolojileri incelendiğinde Şekil 4.1'deki gibi sınıflandırma yapılmaktadır.



Şekil 4.1. Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri (Dupeyrat ve ark., 2014).

Yoğunlaştırılmış (Konsantre) Güneş Enerjisi Teknolojisi: Güneş kollektörleri güneş ışığının yoğunlaştırılması ve emilmesine bağlı olarak ısıya dönüştürmektedir. Bu ısı sıvı veya gaz halindeki akışkana aktarılmaktadır. Bu akışkan kaynak ve fonksiyona göre su, yağ, erimiş tuz, hava, azot, helyum vb. olmaktadır (Sharma ve ark., 2014).

Sistemlerin tarzına göre ulaşılacak aracı akışkan sıcaklıkları farklılaşmaktadır. Maksimum sıcaklık parabolik oluklularda yaklaşık 700 °C olurken paraboloidal sistemlerde 3000 °C' ye kadar teorik olarak çıkmaktadır.

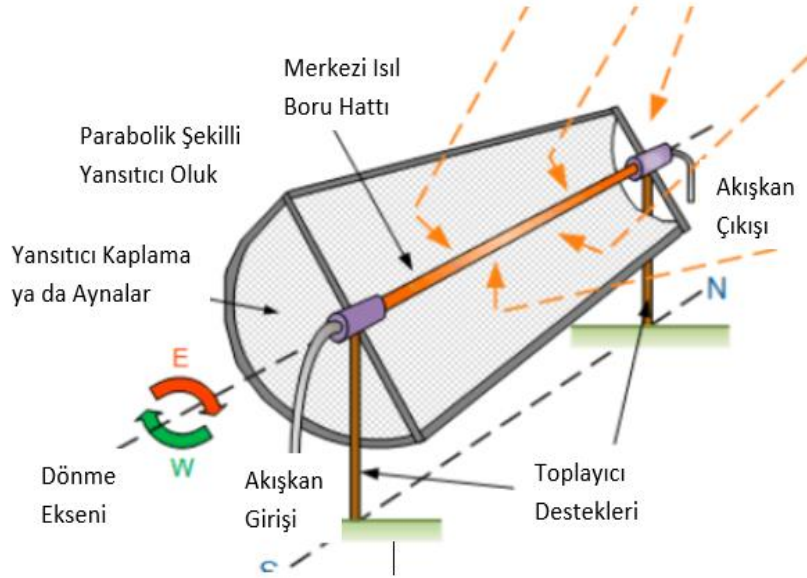
Parabolik oluklu sistemler gerçekleştirilmeleri bakımından daha kolaydır. Bu sistemlerde doğrudan proses ısısı elde edilebilirken, buhar türbinleri çevrimleri vasıtasıyla elektrik üretimi de yapılmaktadır.

4.1.Parabolik Oluklu Güneş Kollektör Yapıları

Parabolik oluklu güneş kolektörleri dört ana bileşenden oluşmaktadır:

- Parabolik yansıtıcı
- Absorber boru/tüp
- Taşıyıcı kaide ve destek yapısı
- Takip Sistemi (Alternative Energy Tutorials, 2018).

Sistem şematik görünümü Şekil 4.2’de verilmektedir:



Şekil 4.2.Parabolik oluklu sistemlerin genel konsepti (CSP Technology, 2019).

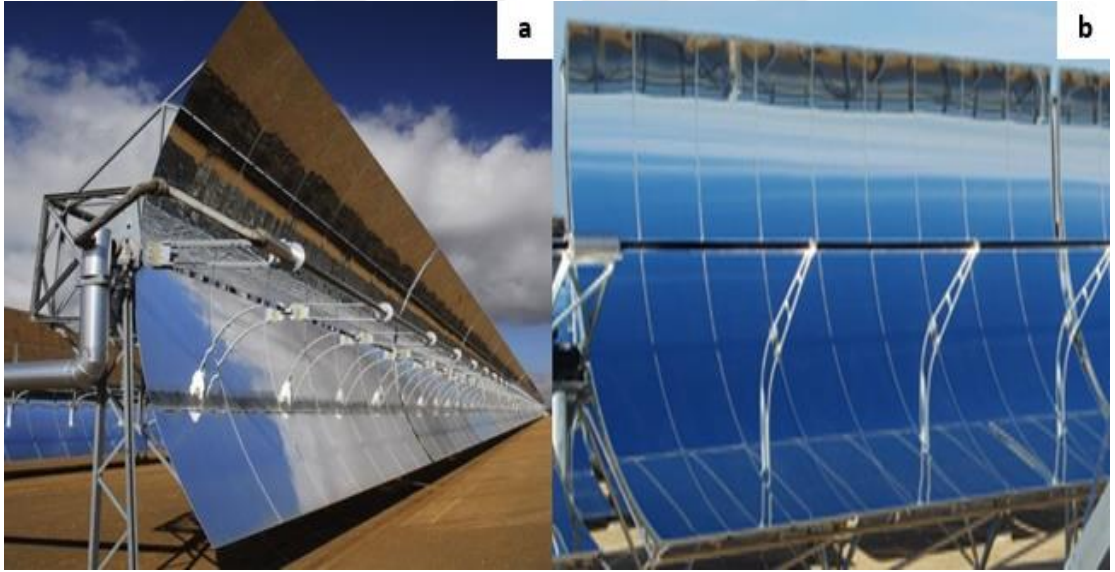
4.1.1.Parabolik yansıtıcı

Parabolik yansıtıcı tıpkı ayna gibi görev yapmaktadır, güneş enerjisini yoğunlaştırarak yansıtmaktadır.

Yansıtılan bu ışınlar parabolik oluğun odak çizgisi boyunca yerleştirilen emme kapasitesi yüksek seçici absorberlerden oluşan boru/tüplere gönderilmektedir.

Teoride parabolik oluklu sistemler güneşi iki eksenli (kuzey-güney ve doğu-batı) uygun düzenekler ile takip edilebilmesi mümkündür. Takip sistemi bu tarz olan tasarımlar sistem büyüklükleri ve sistem maliyetleri bakımından çok tercih edilmemektedirler.

Bu tarz kollektörlerde genellikle tek eksenli takip sistemiyle yetinilmektedir. Parabolik yansıtıcıların yansıtma verimlerinin olabildiğince yüksek olması beklenmektedir. Bu yansıtıcılar parabolik oluk haline getirilmiş camın dış yüzeyine gümüş kaplama yapılarak veya polyester benzeri temel malzemeler üzerine iç yüzeyi yansıtma özelliği çok yüksek özel imalat alüminyum folyo filmler kaplanması suretiyle imal edilmektedirler, Şekil 4.3 (Alternative Energy Tutorials, 2018).

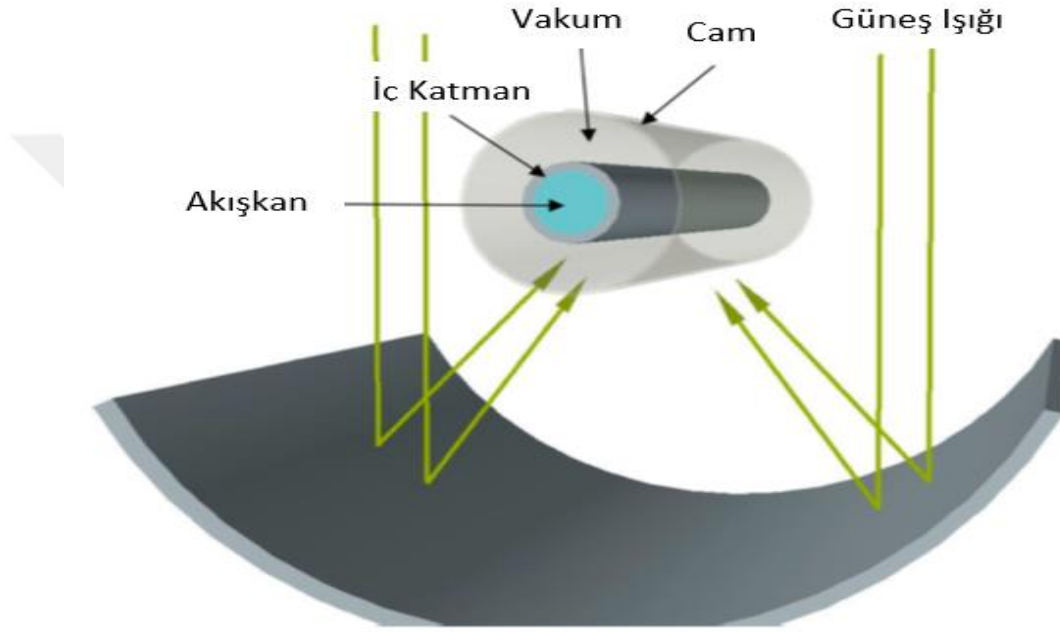


Şekil 4.3.Yansıtıcı ayna malzeme yapısı: (a)Alüminyum folyo film kaplama (b)gümüş nitrat kaplama (Alternative Energy Tutorials, 2018).

4.1.2.Absorber boru/tüp

Parabolik oluklu yansıtıcı yüzeyin odak ekseninde konumlandırılmış Şekil 4.4'teki alıcı tüp, emilen güneş enerjisini içerisinden geçen akışkana aktarılmaktadır.

Alıcı tüpün daha verimli hale getirilmesi için genellikle iki katmandan oluşturulmaktadır. Şeffaf ve güneş ışınlarına yansımayı önleyici, konveksiyon ve radyasyon kayıplarını azaltabilen, yüksek sıcaklıklar altında mukavemet ve geçirgenliği koruyabilen, ayrıca iç kısmı bakır veya nikelin bulunduğu cam yapılmaktadır (Archer ve ark., 2007). İç tabakanın kaplı olması, güneş radyasyonunu emerek termal radyasyon kayıplarını ve uzun dalga enerjisi spektrumu için düşük emisyon kabiliyetini azaltmaktadır (Archer ve ark., 2007).



Şekil 4.4.Parabolik oluklu sistemlerde alıcı tüp konsepti (Leemrani ve ark., 2018).

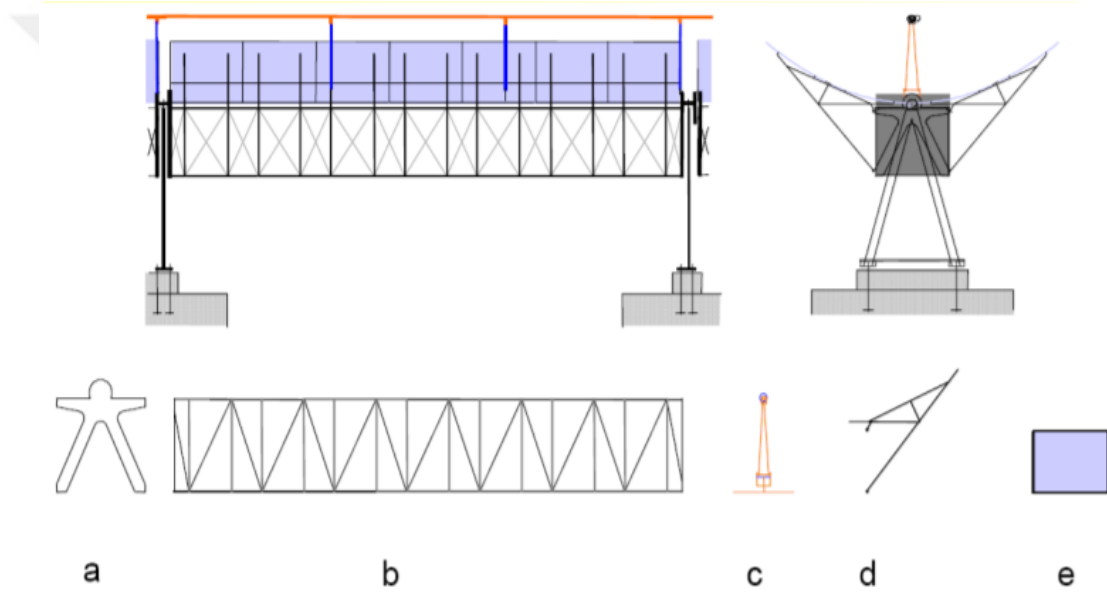
4.1.3.Taşıyıcı kaide ve destek yapısı

Parabolik olukların taşıyıcı yapısı, yansıtıcı aynalarda doğru pozisyonu sağlama, parabolik olukların muntazamlığının temini ve güneş takip sistemi için destekleme vb. önemli fonksiyonlara sahiptir.

Parabolik oluklu güneş kolektörünün taşıyıcı yapısı çelik veya alüminyumdan oluşmuştur. Taşıyıcı yapıyı oluşturan elemanlar Şekil 4.5'te verilmiştir. İdeal parabolik kolektör şeklindeki herhangi bir sapma, sistemin optik verimliliğinde kayıplara neden olduğundan yeterince rijit ve sağlam yapıda olmalıdır.

Malzeme yapısındaki rijitlik ve sağlamlık arttıkça daha uzun olukların tasarımına olanak tanınmaktadır. Böylece taşıyıcıların ve takip mekanizmalarının sayısı azaltılmaktadır. Bu da maliyetleri azaltmak için önemli bir kriterdir (Kupta ve ark., 1981).

Taşıyıcı sistemin dayanımlarının yanı sıra temellendirilecek yeri zayıf ise takip mekanizmalarının kullanımına uygun, hafif ve esnek hareket yapısında olmalıdır. Rüzgâr yükü ya da kendi ağırlığından dolayı deforme olmamaları önemlidir (Lüpfert ve Schiricke, 2009).



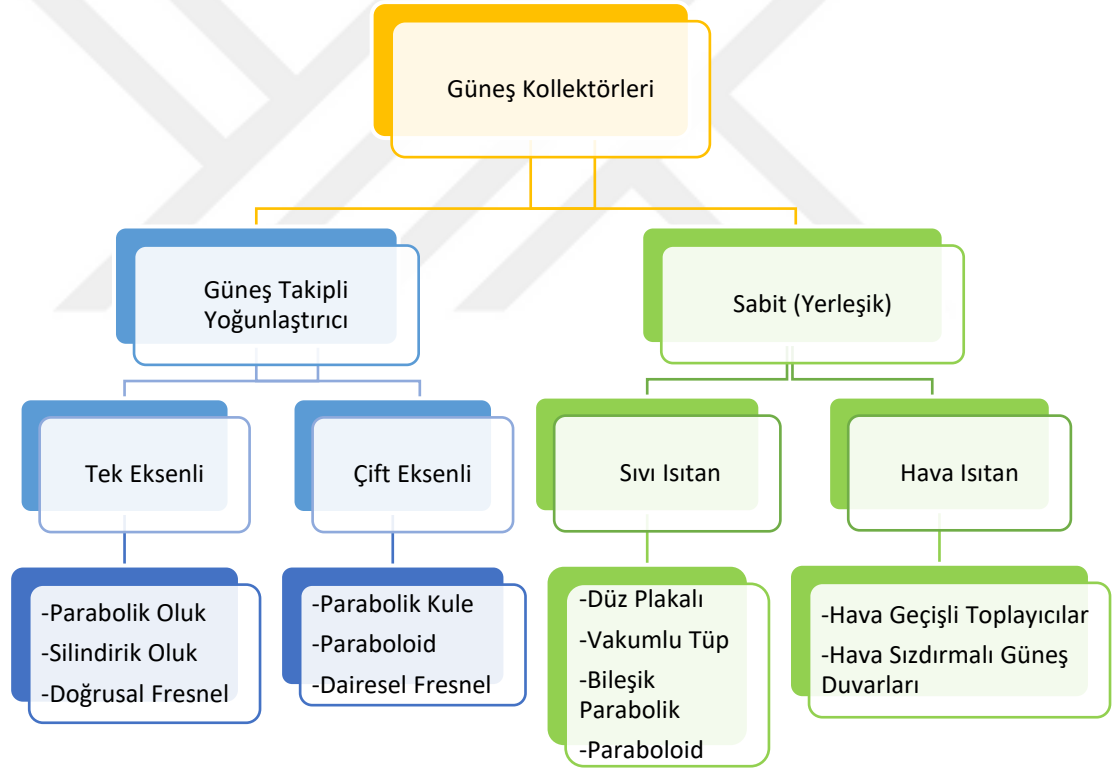
Şekil 4.5.Parabolik güneş kolektörleri için taşıyıcı elemanlar: (a) Taşıyıcı ayaklar, (b) ayna destek profilleri, (c) Absorber boru taşıyıcı yatak ve destekleri, (d) güneş takip sistemi hareketli mekanizma kolu, (e) yansıtıcı ayna. (Castañeda ve ark.,2006).

4.1.4.Takip sistemi

Takip cihazı ile parabolik oluklu güneş kolektör sistemini güneş ışığına göre konumlandırmak ve maksimum radyasyon miktarının odak çizgisine yansıtacağından emin olmak için aksenal güneş izleme sağlanmaktadır. Sabit halde yerleşik kolektör sistemleri yaklaşık $30 \text{ kg} / (\text{m}^2\text{h})$ kütle akışlarında çalışmaktadır ancak kolektör ara bağlantısına, istenen sıcaklık artışı ve kontrolüne bağlı olarak kütle akışları çok daha farklı olmaktadır (Rincon ve ark., 2002).

Her gün sabahdan akşama doğru gökyüzünde hareket ederken güneşi izlemek için parabolik oluklu sistemin uygun yönlendirilmesi sağlanmaktadır. Bu, verimliliği artırabilen ve güneş ısı kazancını üst seviyeye çıkarabilecek en önemli hususlardan biridir (Sharma ve ark., 2014).

Günümüzde metalürjik ve optik açıdan optimum değerlendirmeye yönelik olarak çeşitli güneş kolektörleri mevcuttur. Takip sistemi güvenilir ve güneşi belirli doğruluk derecesinde takip edebilir özellikte olmalıdır. Güneş kolektörleri, sabit (yerleşik) ve izleme odaklı dahil olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır, Şekil 4.6 (Kalogirou ve ark., 2004a).



Şekil 4.6. Takip durumuna göre güneş kolektörlerinin sınıflandırılması (Kalogirou ve ark., 2004b).

Parabolik oluklu mekanizmayı günün sonunda ya da güneş ışınımının olmadığı gece boyunca başlangıç konumuna geri getirmelidir. Dış şartlara bağlı perdeli durumlar ve bulutlu periyotlarda da izlenmelidir (Kupta ve ark., 1978).

Takip mekanizmaları ayrıca koruyucu maksatla da kullanılmaktadır, yani kollektör sistemini rüzgâr tesiri ,aşırı ısınma ve termal akış düzensizliği vb. tehlikeli çevresel ve çalışma koşullarından korumak için odaktan uzaklaştırmaktadır.

İzleme mekanizmasının gerekli doğruluğu, kolektörün kabul açısıyla orantılıdır (Cope ve ark.,1981). Takip sistemleri mekanik ve elektrikli / elektronik sistemler olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadır. Elektronik sistemler mekanik sistemlere göre sensörlü çalışma, bilgisayar destekli servo motor kontrolü ile izleme verileri açısından daha güvenilir ve doğru sonuçlar vermektedir (Nuwayhid ve ark., 2001).

Yoğunlaştırma oranı Eşitlik 4.1. ile güneş yoğunlaştırıcı sistemlerinin verimlerinin performans göstergesi olarak hesaplanmaktadır:

$$\text{Yoğunlaştırma Oranı} = (\text{Toplayıcı Açıklık Oranı})/(\text{Yutucu Yüzey Alanı}) \quad (4.1)$$

4.2.Parabolik Güneş Kollektörleri ile Proses Isısı Elde Etme

Endüstride veya işletmelerde gereksinim duyulan şartlara göre 40 °C' den 200 °C ve üzerindeki sıcaklıklara kadar proses ısısı eldesi hedeflenebilmektedir. Proses ısısı ihtiyacı genellikle doğrudan fosil yakıtların yakılması sonucu elde edilmektedir. Alternatif ve sürdürülebilir olarak farklı biçimlerdeki güneş kollektörleriyle proses ısısı üretilebilmektedir. Düzlem kollektörlerle 75-80 °C' lere kadar sıcaklık elde edilebilmekte iken silindirik parabolik sistemlerle 600-650 °C' lere kadar ulaşabilmek mümkündür. Ayrıca kombine bileşik ısı ve elektrik eldesine yönelik tesisler kurmak mümkündür. Günümüz teknolojileriyle kombine ısı, elektriksel güç ve soğutma eldesini birlikte tasarlayıp gerçekleştiren projeler bulunmaktadır ve bu projelerin sayıları artmaktadır. Bu tarz sistemlerde absorpsiyonlu ve adsorpsiyonlu soğutma sistemleri gibi düşük sıcaklıkta soğutma eldesi yöntemleri kullanmak gerekmektedir. Bileşik sistemler vasıtasıyla toplam verimi %85'ler seviyesine getirebilmek mümkündür. Proses ısısının atık ısılardan elde edilmesi enerjiyi ve kaynakları daha etkin kullanmanın önemli bir yoludur. Bu tarz sistemlerde genellikle indirekt olarak aracı akışkanın enerjisi ısı değiştiriciler yoluyla kazanılarak değerlendirilmektedir.

Burada fazladan kullanılan pompalar veya fanlar ve sistem aktarma verimleri ile kayıplar mutlaka ortaya çıkmaktadır. Konsantre güneş kolektörleriyle proses ısısının eldesi ve aracı akışkan olmaksızın doğrudan iş akışkanına, bu enerjinin kazandırılması daha kompakt, daha etkin sistemlerin kullanılabilmesi yolunu açmaktadır. Bu çalışmada silindirik parabolik kollektörlü güneş enerjisi sisteminin doğrudan havayı ısıtmada değerlendirilmesi irdelenmektedir.

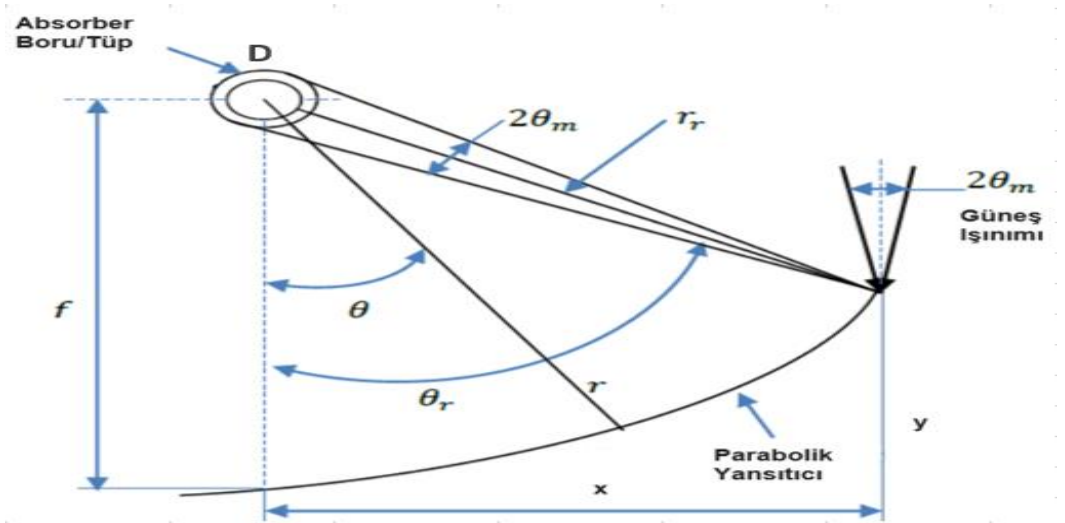


BÖLÜM 5. PARABOLİK OLUKLU YOĞUNLAŞTIRICI TASARIMI

Bu bölümde; parabolik oluklu güneş kolektörünün istenilen nitelikteki ihtiyacı karşılamaında önemli olan sistem iç ve dış faktörleri incelenmiştir. Güneş radyasyonundan en verimli şekilde yararlanma uygun iş akışkanını seçimi, absorber boru/tüp, parabolik yansıtıcı, taşıyıcı kaide ve destek yapısı, takip sistemi tasarımları ve bunlar arasında optimal seviyede uyum sağlanması aşamalarından oluşmaktadır.

5.1. Optik Parabolik Yansıtıcı Boyutlandırması

İdeal şartlarda sistem üzerine gelen güneş enerjisinin tamamı parabolik yansıtıcılar tarafından yansıtılır ve absorber tarafından emilir. Bunun yanında gerçekte ise parabolik yansıtıcıların optik verimliliği güneş izleme hatası, geometrik hata, yüzey pürüzlülüğü, yüzey kirliliği vb. iç faktörlere ve güneş ışınımının perdelenmesi gibi sistem dışındaki dış faktörlere dayanmaktadır.



Şekil 5.1. Alıcı ve parabolik yansıtıcı üzerinde açıları gösteren kesit.

İç ve dış faktörler kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen biçimleriyle sistem performanslarını etkilemektedir. Bir alıcı absorber boru/tüp ve bir yansıtıcı kesiti Şekil 5.1'de gösterilmiştir.

Gelen güneş ışınımı parabolik kollektör sistem yansıtıcısına çarptığında, kenar açısı θ_r olarak bilinen bir açı yapmaktadır (Duffie ve ark., 2006).

$$\theta_r = \tan^{-1} \left[\frac{8\left(\frac{f}{y}\right)}{16\left(\frac{f}{y}\right)^2 - 1} \right] = \sin^{-1} \left(\frac{y}{2r_r} \right) \quad (5.1)$$

Şekil 5.1'de gösterilen yarıçap, r , aşağıdaki denklem ile belirlenmektedir (Kalogirou ve ark., 2009b).

$$r = \frac{2f}{1 + \cos\theta} \quad (5.2)$$

θ Odadaki yansıyan ışın ile kollektör eksenini arasındaki açı, f parabol odak uzunluğudur ve 0 ile kenar açısı arasında değişmektedir. Eşitlik (5.3)'te θ yerine θ_r yazılıp hesaplanırsa r_r kenar açısına bağlı parabol yarıçapı hesaplanmaktadır (Duffie ve ark., 2006).

$$r_r = \frac{2f}{1 + \cos\theta_r} \quad (5.3)$$

Parabolik yansıtıcı modelin yüzey uzunluğu Eşitlik (5.4) ile hesaplanmaktadır (Duffie ve ark., 2006).

$$L = 2 \int_a^b \sqrt{1 + (y')^2} dx \quad (5.4)$$

Parabolik yansıtıcı modelin odağı, Eşitlik(5.5)'de genel parabol denklemi ile hesaplanmaktadır:

$$f = \frac{x^2}{4y} \quad (5.5)$$

Parabolik yansıtıcılar güneş ışınlarını direkt olarak absorber boru/tüp üzerine odaklayarak iletmesi sebebiyle önemlidir. Bu açıdan yansıtıcıların güneş ışınlarını yansıtıcı özelliği yüksek, tutucu özelliğinin ise düşük olması tercih edilmektedir.

Yeryüzüne gelen güneş ışınımının kayıplara uğrayarak ulaşması açısından parabolik yansıtıcıların yüzey malzemeleri de sadece yansıtma özelliği ile değerlendirilmemeli ve sistem dışından gelebilecek tüm olumsuz etkiler açısından uygun seçim yapılmalıdır.

Tablo 5.1.Bazı yüzeylerin yansıtıcılık özellikleri (ASTM,2014).

Yansıtıcı Yüzey Malzemesi	Yansıtıcılık Oranı (ρ)
Saf parlak alüminyum	0.84
Mat anodize alüminyum	0.83
Cilalı alüminyum	0.70
Polisaj kaplı nikel-krom-molibden alaşımlı çelik	0.92
Cilalı krom	0.65
Beyaz vitreus emaye	0.70
Bakır	0.75
Cilalanmış nikel	0.55
Gümüş	0.93
Çıplak çinko-alüminyum çeliği	0.75
Reçine kaplı çinko-alüminyum çeliği	0.60
25 μ m beyaz kaplamalı çinko-alüminyum çeliği	0.70
Altın	0.77
Gümüş nitrat kaplı ayna	0.94

Tablo 5.1'de yansıtıcı yüzey malzemelerinin yansıtma oranları gösterilmiştir. Seçim kriterleri ışığında yoğun olarak aynalar ve gümüş kaplı yüzey malzemeleri kullanılmaktadır.

Gümüşün yansıtma özelliği yüksek fakat pahalı olduğundan her yer için yaygın olarak tercih edilememektedir. Alüminyum ve alüminyum bazlı yüzey malzemeleri yansıtıcılık özelliği bakımından orta seviyelerdedir. Uygun fiyatlı olmasının yanında toz ve darbelerle karşı hassas davranış gösterirler.

5.2.Absorber Boru/Tüp Boyutlandırması

Absorber boru/tüp tasarımını temelde ısı emici yapı ve cam örtü yapı oluşturmaktadır. Absorber boru/tüp bileşenlerinde en önemli kriter ise optik verim ile ısı verim arasında optimizasyon sağlamaktır. Geometrik boyutlandırma ve malzeme seçimi optimizasyon için en önemli faktörlerdir. Emici boru çapının büyümesi kesit alanının büyümesine neden olmakta ve parabolik yansıtıcı yüzey üzerinde daha büyük bir alanda gölgeleme yaparak yoğunlaştırma oranını düşürmektedir. Kesit alanın büyümesi çevreye olan ısı kaybını artırmaktadır. Emici boru için minimum olması gereken çap Eşitlik (5.6) ile hesaplanmaktadır (Duffie ve ark., 2006).

$$D_{\min} = \frac{x}{\sin\theta_r} \sin\left(\frac{\theta_s}{2} + \frac{\delta_{eb}}{2}\right) \quad (5.6)$$

Emici boru çapının küçülmesi ile kesit alanı da küçülmekte ve bu durum çevre ile olan ısı kaybını azaltmaktadır. Çap ölçüsünün küçültülmesi boru içindeki akış hızını artırarak türbülans meydana getirmektedir. Bu durum akışkan odaklamayı sağlamaktadır ancak daha geç sürede istenilen sıcaklığa ulaşılması nedeniyle olumsuz etki yapmaktadır. Çap ölçüsünün küçültülmesi, sistem odağına yoğunlaştırma için güneş ışınımı ile yansıtılmak istenen enerji iletimini zorlaştırmaktadır. Geometrik yoğunlaştırma oranı Eşitlik(5.7) ile ifade edilmektedir (Duffie ve ark., 2006). Geometrik oran ne kadar büyük olursa sistemin güneş ışınlarını konsantre etme derecesi ve buna bağlı konsantrasyon sıcaklığı o kadar yüksek olacağı anlamına gelmektedir.

$$YO(\%) = \frac{2x}{\pi D} \quad (5.7)$$

Tablo 5.2. Bazı absorber yüzeylerin özellikleri (El-Sebaai ve Al-Snani,2010).

Absorber Seçici Yüzeyi	Işıma Özellikleri		
	Emme Oranı (α)	Yayma Oranı (ϵ)	α/ϵ
Magnetron püskürtme sermet kaplama	0.92	0.05	18.4
Altın kaplama	0.32	0.02	16.0
Alüminyum üzerine bakır oksit	0.83	0.06	13.8
Alüminyum üzerine kobalt	0.87	0.07	12.4
Nikel üzerine kobalt oksit	0.95	0.08	11.9
Galvanizli çelik üzerine nikel	0.93	0.08	11.6
Nikel kaplı çelik üzerine kobalt oksit	0.92	0.08	11.5
Bakır üzerine krom	0.92	0.08	11.5
Krom-bakır-zirkonyum alaşım üzerine bakır	0.93	0.08	11.6
Çelik ve bakır üzerine sırasıyla nikel ve siyah nikel	0.91	0.08	11.4
Ni kaplama çelik üzerine siyah krom	0.95	0.09	10.6
Çinko kaplı alüminyum üzerine nikel	0.94	0.10	9.4
Bakır, çelik ve alüminyum üzerine nikel ve krom	0.93	0.10	9.3
Alüminyum üzerine kurşun sülfür	0.93	0.11	8.5
Bakır ve çelik üzerine siyah krom	0.96	0.12	8.0
Çelik üzerine siyah nikel	0.93	0.12	7.8
Bakır üzerine siyah bakır	0.91	0.12	7.6
Galvanizli çelik üzerine kobalt	0.92	0.13	7.1
Galvanizli çeliğin üstüne nikel-kalay	0.98	0.14	7.0
Galvanizli çelik üzerine krom siyahı	0.95	0.15	6.3
Çelik üzerine püskürtmeli sermet kaplama	0.96	0.16	6.0
Çelik üzerine krom	0.95	0.16	5.9
Galvanizli çelik üzerine nikel üzeri bakır oksit	0.81	0.17	4.8
Çinko üzerine çinko oksit	0.89	0.22	4.0
Polisaj kaplı nikel-krom-molibden alaşımlı çelik	0.92	0.24	3.8
Alüminyum bazlı kaplama	0.81	0.43	1.9
Siyah galvanizli çelik	0.97	0.88	1.1
Alüminyum silikon kaplama	0.25	0.28	0.9
Alüminyum folyo	0.19	0.36	0.5
Polyester film	0.17	0.51	0.3
Beyaz emaye	0.25	0.85	0.3
Beyaz epoksi kaplama	0.24	0.92	0.3
Beyaz titanyum oksit kaplama	0.19	0.94	0.2

Malzeme seçimi için parabolik yansıtıcıdan gelen güneş ışınlarını üzerinde topladıktan sonra yansıtıcı ve yutucu değerleri önemli olmaktadır.

Emici boru yapısının yutucu absorbe değeri mümkün olduğunca en büyük, yansıtıcı değerinin ise en küçük olması sağlanmalıdır. Emici boru üzerinde toplanan güneş ışınımı ile yoğunlaştırma yapılması sıcaklık artışına sebep olmaktadır ve çevreye ısı kaybı gerçekleşmektedir. Kayıpları engellemek ve emici borunun emme ve yayma özelliklerini uygun hale getirmek amacıyla ana boru malzemesine üzerine özel boya ve kaplamalar yapılmaktadır (Green, 2015). Bunun yanında ısı kayıpları azaltmak amacıyla ayrıca önleyici etki yapmak üzere emici boru yapı üzerine cam örtü kullanılmaktadır. Emici boruya güneş ışınımının yüksek oranda iletilmesi istenirken cam örtü optimum ışık geçirgenliği ile perdelenmeye engel olmayacak özellikte cam örtü malzemesi seçimi yapılmaktadır. Ayrıca emici boru ile cam örtü arasında vakum yapılarak ısı kayıpları azaltılmaktadır.

Oluşturulan yüzey kalitesini α/ε oranı belirlemektedir. Bu oran 4'ün üzerinde ise seçici, 2-4 arasında ise yarı seçici, 2'nin altında ise siyah boyalı yüzeyler olarak sınıflandırılmaktadır. Teknik ve ekonomik şartlar çerçevesinde Tablo 5.2'de verilen değerlere göre mümkün olduğunca en iyi seçim yapılmalıdır (El-Sebaei ve Al-Snani, 2010). Cam örtü geçirgenliğinin önemini yanında emici boruyu kirlilik, dolu vb. olumsuz etkilerden koruması ise diğer önemli hususlardır.

Tablo 5.3.Cam malzemelerin ışık geçirgenlik özellikleri (Green,2015).

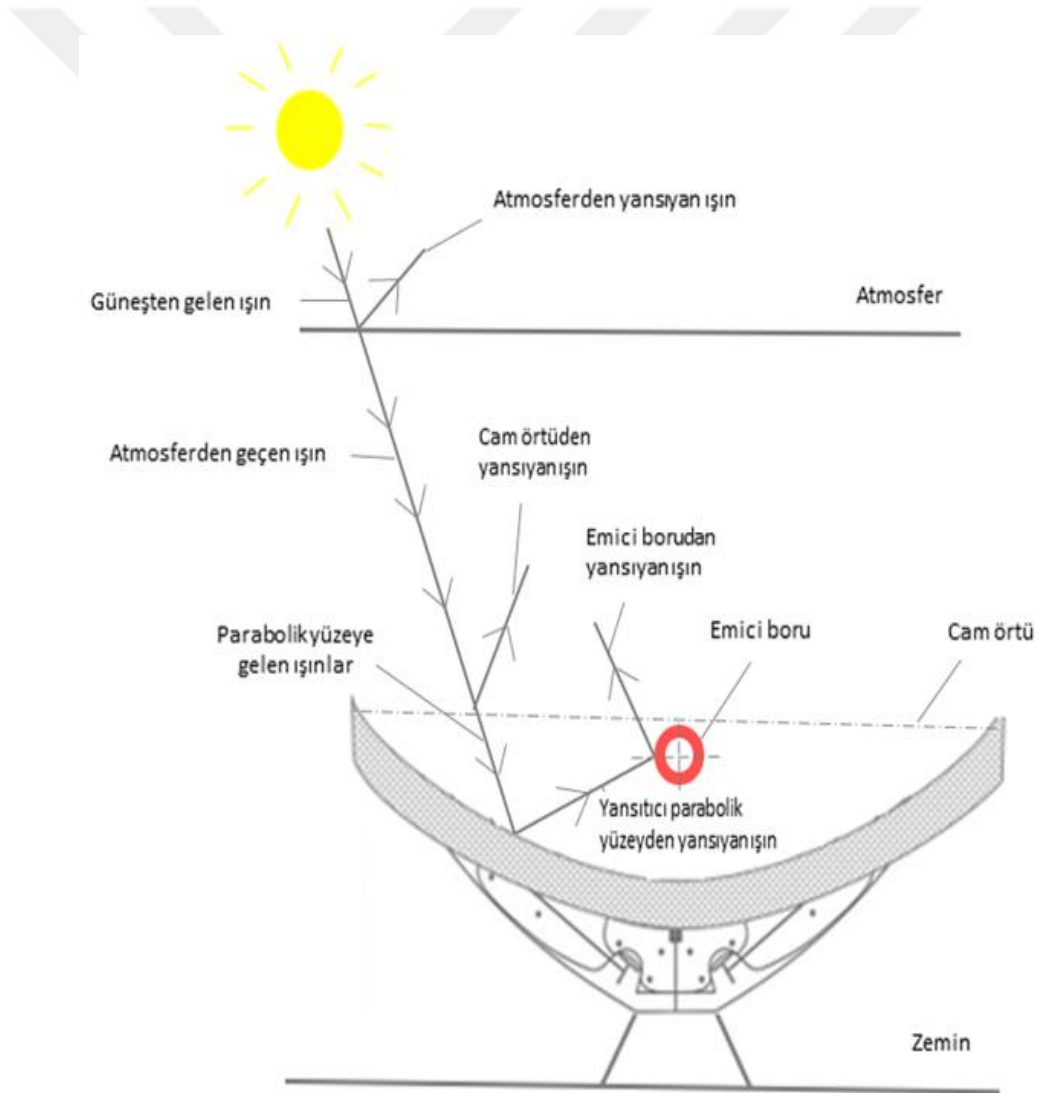
Cam Türleri	Geçirgenlik Oranı (τ)
Klasik pencere camı	0.94
Düşük demir katkılı cam	0.90
Perspeks	0.82
Polivinil florür	0.92
Polyester	0.87
Çift pencere camı	0.76
Preks	0.90

Tablo 5.3'te cam örtü malzemesi için cam türlerinin ışık geçirgenlik özellikleri verilmiştir (Green, 2015). Cam örtü malzemeleri seçilirken güneşten gelen kısa dalga boylu ışınları geçirme oranları yüksek, emici borudan cam örtüye yayılan uzun dalga boylu ışınların geçirme oranlarının ise çok düşük olmasıdır.

5.3.Parabolik Yoğunlaştırıcı Sistemin Optik Analizi

Güneş ışınları yeryüzüne ulaşırken kayıplara uğradığı gibi kurulacak olan parabolik yoğunlaştırıcı sistem elemanlarına ulaşırken de belirli kayıplara uğramaktadırlar.

Şekil 5.2’de verilen görselde güneş ışınlarının atmosfer, parabolik yansıtıcı yüzey, emici boru, cam örtü üzerinde ortam ve malzeme şartlarına göre uğradığı kayıplar gösterilmektedir. Bu kapsamda sistemi oluşturan malzemeler ile şartlar değerlendirilip optimum seviyede optik verimliliklerin artırılması optik kayıpların ise en aza indirilmesi ana hedef olmalıdır.



Şekil 5.2.Güneş ışınlarının atmosferden sisteme transferi.

Güneş ışınlarının yeryüzüne ulaşmadan önce, atmosfer seviyesinden itibaren dış ortamda diğer kayıplara da potansiyel olarak sahip olması nedeniyle, öncelik sistem tasarım parametrelerini son derece doğru değerlendirmek ve yerinde kullanmak önemlidir.

Şekil 5.2'deki ışınlar aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

I_1 : Atmosferden geçen güneş ışınları

I_2 : Cam yüzey örtüye gelen ışınlar

I_3 : Cam yüzey örtüden geçip parabolik yüzeye gelen ışınlar

I_4 : Parabolik yüzeyden yansıyıp odağa yönlendirilen ışınlar

I_5 : Emici boruya gelen ışınlar

I_6 : Emici boruda depolanan güneş ışınları

Bu bilgiler ışığında optik verimler ise aşağıdaki eşitlikler ile hesaplanmaktadır:

$$\eta_1 = \frac{I_2}{I_1} \quad (5.8)$$

$$\eta_2 = \frac{I_3}{I_2} \quad (5.9)$$

$$\eta_3 = \frac{I_4}{I_3} \quad (5.10)$$

$$\eta_4 = \frac{I_5}{I_4} \quad (5.11)$$

$$\eta_5 = \frac{I_6}{I_5} \quad (5.12)$$

Eşitlik (5.8)'deki η_1 gelme açısı düzeltme faktörü, Eşitlik (5.10)'deki η_3 ise kesişim faktörü olarak tanımlanmaktadır. Genellikle literatürde η_3 kesişim faktörü $\eta_3 \geq 0.9$ verilmektedir. Emici borunun çapı ile η_3 doğru orantılı olarak artış ya da azalış göstermektedir (Çolak, 2003).

Parabolik oluklu güneş yoğunlaştırıcı sistemin verimi tüm noktalardaki verimlerin durumunu ifade etmektedir, Eşitlik(5.13).

$$\eta_{\text{optik}} = \eta_1 * \eta_2 * \eta_3 * \eta_4 * \eta_5 \quad (5.13)$$

Emici boruda depolanması gereken enerji $\dot{q}'_{\text{abs,ebd}}$ ile ifade edilip kesişim faktörü ve düzeltme faktörleri ile hesaplanmaktadır:

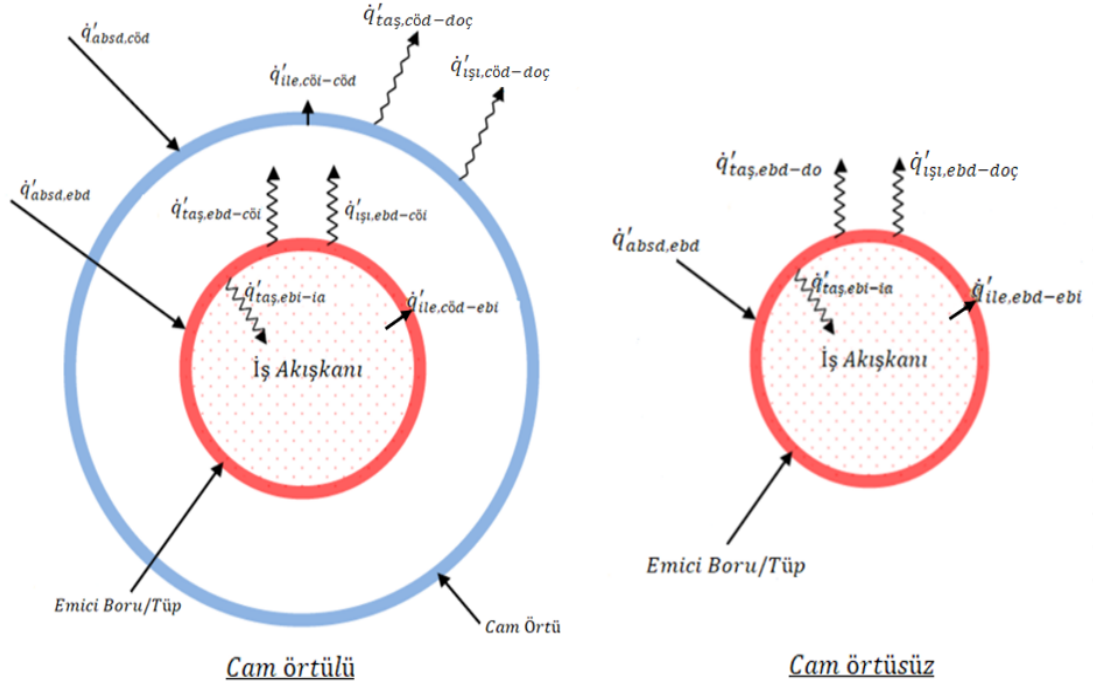
$$\dot{q}'_{\text{abs,ebd}} = \frac{I_2}{\eta_{\text{optik}}} \quad (5.14)$$

5.4.Parabolik Yoğunlaştırıcı Sistemin Isıl Analizi

Parabolik yoğunlaştırıcı sistemin ısıl analizi absorber boru yapısı ve iş akışkanı arasındaki termodinamiksel ilişki ile ifade edilmektedir.

Absorber boru/tüpün tek boyutlu, kararlı durum enerji dengesine sahip, cam örtülü ve örtüsüz durumdaki kesitleri Şekil 5.3'te gösterilmektedir. Tasarımı düşünülen yapı ise Şekil 5.4'teki Kirchoff' un termal direnç modeli ile verilmektedir. Modellerde, tüm ısı akışları, sıcaklıklar ve termodinamik özelliklerinin tüpün çevresinde eşit olduğu varsayılmaktadır (Coccia ve ark., 2012).

Parabolik yansıtıcı tarafından yansıtılan güneş radyasyonu emici boru $\dot{q}'_{\text{absd,ebd}}$ tarafından emilmektedir.



Şekil 5.3. Cam örtülü ve örtüsüz absorber boru ısı transfer modeli (Coccia ve ark., 2012).

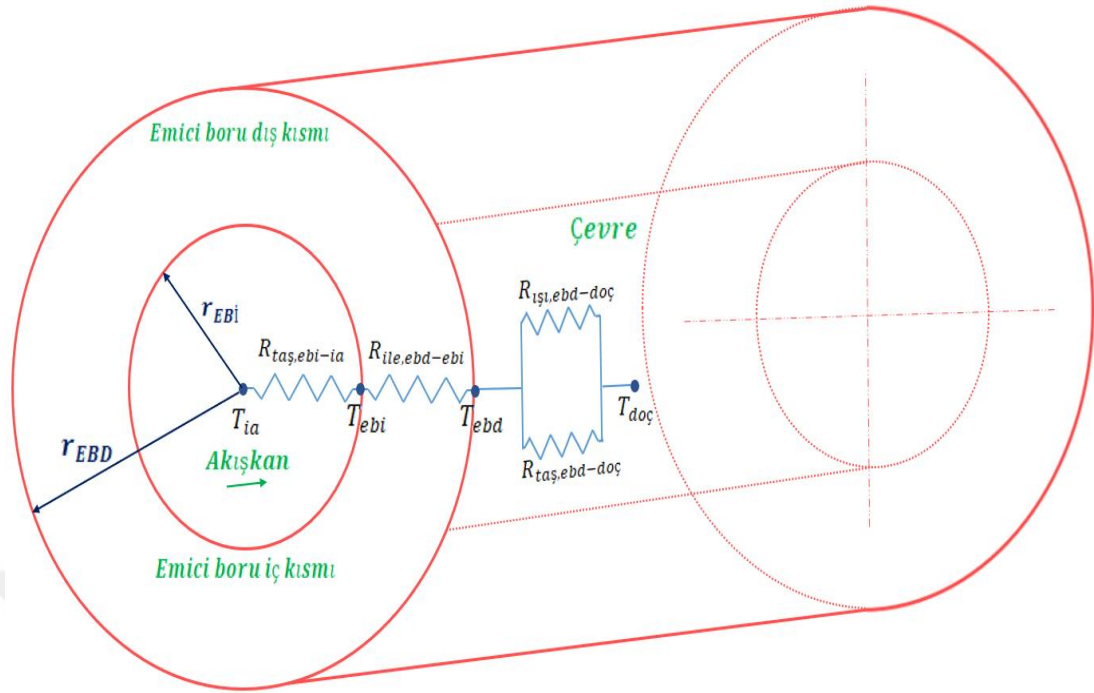
Emici boru tarafından emilen enerjinin büyük bir kısmı iletim ($\dot{q}'_{ile,ebd-ebi}$) ile emiciden ve daha sonra taşınım ($\dot{q}'_{taş,ebi-ia}$) ile iş akışkanına aktarılmaktadır. Daha sonra bu enerjinin bir kısmı dış ortama taşınım ($\dot{q}'_{taş,ebd-doç}$) ve ışınım ($\dot{q}'_{ışı,ebd-doç}$) ile atmosferik havaya geçerek kaybolmaktadır (Forristall, 2003).

Şekil 5.3'te gösterilen ısı transfer modeline göre enerji denklemleri aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$\dot{q}'_{taş,ebi-ia} = \dot{q}'_{ile,ebd-ebi} \quad (5.15)$$

$$\dot{q}'_{abs,ebd} = \dot{q}'_{taş,ebd-doç} + \dot{q}'_{ışı,ebd-doç} + \dot{q}'_{ile,ebd-ebi} + \dot{q}'_{taş,ebi-ia} \quad (5.16)$$

$$\dot{q}'_{kayıp} = \dot{q}'_{taş,ebd-doç} + \dot{q}'_{ışı,ebd-doç} + \dot{q}'_{ile,ebd-ebi} \quad (5.17)$$



Şekil 5.4.Tasarım termal direnç modeli (Forristall,2003).

Termal direnç modeli ise aşağıdaki eşitlikler ile ifade edilmektedir:

$$R_{\text{toplamlam}} = \left[\frac{1}{\pi L D_{\text{ebi}} h_{\text{ia}}} + \frac{\ln(D_{\text{ebd}}/D_{\text{ebi}})}{2\pi L k_{\text{eb}}} + \frac{1}{\pi L D_{\text{ebd}} h_{\text{ebd}}} \right] \quad (5.18)$$

Eşitlik(5.17)'deki kayıp ısı ifadesi bilinen sıcaklık değerleri, akışkan ve absorber boru özelliklerinin yansıtıldığı toplam direnç ifadesinin birleşimi şeklinde Eşitlik (5.19) ile hesaplanmaktadır:

$$\dot{q}'_{\text{kayıp}} = \frac{T_{\text{ia}} - T_{\text{doç}}}{R_{\text{toplamlam}}} \quad (5.19)$$

Emici borudan kaybedilen ısı hesaplandıktan sonra direnç modelindeki bilinmeyen noktalardaki sıcaklıklar Eşitlik(5.20)'daki gibi hesaplanmaktadır:

$$\dot{q}'_{\text{kayıp}} = \frac{T_{\text{ebi}} - T_{\text{doç}}}{A_{\text{ebi}} h_{\text{ia}} + \ln(D_{\text{ebd}}/D_{\text{ebi}}) / 2\pi L k_{\text{eb}}} \quad (5.20)$$

5.4.1. İş akışkanı ile emici boru iç kısmı arasındaki ısı analiz

İş akışkanı ile emici boru iç kısmı arasında gerçekleşen ısı transferi taşınım şeklinde olmaktadır ve “Newton Soğutma Kanunu” ile Eşitlik (5.21)’da tanımlanmaktadır (Incropera, 2007):

$$\dot{q}'_{\text{taş,ebi-ia}} = h_{\text{ia}} A_{\text{ebi}} (T_{\text{ebi}} - T_{\text{ia}}) \quad (5.21)$$

Absorber boru içinden geçen akış türünü bulmak için “Reynolds Sayısı” ifadesi Eşitlik(5.27) hesaplanmaktadır. Normal çalışma şartlarında laminar akış için ($Re < 2300$), türbülanslı akış için ise ($Re > 2300$) değerinde olmaktadır (Incropera, 2007).

$$Re_{D_{\text{ebi}}} = \frac{\rho_{\text{ia}} V_{\text{ia}} D_{\text{ebi}}}{\mu_{\text{ia}}} \quad (5.22)$$

Emici boru içindeki akış düzenine bağlı Eşitlik (5.24)’daki $f_{\text{sür}}$ sürtünme faktörü Eşitlik (5.23) ile hesaplanmaktadır (Petukhov, 1970):

$$f_{\text{sür}} = (0.790 \ln(Re_{D_{\text{ebi}}}) - 1.64)^{-2} \quad (5.23)$$

Reynolds sayısı, sürtünme faktörü ve Prandtl sayısı Eşitlik (5.24)’daki Gnielinski korelasyonunda yerlerine konulup Nusselt sayısı hesaplamaları yapılmaktadır.

Dairesel tüplerin içindeki türbülanslı akışlar kapsamında taşınım ile ısı transferi ve yüksek hassasiyette doğruluk sağlayan bir korelasyondur (Gnielinski, 1976).

$$\text{Nu}_{D_{\text{ebi}}} = \frac{(f_{\text{sür}}/8)(\text{Re}_{D_{\text{ebi}}}-100)\text{Pr}_{\text{ia}}}{1+12.7\sqrt{(f_{\text{sür}}/8)}\left(\text{Pr}_{\text{ia}}^{\frac{2}{3}}-1\right)} \quad (5.24)$$

Gnielinski' nin korelasyonu çok çeşitli Reynolds ve Prandtl sayıları için ifade edilmektedir. İfade edilen korelasyon $3000 \leq \text{Re} \leq 5 \cdot 10^6$ ve $0.5 \leq \text{Pr} \leq 2000$ için geçerlidir. Nusselt sayısı emici boru içindeki akış türüne göre değişiklik göstermektedir. Incropera' ya göre laminer akış için Nu sayısı sabit olarak 4.36 kabul edilmektedir (Incropera, 2007). İş akışkanının ısı taşınım katsayısı ifadesi, akış tipi ve Nusselt korelasyonu bulunduğundan sonra Eşitlik(5.25) ile hesaplanmaktadır:

$$h_{\text{ia}} = \text{Nu}_{D_{\text{ebi}}} \frac{k_{\text{ia}}}{D_{\text{ebi}}} \quad (5.25)$$

Isı taşınım katsayısı bulunduğundan sonra Eşitlik(5.21)'de yerine yazılıp ısı transferi hesaplanmaktadır.

5.4.2.Emici borunun dışı ile içi arasındaki ısı analiz

Emici boru dışı ile iç kısmı arasındaki ısı transferi iletim şeklinde olmaktadır. Bu ısı transferi aynı zamanda iş akışkanı ile emici borunun iç kısmı arasındaki taşınım ile olan ısı transferine eşittir. İçi boş silindirden iletim ile ısı transferi korelasyonu Fourier' in iletim yasası ile Eşitlik (5.26)'daki gibi hesaplanmaktadır (Rathore ve Kapuno, 2011):

$$\dot{q}'_{\text{ile,ebd-ebi}} = \frac{2 \pi L k_{\text{eb}}(T_{\text{ebi}}-T_{\text{ebd}})}{\ln(D_{\text{ebd}}/D_{\text{ebi}})} \quad (5.26)$$

Emici boru malzeme türlerine göre ısı iletim katsayıları Tablo 5.4'te verilmiştir (Rathore ve Kapuno, 2011):

Tablo 5.4.Emici boru malzemelerinin ısı iletkenlik katsayıları(Rathore ve Kapuno,2011).

Normal Şartlarda Malzeme (298 K)	Isıl İletkenlik Katsayısı (k_{eb})W/m K
Saf alüminyum	205-237
Alüminyum alaşımı (6082)	170
Pirinç (CZ 121)	123
Pirinç (%63'ü bakır)	125
Pirinç (%70'ü bakır)	109-121
Krom-bakır-zirkonyum alaşım üzerine bakır	353-386
Bakır(C101)	388
Su	0.6
Hava	0.026

5.4.3.Emici boru dışı ile dış ortam arasındaki ısı analiz

Direnç modelinde belirtildiği üzere emici boru ile dış ortam arasındaki ısı transferleri de taşınım ve ışınım şeklinde meydana gelmektedir.

Emici borunun dışı ile dış ortam arasında taşınım ile olan ısı transferi Eşitlik (5.27) ile ifade edilmektedir (Rathore ve Kapuno, 2011):

$$\dot{q}'_{\text{taş,ebd-doç}} = h_{\text{ebd,taş}} A_{\text{ebd}} (T_{\text{ebd}} - T_{\text{doç}}) \quad (5.27)$$

Isı taşınım katsayısı hesaplaması için Bromley korelasyonu kullanılmaktadır (Bromley, 1950):

$$h_{\text{ebd,taş}} = 0.62 [C_p (\rho \cdot V)^{0.6} / (D_{\text{ebd}})^{0.4}] \quad (5.28)$$

Isı taşınım katsayısı hesaplandıktan sonra Eşitlik(5.27)'de yerine yazılıp taşınım ile ısı transferi hesaplanmaktadır. Emici borunun dışı ile dış ortam arasındaki ışınım hesaplamaları için kullanılan ifade ise aşağıdaki gibidir (Duffie ve ark., 2006):

$$\dot{q}'_{\text{ışl,ebd-doç}} = \sigma A_{\text{ebd}} \epsilon_{\text{ebd}} (T_{\text{ebd}}^4 - T_{\text{doç}}^4) \quad (5.29)$$

Absorber borudan kaybolan ısı enerji hem taşınım hem de ışınlama ile kaybolduğundan direnç modelinde h_{ebd} toplam taşınım katsayısı cinsinden ifade edilmektedir, Eşitlik(5.18). Işınımsal bu etki taşınım katsayısı cinsinden aşağıdaki gibi ifade edilmektedir, Eşitlik(5.30):

$$h_{ebd,ışı} = \frac{\sigma \epsilon_{ebd} (T_{ebd}^4 - T_{doç}^4)}{(T_{ebd} - T_{doç})} \quad (5.30)$$

Eşitlik(5.18) tanımlı toplam ısı taşınım katsayısı Eşitlik(5.31)'daki gibi ifade edilmektedir:

$$h_{ebd} = h_{ebd,taş} + h_{ebd,ışı} \quad (5.31)$$

Sistem ısı kayıpları ısı verimi olumsuz etkilemektedir. Tasarlanan sistemde absorber boruyu çevreleyen cam örtü yerine parabolik yansıtıcının üst yüzeyine paralel çevreleyen cam kapak örtü kullanılmıştır. Cam kapak ile parabolik yansıtıcı arasında vakum pompasıyla vakum yaratılmıştır.

Cam kapak örtünün avantajları dış ortama kaybedilen ısı kayıpları engellemek, dış ortamdan gelebilecek rüzgâr etkisini engellemek ve parabolik yansıtıcı sistemi de kapsamına alan tüm alandaki ısı kayıpları önleyerek doğal taşınımına olanak sağlamasıdır.

5.5.Parabolik Yoğunlaştırıcı Sistem Performans Analizi

Sistem performans analizi ile tasarıma bağlı optik ve ısı parametrelerin birleşimi niteliğinde ısı performans modeli oluşturulması hedeflenmiştir. Isı geçiş katsayıları Eşitlik(5.32) ile hesaplanmaktadır (Winter, 1991):

$$U_L = \left[\frac{1}{h_{ebd}} + \frac{D_{ebd}}{h_{ia} D_{ebi}} + \frac{D_{ebd} \ln(D_{ebd}/D_{ebi})}{2k_{eb}} \right]^{-1} \quad (5.32)$$

Kollektör verim faktörü ise Eşitlik (5.33) ile hesaplanmaktadır (Duffie, 2006):

$$F' = \left[\frac{(1/U_L)}{(1/U_L) + (D_{ebd}/h_{ia}D_{ebi}) + (D_{ebd} \ln(D_{ebd}/D_{ebi})/2k_{eb})} \right] \quad (5.33)$$

Isıl kazanç faktörü, kollektör sistemine gelen ve ısı kayıplardan düşülerek iş akışkanına geçen enerjinin, emici yüzeyin tamamının tüm iş akışkanının sistem giriş sıcaklığına eşit olmasıyla ortaya çıkan enerji göstergesi olarak Eşitlik(5.34) ile tanımlanmaktadır (Kalogirou, 2009c):

$$F_K = \frac{\dot{m}C_p}{A_{ebd}U_L} \left[1 - e^{-\left(\frac{A_{ebd}U_L F'}{\dot{m}C_p}\right)} \right] \quad (5.34)$$

Kollektör akış faktörü, ısıl kazanç faktörünün kollektör verim faktörüne oranı şeklinde Eşitlik (5.35) ile tanımlanmaktadır (Kalogirou, 2009c):

$$F_A = \frac{F_K}{F'} = \frac{\dot{m}C_p}{A_{ebd}U_L F'} \left[1 - e^{-\left(\frac{A_{ebd}U_L F'}{\dot{m}C_p}\right)} \right] \quad (5.35)$$

Yansıtıcı yüzeyin alanını incelendiğinde absorber boru bizzat yansıtıcı yüzey üzerinde gölgelenme alanı oluşturduğu gözlenmektedir. Alan hesaplarının bu açıdan önemli bir parametre olduğu unutulmamalıdır, Eşitlik(5.36).

$$A_{ga} = (2X - D_{ebd}) L \quad (5.36)$$

İş akışkanına aktarılan enerji ifadesi Eşitlik (5.37) ile hesaplanmaktadır:

$$\dot{q}'_{pgk} = F_K [A_{ga} \cdot I_2 - U_L \cdot A_{ebd} (T_{ia} - T_{doç})] \quad (5.37)$$

Isıl verim ifadesi optik verim etkenlerinin birleşimi olarak sistem için önemlidir, Eşitlik(5.38):

$$\eta_{\text{ısı}} = \frac{\dot{q}'_{\text{pgk}}}{A_{\text{ga}} U_L (I_2 / \eta_{\text{optik}})} \quad (5.38)$$

5.6.Parabolik Oluklu Yoğunlaştırıcı Sistem Ölçüm ve Kontrol Mekanizması

Parabolik güneş kollektör sisteminde absorber içerisinden odaklama neticesinde sıcaklık artışı ile ısı enerjisi elde edilmek istenmektedir. Akışkan niteliklerini gözlemlemek ve sistemi kontrol altında tutmak, kullanılacak enerji potansiyeli bakımından oldukça önemlidir.

Tarihte kaydedilen bilimsel gelişimlerde sistem kontrol mekanizmalarından biri de proses oluştururken ölçme tekniklerinin de bu doğrultuda gelişmiş olmasıdır. Günümüzde multimetrik çok amaçlı ölçüm yapabilen akış ölçerler akışkanların sıcaklık, basınç, debi, hız vb. anlık verilerini izleyip kaydetme özelliğine de sahip olmalarının yanında kullanıma özel gelişmiş hassasiyette üretilmekte ve kullanılmaktadır, Şekil 5.5.

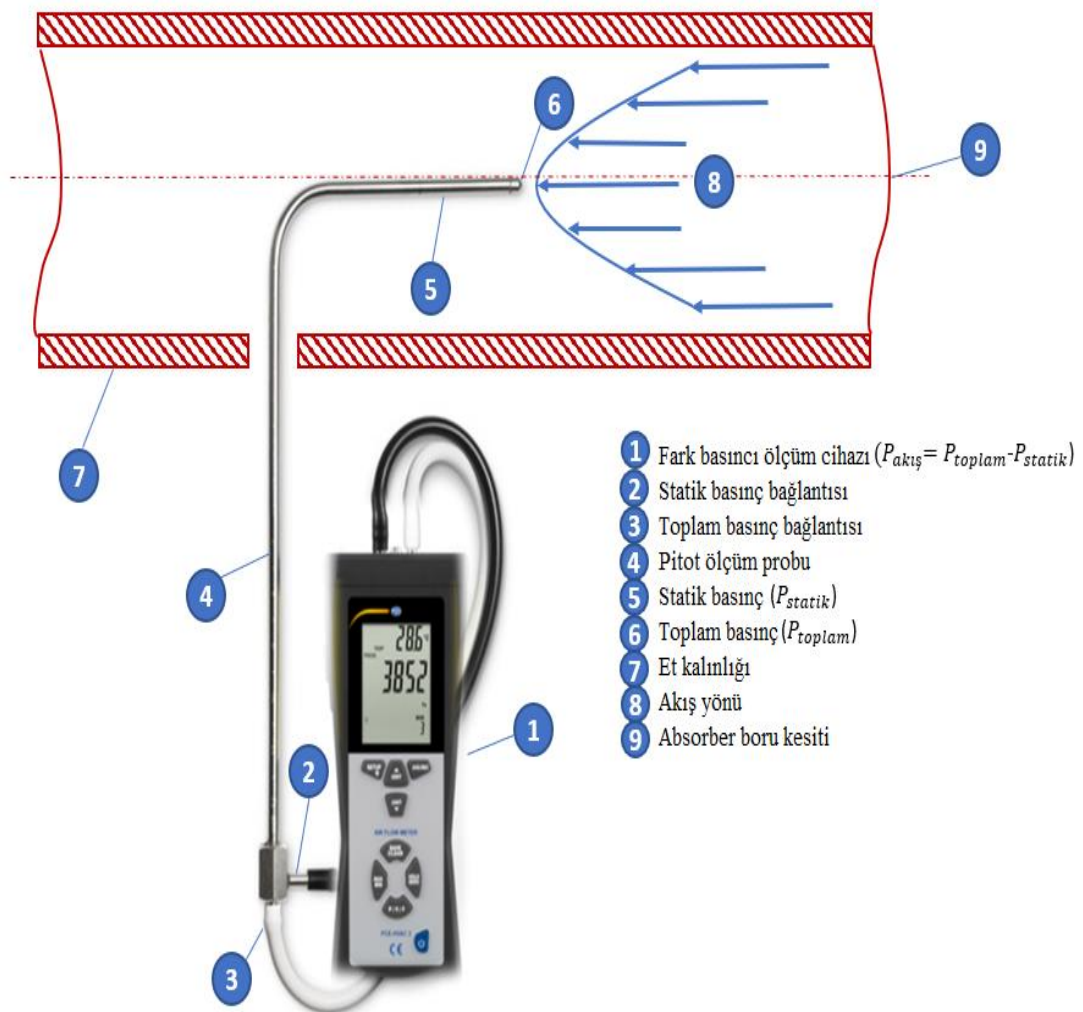
Ölçüm tekniklerinin başında Fransız mühendis Henry de Pitot' un (1695-1771) temellendirdiği Pitot-statik problemleri akış hızı ölçümü için kullanılmaktadır. Pitot, sivri boru ile hızı ölçen ilk kişi olmuş, Fransız mühendis Henry Darcy (1803-1858) ise aynı montaj yapısı üzerinde boru çap uzunluğunu çevreleyen küçük açıklıklar ekleyerek statik basınç ölçüm yapısını geliştirmiştir (Cengel, 2006). Pitot statik problemler akışa hizalı diferansiyel basınç ölçer yapıya bağlı L şeklinde çift boru yapısından oluşmaktadır. Pitot-statik prob, kullanışlı ve güvenilir bir ölçüm cihazı olmasının yanı sıra uygun olmayan hizalanmadan kaynaklanabilecek hataları önlemek için akışa uygun şekilde hizalanması önemlidir ve yapı itibarıyla sağlanabilmektedir.

$$P_{\text{akış}} = P_{\text{toplam}} - P_{\text{statik}} \quad (5.39)$$

Yapısal durum Bernoulli denkleminin düzenlenmesi ile elde edilerek yerel akış hızı hesaplanmaktadır (Cengel, 2006):

$$\frac{P_{\text{toplam}}}{\rho \cdot g} + \frac{V_{\text{toplam}}^2}{2 \cdot g} + z_{\text{toplam}} = \frac{P_{\text{statik}}}{\rho \cdot g} + \frac{V_{\text{statik}}^2}{2 \cdot g} + z_{\text{statik}} \quad (5.40)$$

Pitot-statik probun statik basınç ve toplam basınç açıklıkları aynı yükseklik seviyesinde $z_{\text{statik}} = z_{\text{toplam}}$ ifade edilmektedir. Durgunluk koşullarına bağlı $V_{\text{toplam}} = 0$ ve $V = V_{\text{statik}}$ olmak üzere mevcut akış ölçerlerin yaygın olarak ölçümdeki hesaplamaların alt yapısını oluşturan Pitot formülü aşağıdaki eşitlikteki gibi hesaplanmaktadır (Cengel, 2006):



Şekil 5.5. Absorber boru kesitinde pitot-statik prob ile ölçüm gösterimi.

BÖLÜM 6.MATERYAL VE YÖNTEM

Sürdürülebilir enerji döngüsü, mühendislik yöntemlerinin verimliliği, niteliksel kaynak seçimi, kontrol edilebilirlik gibi fonksiyonel optimizasyon çalışmaları ile sağlanmaktadır. Bu döngünün sürdürülebilirliğine yönelik yapılan çalışma için enerji kaynağı olarak güneş, enerji niteliği ise yenilenebilir olması sebebiyle güneş enerjisi seçilmiştir.

Güneş ışınlarından enerji üretirken üretilen enerjinin transferinin önemi üzerinde durulmuş ve yoğunlaştırılmış güneş enerji teknolojilerinin mevcut güneş ışınlarını odaklayarak ısı absorpsiyonu sağlaması nedeniyle bu yöntemlerden biri olan parabolik oluklu güneş yoğunlaştırıcı sistem seçimi yapılarak araştırma çalışmaları yürütülmüştür.

Araştırma çalışmalarının ilk aşaması dünyadaki ve Türkiye'deki enerji arzı ve talepleri projeksiyonuna yönelik olmuştur. Konuma bağlı global iklim ve radyasyon şartlarından en iyi şekilde yararlanarak potansiyel güneş enerji yoğunluğunun sağlanması hedeflenmiştir.

Parabolik yoğunlaştırıcı sistemi oluşturan bileşenlerin gereklilikleri belirtilmiş ve güneş geometrisi tanımlanarak tasarım parametreleri irdelenmiştir. Tasarım parametreleri literatürde kabul görmüş bilimsel formüller ile teorik olarak hesaplanmıştır. Teorik hesaplamalar sonucunda tasarım ön şartının sağlanması açısından simülasyon programı ile test edilerek %100 geometrik odaklık uygunluk sonucuna varılmış ve proje tasarımı aşamasına geçilmiştir. Tasarım süreci akış planı şeklinde oluşturularak yürütülmüş ve geometrik elde edilen sonuçlar teknik resim projelerine dönüştürülmüştür.

İmalat aşaması öncesinde konstrüksiyon parçalarından yansıtıcı yüzey yansıtıcılık oranı 0.92 olan polisaj kaplı alaşımlı çelik malzemeden, absorber boru emme oranı 0.93 olan krom-bakır-zirkonyum alaşımlı malzemeden, cam örtü kapak malzemesi geçirgenlik oranı 0.94 olan 4 mm klasik pencere cam malzemeden seçilmiştir. Absorber boru 22 mm çap uzunluğuna bağlı kesişim faktörü 0.92 ve 1.09° kabul açısına bağlı düzeltme faktörü 0.96 seçilmiştir. Optik verimlilik %71.03 bulunmuştur.

Teorik bir dizi değerlendirmeler ile imalata geçilerek polisaj yansıtıcı yüzey malzemesi parabolik şekil verme ve lazer kesim işlemi uygulanarak montaj bağlantıları yapılmış ve kollektör üzerindeki cam kapak örtünün altında kalması sağlanan absorber boru odak merkezine göre yerleştirilmiştir. Kare profilden kaynak edilerek imal edilen taşıyıcı kaide ve destek yapısına yansıtıcı aynaya yönlendirme sağlaması için bir döner şaft mili ve şaft miline bağlı manuel çevirme kolu yerleştirilmiştir. Yönlendirme mekanizması kuzey-güney yönünde açısal, doğu-batı yönünde ise tekerlekler sayesinde doğrusal olarak güneş yönlendirmesi sağlanmıştır. Girişte hava akışı sağlamak için salyangoz tipi fan ve ısı kaybını engellemek için vakum pompası yansıtıcı yüzey arkasındaki gövdeye montajlanmış ve absorber boru bağlantıları yapılmıştır. Güneşe doğru yönlendirme yapılarak uygulamalı olarak odaklama testi yapılmış, doğrulama tamamlanarak kollektör cam kapak örtü ile kapatılmıştır. Devreye alma sürecine yönelik akış sirkülasyonunun sağlanacağı giriş hattı için yalıtım yapılarak pitot tüplü anemometre cihazı ve çıkış hattı için sıcaklık kayıt cihazı yerleştirilerek eş zamanlı veri takip kontrolü yapılmıştır.

Proje, tasarım ve imalat aşamalı süreçler tamamlandıktan sonra ölçüm planı ve bölgesel özellikler değerlendirilerek fiili test ve ölçümler gerçekleştirilmiştir. Veriler matematiksel formüller, tablolar, programlar, grafikler vb. materyallerden yararlanılarak analiz edilmiştir.

Sistem optimizasyonu ve gelecek çalışmalar için etken unsurlar gözlenmiş geliştirilmesi gereken yeni odak noktalar ve uygulama alanına yönelik geliştirme yöntemleri düşünülmüştür.

6.1.Deneysel Çalışma Yöntemi Ve Analiz

Enerji arzının ve talebinin karşılanması, kaynak niteliklerine göre bilimsel açıdan en uygun rasyonel tekniklerin uygulamaya geçirilmesi ile sürdürülmektedir. Bu durum çevresel dış kaynaklı avantajların değerlendirilmesi, teorik bir dizi hesaplamalara karşın fiili olarak gözlem, ölçüm ve gerçekleştirmelerle mümkündür. Parabolik oluklu güneş yoğunlaştırıcı sistemin taslak aşamasından imalat aşamasına kadar olan sürecinin tamamlanmasından sonra verim sağlamada ölçülebilir ve kontrol edilebilir mekanizmalarının sağlanması gereklidir.

6.1.1.Amaç

Parabolik oluklu yoğunlaştırıcı sistemin verimli olması, tasarıma gelen güneş ışınlarının sistemdeki akışkanın giriş ve çıkış sıcaklık farkının maksimum olması ile sağlanacaktır. Ağırlıklı olarak ölçülen ve ön görülen deneysel değişimler kullanıma yönelik yaygınlaştırmada ihtiyaçları karşılayabilecek seviyeyi artıracaktır.

Amaç, tasarlanmış ve imal edilmiş bir parabolik güneş yoğunlaştırıcı ünitesinde ısı verimi etkileyen faktörleri gözlemlemek ve tüm işlemleri anlık veri olarak değerlendirmektir.

6.1.2.Kapsam ve teori

Güneş enerjisi ile enerji üretmede önemli bir paya sahip parabolik oluklu güneş yoğunlaştırıcılar uygun malzeme ve geometrik özelliklerden yararlanılarak güneş ışınlarının odaklanması ve akışkan üzerinde absorbe edilmesi prensibi ile çalışır. Parabolik oluklu güneş yoğunlaştırıcı sistem üzerinde enerji üretimi ve kullanımı için gözlenmesi gereken akışkan özelliklerinin ısı sistem tasarımı ile gösterdiği uyumdur.

Bu uyumun göstergesi sisteme giren birim akışkan kütlelerinin sıcaklığını artırmak için ne kadar ısı miktarı olması gerektiğidir, Eşitlik (6.1).

$$\dot{q}_{\text{sistem}} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (6.1)$$

Absorber boru hattından geçen havanın hacimsel ve kütleli özellikleri aşağıdaki bağıntılar ile hesaplanmaktadır. Havanın hacimsel debisi:

$$\dot{V}_{\text{hava}} = A \cdot u \quad (6.2)$$

Eşitlikteki A absorber boru kesit alanını (m²), u ise absorber boru içinden geçen hava akış hızını (m/s) göstermektedir. Havanın kütleli debisi:

$$\dot{m}_{\text{hava}} = \rho_{\text{hava}} \dot{V}_{\text{hava}} \quad (6.3)$$

Eşitlikteki ρ_{hava} sistem girişindeki havanın özkütlesi (kg/m³) göstermektedir. Güneş ışınım özelliklerinin zamanla gösterdiği termal reaksiyon sistem üzerine nüfuz etmesi ile ısı birikimini artırarak performansa yansıttığı unutulmamalıdır:

$$\eta_{\text{ısı verim}} = \frac{\dot{q}_{\text{sistem}}}{\dot{q}_{\text{abs, ebd}}} \quad (6.4)$$

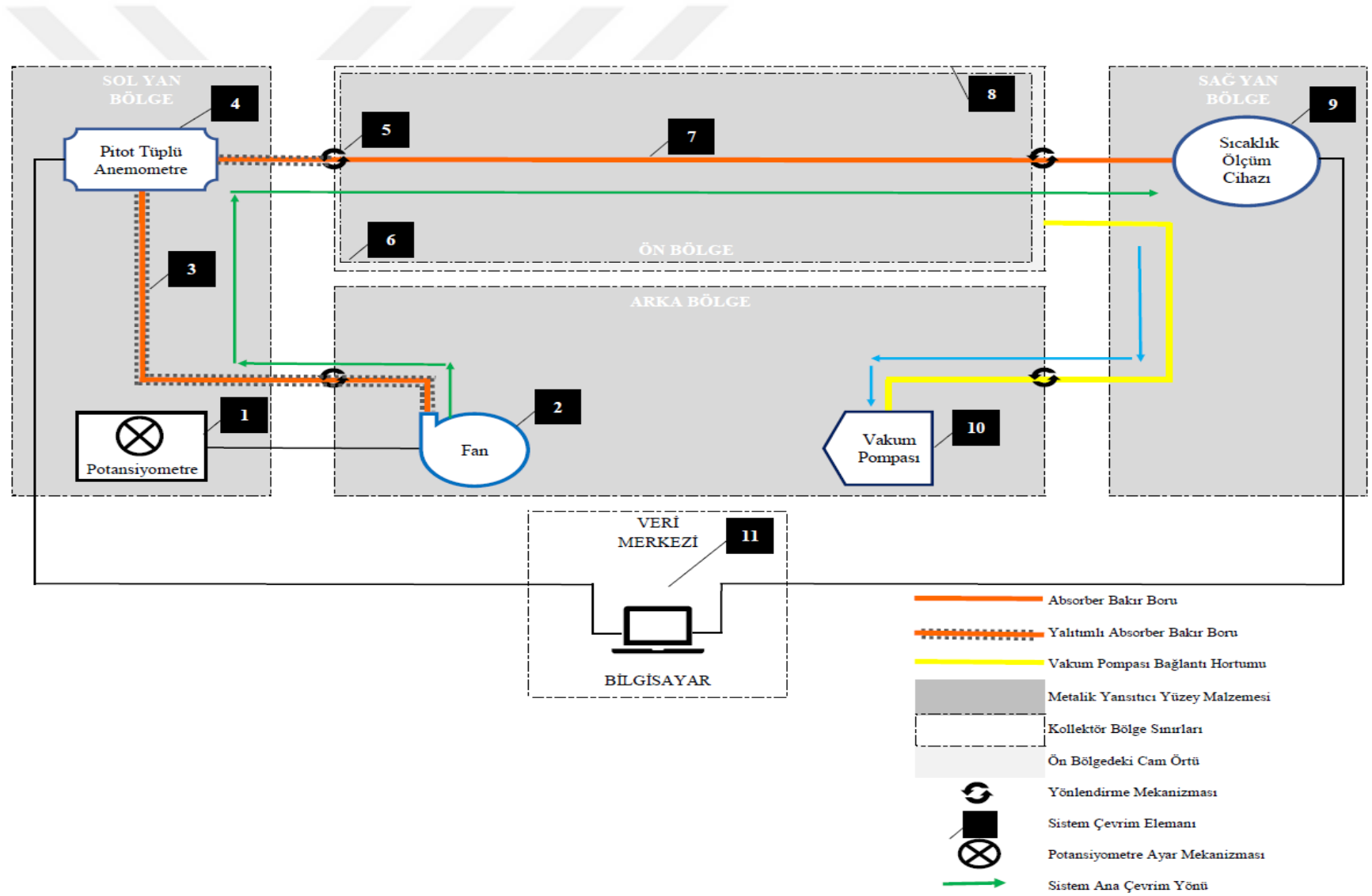
6.1.3. Deney düzeneği

Deney düzeneği maksimum 275 m³/h hava debisine sahip, potansiyometrik ayarlanabilir değişken debili havalandırma fanı, 180 W gücünde vakum pompası, absorber bakır boru, polisaj malzemeden imal edilmiş kollektör yansıtıcı yüzeyi, 4 mm cam malzemeli kapak örtü, multimetrik ölçüm yapabilen pitot tüplü anemometre, sıcaklık ölçüm cihazı ve anlık verilerin izlenip kayıt altına alındığı bilgisayardan oluşmaktadır.

Güneş yönlendirmesi taşıyıcı kaide yapısına bağlı manuel kolla tertiplenmiş açılabilir yönelime de imkân sağlanmaktadır. Deney düzeneğini ifade eden ve ısı çevrimi sağlayacak parabolik oluklu güneş yoğunlaştırıcı sistemin şematik şekli aşağıda gösterilmektedir, Şekil 6.1.

Çalışma doğruluğu ve güvenliği açısından dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıda sıralanmıştır:

1. Sistem çalıştırılmadan önce ana gövde yapısı kontrol edilmeli, deney öncesi toz ve partiküllere karşı dış yüzey temizlenmelidir. Gölge etkisi yaratabilecek fiziksel etkilerden kaçınılmalı, güneş geliş açısına uygun genişlikte ve açık bir alanda ölçüm için insan ve çevre güvenliği sağlanarak konumlandırma yapılmalıdır.
2. Anemometre ve sıcaklık ölçüm cihazının termokupl bağlantıları absorber borunun giriş ve çıkış hattına uygun biçimde yerleştirilip sabitlenmelidir. Ölçüm cihazlarının kalibrasyonlu olduğundan emin olunmalı, bilgisayar bağlantısı sağlanmalı ve anlık veri izleme kontrolü yapılmalıdır. Ölçüm cihazlarının ölçüm yapılacak bölgeye göre özel gereksinimleri karşılaması ve doğru sonuçları vermesi açısından ilave bilgi gerekiyorsa cihaza tanımlanmalıdır.
3. Güneşe çıkarılmadan önce kaynak, yalıtım vb. bölgeler düşük devirde hava akımı verilerek kaçak kontrolü yapılmalıdır.
4. Ölçüm zaman planı yapılmalı ve meteorolojik tahminlere göre uygulama tarihi seçilmelidir.



Şekil 6. 1.Parabolik oluklu güneş kollektörü deney düzeneği şematik şekli.

6.1.4.Deneyin yapılışı

Deney yapılışı aşağıdaki ölçüm planına göre yürütülecektir.

Tablo 6. 1.Ölçüm planı.

Ölçüm Başlangıç Zamanı (sa:dk:sn)	Ölçüm Süresi (sa:dk:sn)	Ölçüm Bitiş Zamanı (sa:dk:sn)	Güneş Geliş Açısı (°)	Ölçüm/Ayar	Bağlı Değişken	Akış Hızı (m/s)	Ölçümü Yapılacak Değişkenler
09:00:00	00:00:15	09:00:15		Ayar		-	
09:00:15	00:03:00	09:03:15		Hız		0.5	
09:03:15	00:00:15	09:03:30		Ayar		-	
09:03:30	00:03:00	09:06:30		Hız		1	
09:06:30	00:00:15	09:06:45	≥45°	Ayar	Hız	-	
09:06:45	00:03:00	09:09:45		Hız		1.5	
09:09:45	00:00:15	09:10:00		Ayar		-	
09:10:00	00:03:00	09:13:00		Hız		2	
09:13:00	00:00:15	09:13:15		Ayar		-	
09:13:15	00:03:00	09:16:15		Hız		2.5	
12:00:00	00:00:15	12:00:15		Ayar		-	
12:00:15	00:03:00	12:03:15		Hız		0.5	
12:03:15	00:00:15	12:03:30		Ayar		-	
12:03:30	00:03:00	12:06:30		Hız		1	
12:06:30	00:00:15	12:06:45	≥90°	Ayar	Hız	-	Sıcaklık Debi Hız
12:06:45	00:03:00	12:09:45		Hız		1.5	
12:09:45	00:00:15	12:10:00		Ayar		-	
12:10:00	00:03:00	12:13:00		Hız		2	
12:13:00	00:00:15	12:13:15		Ayar		-	
12:13:15	00:03:00	12:16:15		Hız		2.5	
15:00:00	00:00:15	15:00:15		Ayar		-	
15:00:15	00:03:00	15:03:15		Hız		0.5	
15:03:15	00:00:15	15:03:30		Ayar		-	
15:03:30	00:03:00	15:06:30		Hız		1	
15:06:30	00:00:15	15:06:45	≥135°	Ayar	Hız	-	
15:06:45	00:03:00	15:09:45		Hız		1.5	
15:09:45	00:00:15	15:10:00		Ayar		-	
15:10:00	00:03:00	15:13:00		Hız		2	
15:13:00	00:00:15	15:13:15		Ayar		-	
15:13:15	00:03:00	15:16:15		Hız		2.5	

Deney ölçümleri için meteorolojik hava tahminlerine göre plan oluşturulmuştur, Tablo 6.1. Üç farklı günde (05.06.2020, 06.06.2020, 07.06.2020), üç farklı saat diliminde (09:00-12:00, 12:00-15:00 ve 15:00-18:00) ve beş farklı (0.5 m/s, 1 m/s, 1.5 m/s, 2 m/s, 2.5 m/s) akış hızı değerlerinde ölçüm gerçekleştirilmiştir. 05.06.2020-07.06.2020 tarihleri arasında yapılan deneyler sonrasında optimal akış hızına (1 m/s) göre 08.06.2020 tarihinde gün boyu gözlem yapılmıştır.

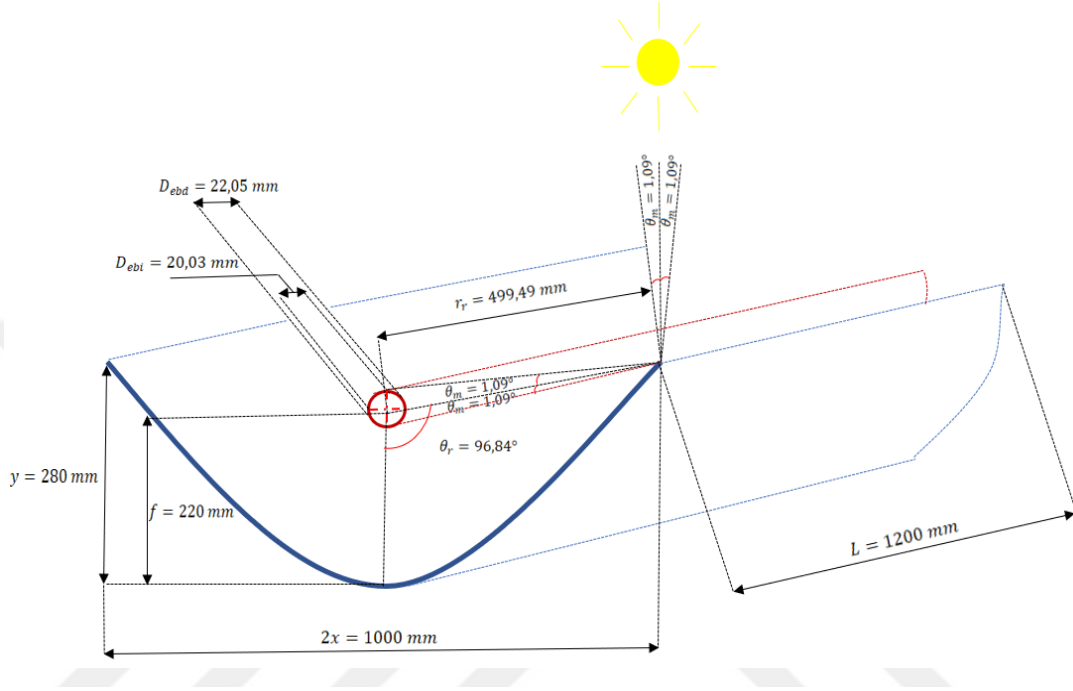
Gerekli alet ve cihazlar: Pitot tüplü anemometre , sıcaklık ölçüm cihazı, veri aktarım kablosu, bilgisayar. Deneyin uygulaması aşağıdaki sıralı işlemler dahilinde yapılmalıdır:

1. Güneşe doğru manuel yönlendirici kol hareket ettirilerek odaklanır ve sabitlenir.
2. Ölçüm aletleri devreye alınır.
3. Fan düşük hızda olmak üzere tüm sistem çevrim için başlatılır.
4. Veri akış kontrolü ve düzenek sürekli olarak görsel kontrol edilir.
5. Zaman planına göre dört farklı zamanda ölçüm tekrarı yapılarak sonuçlar değerlendirilir.

6.2.Parabolik Oluklu Yoğunlaştırıcı Tasarımı Ve Montajı

Parabolik yoğunlaştırıcı sistemin işlevselliği bilimsel teorik hesaplamaların ışığında tüm şartların değerlendirilerek tasarımın somut ve uygulanabilir üretimi ile mümkün olacaktır. Tasarım için dış ortamlarına bağlı optimum seçenekler belirlenmiştir. Tasarım parametrelerinden f odak mesafesi ve y yansıtıcı parabolik yüzeyin yüksekliği olmak üzere f odak mesafesi camla kapatılacak bölgenin iç tarafında konumlanacak şekilde hesaplanmalıdır. Bu sayede absorber borudan çevreye olan ısı kayıplarının engellenmesi sağlanmaktadır.

Geometrik tasarım boyutları ve imalat parametreleri parabolik oluklu güneş yoğunlaştırıcı sistemin ortaya konup montajlandığı süreç ve sonuç kapsamındadır. Teknik ve teorik hesaplamalar sonucunda elde edilen geometrik tasarım boyutları şematik diyagram formunda Şekil 6.2’ de gösterilmektedir:



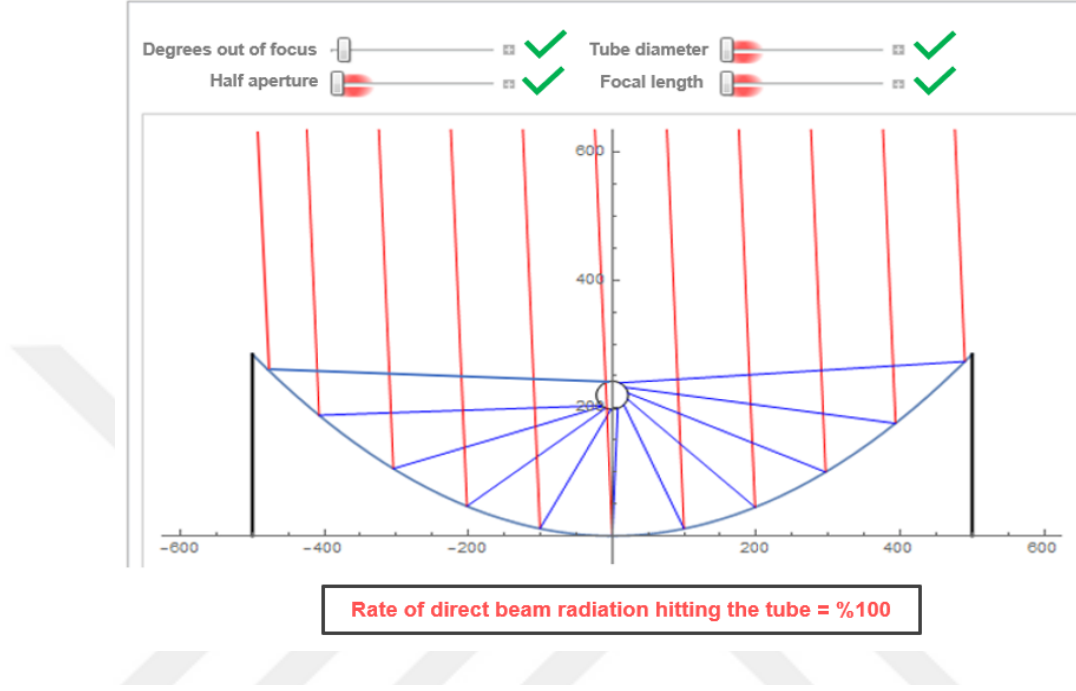
Şekil 6.2.Parabolik yoğunlaştırıcı sistem geometrik tasarım boyutları.

Tablo 6. 2.Parabolik oluklu güneş yoğunlaştırıcı sistem imalat parametreleri.

r_r	Kenar yarıçapı	499.49 mm
θ_r	Kenar açısı	96.84°
f	Parabol odak uzaklığı	220 mm
D_{ebd}	Absorber boru dış çapı	22.05 mm
D_{ebi}	Absorber boru iç çapı	20.03 mm
θ_m	Kabul açısı	1.09°
2x	Parabolik yansıtıcının genişliği	1000 mm
y	Parabolik yansıtıcının yüksekliği	280 mm
L	Parabolik yansıtıcının uzunluğu	1200 mm
C	Geometrik konsantrasyon oranı	14.44
S	Parabolik yansıtıcı yüzeyin eğri uzunluğu	1183 mm
t_c	Cam kalınlığı	4 mm
t_p	Parabolik yansıtıcının kalınlığı	1.2 mm
ρ	Parabolik yansıtıcının yansıtıcılık oranı	0.92
τ	Cam kapağın geçirgenlik oranı	0.94
α	Absorber borunun emme oranı	0.93
γ	Kesme faktörü	1.00

Geometrik tasarım boyutlarının ilişkilendirildiği imalat sistem parametreleri ise Tablo 6.2’de listelenmektedir:

Parabolic Trough Solar Concentrator

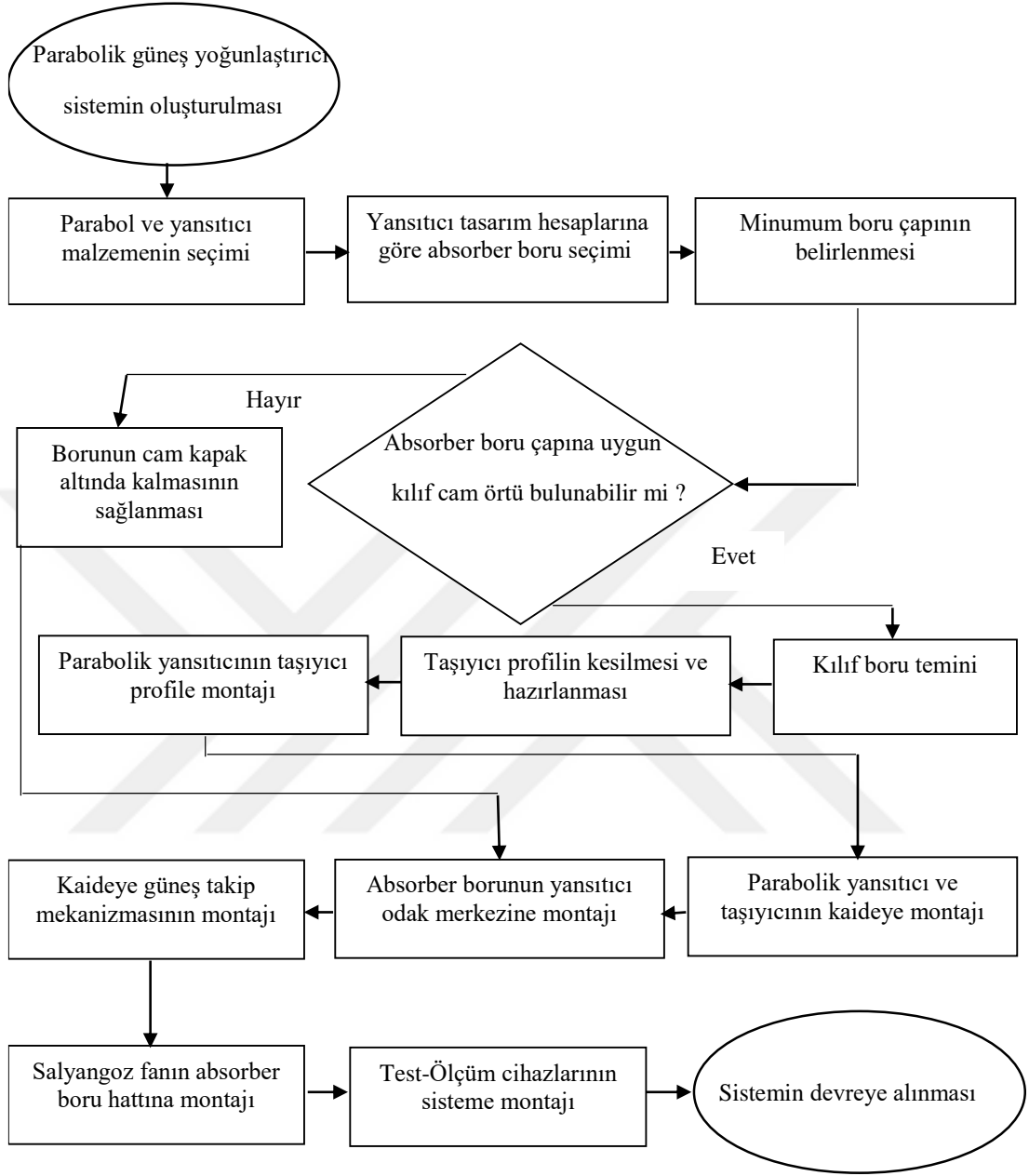


Şekil 6. 3.”Wolfram Demonstrations” programı ile simülasyon testi.

Makine kullanılabilirliği tüm ortaya konmuş ölçü ve parametrelerin doğrulanması ile mümkün olup sistem devreye alınmadan önce bir dizi test ve otonom kontrollerin yapılması gereklidir.

Parabolik oluklu güneş yoğunlaştırıcı için sistem devreye alınmadan önce yansıtıcı bölümün absorber boru üzerinde odaklama kontrolü “Wolfram Demonstrations” programı ile teorik simülasyon testi yapılarak doğrulanmıştır, Şekil 6.3.

Proje planlaması, teorik hesaplamaların üretim uygulamalarının yanı sıra veri ölçüm, analiz ve raporlama süreçlerinin bütünü şeklinde ele alınmıştır. Şekil 6.4’te parabolik yoğunlaştırıcı sistemin taslak proje sürecinden konstrüksiyon uygulama ve sistem devreye alınması sürecine kadar olan işlevsel akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 6.4.Parabolik yoğunlaştırıcı sistem oluşumu akış diyagramı.

Konstrüksiyon sisteminin taslak aşamasından sonraki ilk adım parabol ve yansıtıcı yüzey malzemesinin seçimidir. Parabolik yansıtıcı yüzey malzemesi polisaj kaplı nikel-krom-molibden alaşımlı çelik ve x parabolik yansıtıcı yüzeyin odak merkezinden genişlik uzunluğu 50 cm olarak seçilmiştir.

Cam ile kapatılacak yansıtıcı yüzeyin üst bölgesi ve absorber boru çap uzunluğu dikkate alınarak odak mesafesi $f < y$ olmak üzere Eşitlik(5.5)'te $f=22$ cm ve $x=50$ cm yerine yazılıp y parabolik yansıtıcı yüzeyin yüksekliği hesaplandığında:

$$f = \frac{x^2}{4y} \quad \Rightarrow \quad 22 = \frac{50^2}{4y} \quad (6.5)$$

$y \cong 28$ cm bulunur.

a odak merkezinin 0 noktası ve b odak merkezinden yansıtıcı parabolik yüzeyin genişliği kapsamında belirli integral yardımıyla parabolik yansıtıcı yüzeyin uzunluğu Eşitlik(5.4)'te yerine yazılıp hesaplanmaktadır:

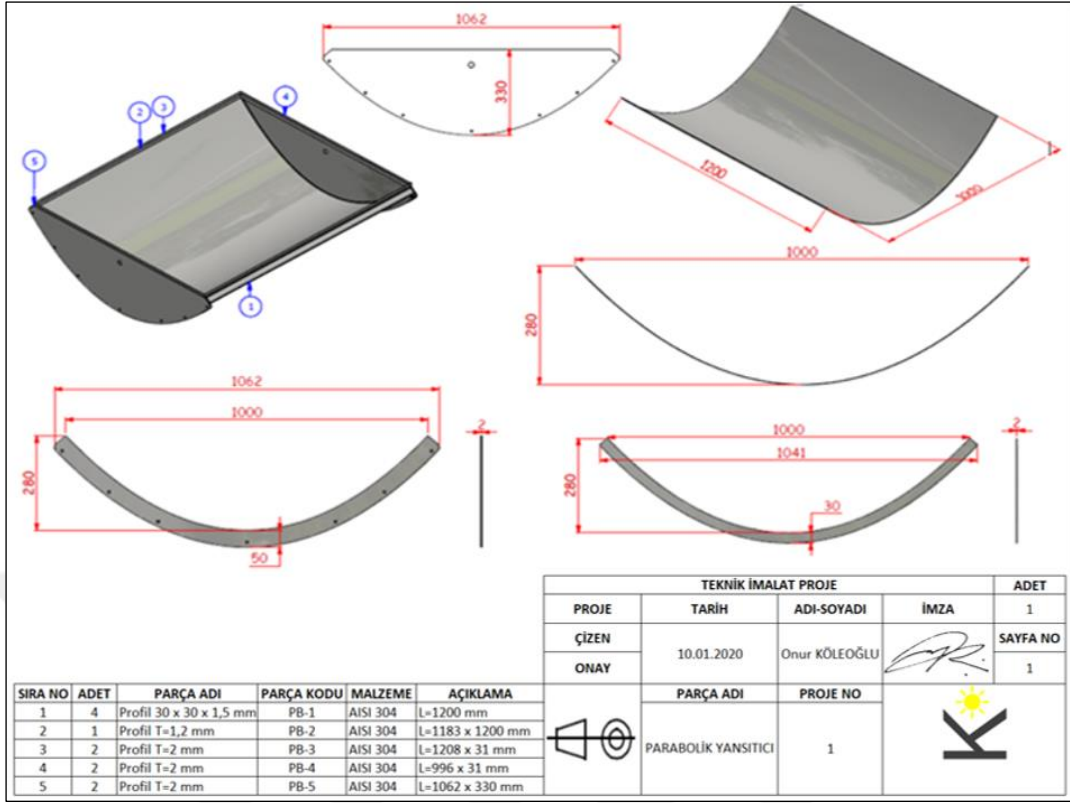
$$L = 2 \int_a^b \sqrt{1+(y')^2} dx = 2 \int_0^{50} \sqrt{1 + \left(\left(\frac{x^2}{88}\right)'\right)^2} dx \quad (6.6)$$

$L \cong 120$ cm bulunur.

Tasarım temel ön şartlarının yerine getirmesi düşünülerek parabolik yansıtıcı kısmın teknik imalat resmi oluşturulmuş ve Şekil 6.5'te belirtilmiştir:

Odak merkezinin parabolik yansıtıcı tasarımına göre konumu belirlendikten sonra minimum absorber boru çap uzunluğu Eşitlik(5.6) ile hesaplanmaktadır. θ_r geliş açısı yaygın olarak 70° ile 120° arasında seçilmektedir.

Tasarlanacak sistem için $\theta_r=96.84^\circ$ seçilmiştir. Yayılm açısı $\delta_{eb}=1^\circ$ ve tepe açısı $\theta_s=0.534^\circ$ kabul edilmiştir.



Şekil 6. 5.Parabolik yansıtıcı yüzeyin teknik resmi.


$$D_{\min} = \frac{x}{\sin\theta_r} \sin\left(\frac{\theta_s}{2} + \frac{\delta_{eb}}{2}\right) = \frac{100}{\sin 96.84} \sin\left(\frac{0.534}{2} + \frac{1}{2}\right) \quad (6.7)$$

$D_{\min} \cong 1.35$ cm bulunur.

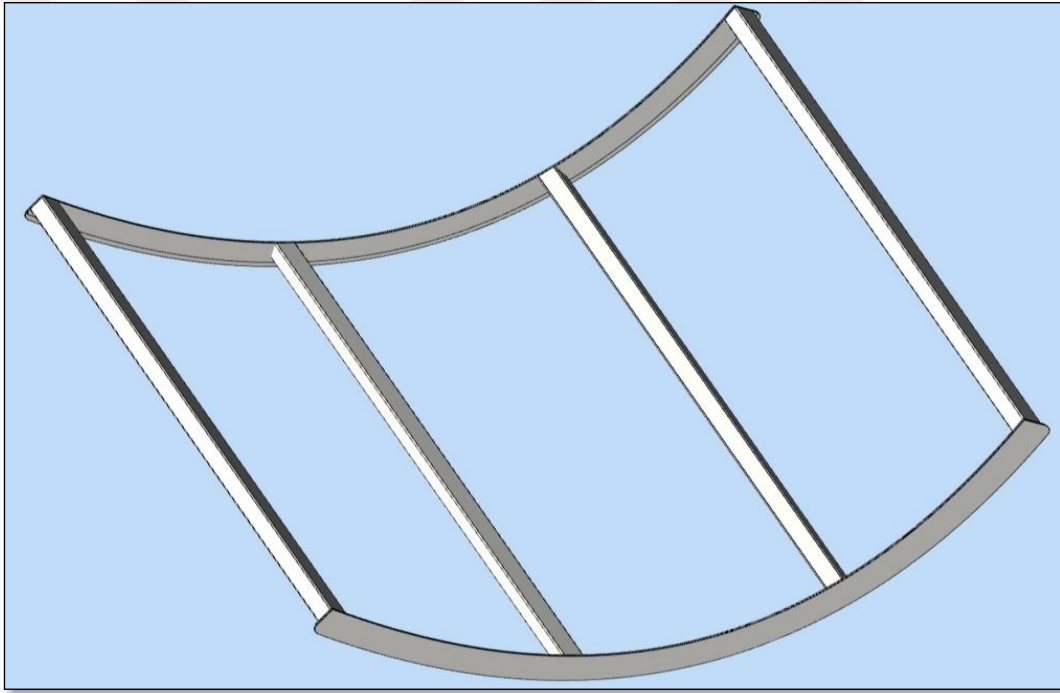
Boru tasarımlarında parmak(inç) hesabı kullanılmaktadır($1''=2.54$ cm). Minimum boru çapı inç-cm dönüşümüne göre hesaplanırsa:

$$D_{\min} \cong \frac{1.35}{2.54} \cong 0.53'' \quad (6.8)$$

D_{eb} absorber boru çapı olmak üzere $D_{eb} \geq D_{min}$ şartı sağlanacak şekilde ve sistem çevrimi üzerine montajlanacak ölçüm cihazı göz önünde bulundurularak optimum standartlarda absorber boru seçimi yapılmıştır, Şekil 6.6.

Absorber boru malzemesi	Bakır	
Anma çapı(mm)	3/4"	
Dış çap(mm)	22,05	
Cidar kalınlığı(mm)	1	
İç çap(mm)	20,03	

Şekil 6. 6.Absorber boru seçim parametreleri.

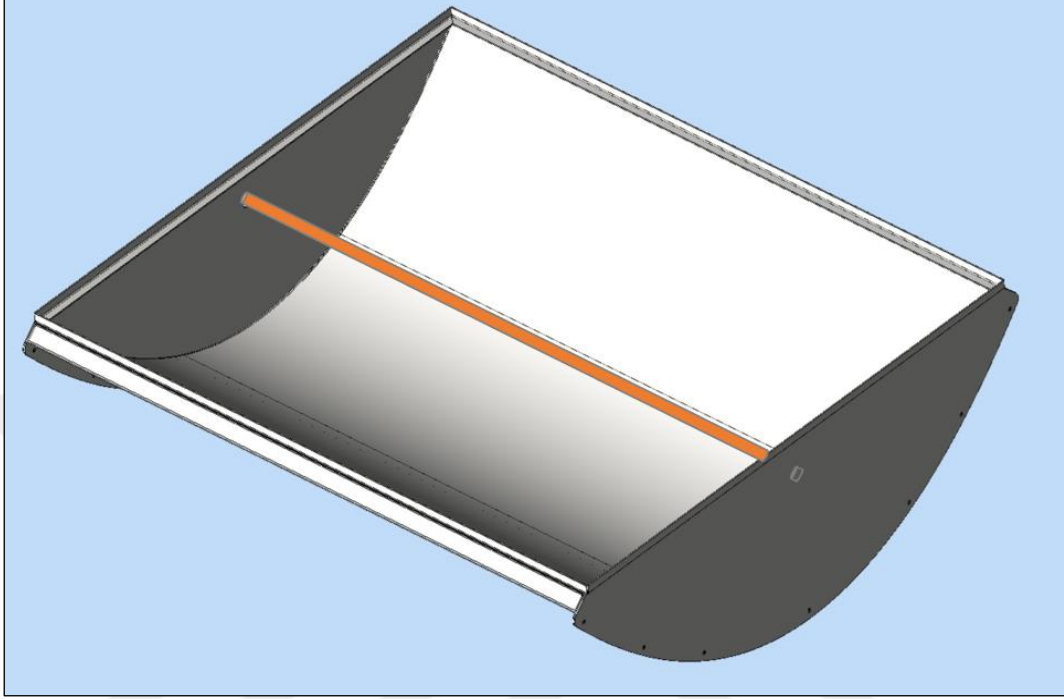


Şekil 6. 7.Taşıyıcı yapının teknik imalat resmi.

Parabolik yansıtıcı yüzeyin özellikleri belirlendikten sonraki aşamada üzerine yerleştirilecek bir taşıyıcı yapıya uygun profil iskelet yapısının sağlanmasıdır. Şekil 6.7'de taşıyıcı yapının teknik imalat resmi oluşturulmuştur.

Taşıyıcı yapının parabolik yansıtıcı yüzeyi taşımasının yanında absorber borunun geçeceği yan yüzey yapıları ve üst kısmın cam örtü ile kapatılması , hareket kabiliyeti, dayanıklılığı gibi özelliklerin dikkate alınması gerekmektedir.

Parabolik yansıtıcı yüzey, taşıyıcı yapı ve absorber borunun üç boyutlu montaj modeli Şekil 6.8'deki gibi oluşturulmuştur:

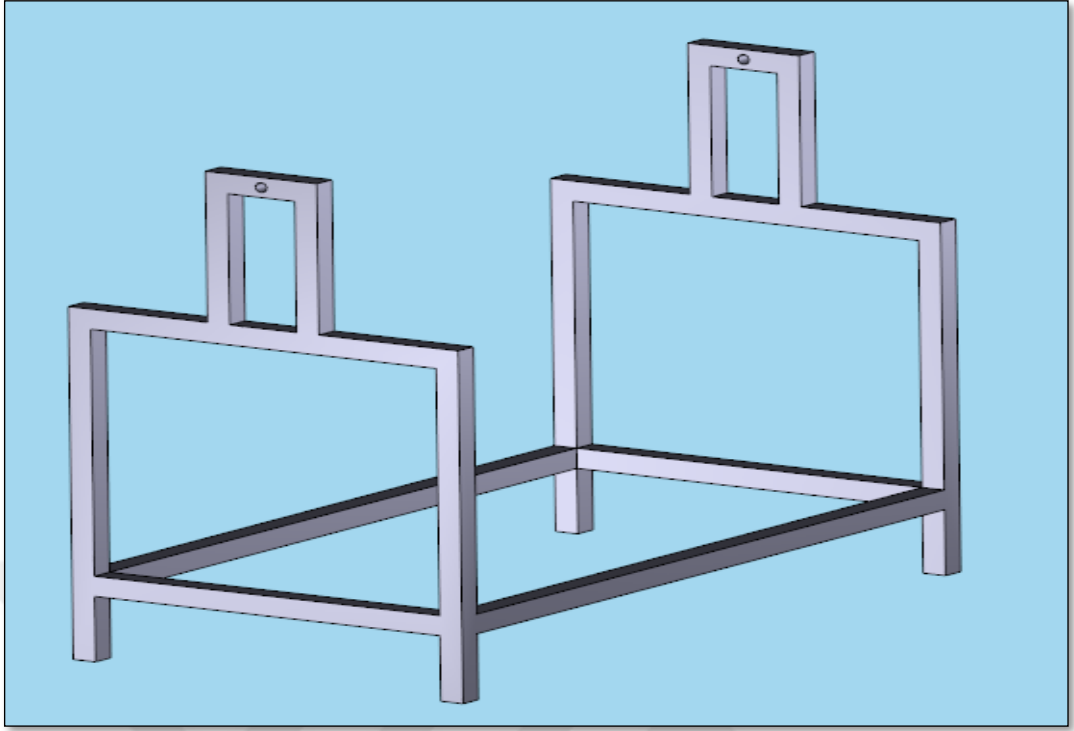


Şekil 6. 8.Parabolik oluklu yoğunlaştırıcı kısmın üç boyutlu montaj modeli.

Kaide ve destek yapısının oluşumu yer zemin bağlantısının sağlam bir şekilde dengede durması, dış etkilere karşı mukavemetli olması ve parabolik yansıtıcı aynayı taşıması ve yönlendirme mekanizmasının etkinliğini düzenlemesi bakımından önemlidir.

Güneş takibi için yönlendirme mekanizması manuel kontrollü kullanıma yönelik projelendirilmiştir. Hareketi sağlayacak mekanizmanın taşıyıcı yapının teğet merkezleri arasında olacak şekilde konumlanması, parabolik yansıtıcı ayna yüzeyine gelen güneş ışınlarının en uygun şekilde odaklanmasını sağlamaktadır.

Kaide ve destek yapısını sağlayacak ana gövde malzemesinin siyah çelik profilden yapılmasının uygun olacağı düşünülmüştür ve buna göre projelendirilmiştir, Şekil 6.9. Güneş yönlendirmesi için kol yapılması düşünülerek transmisyon mili ve transmisyon mil uçlarına bağlı iki adet şaft mekanizması oluşturulmuş ve kaide destek yapısı üzerine montajlanmıştır.



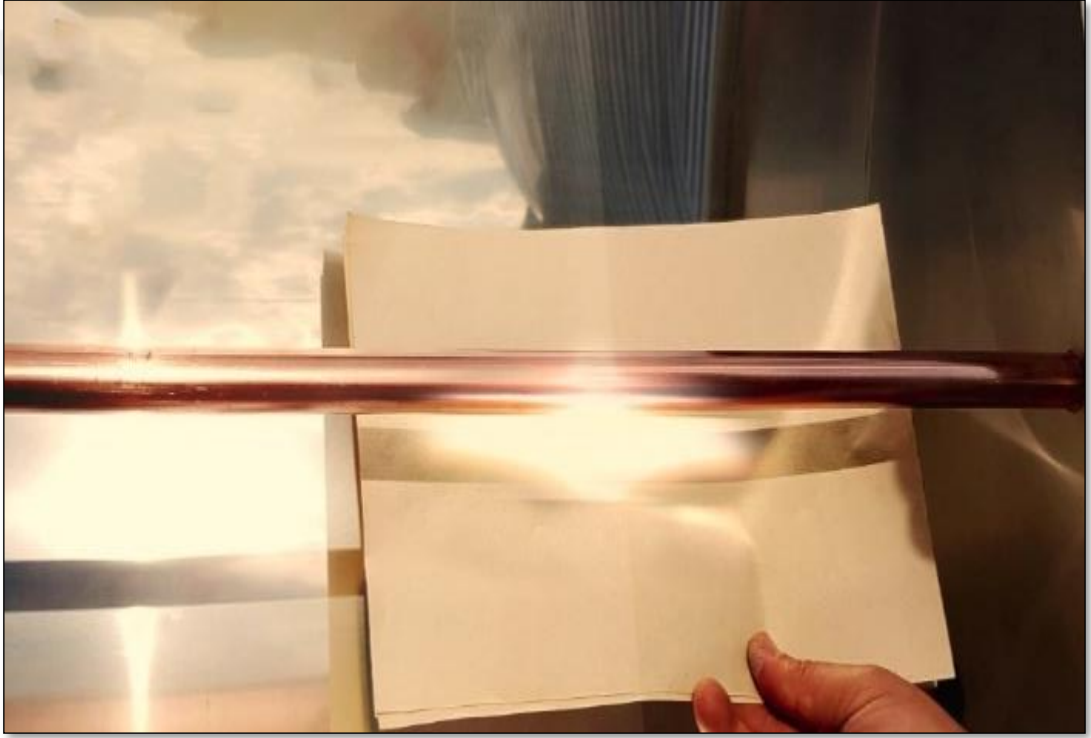
Şekil 6. 9.Kaide ve destek yapı profil modeli.

Hava akış mekanizmasını sağlayacak olan salyangoz tipi fan çıkış hattı ile absorber bakır boru arasındaki hava iletimi için redüksiyon boru imalatı yapılması düşünülmüş ve birleşim noktalarına vidalanması için dış açılmıştır.

Parabolik oluklu güneş yoğunlaştırıcı sistem ana eleman yapısının projelendirilmesinden sonra enerji transferi için mekanik tesisat bağlantılarının akış sağlayıcı fandan sistem giriş çıkış hattı boyunca uygun bakır kaynağı ile birleştirme işlemi uygulanmıştır.

Yansıtıcı yüzey arkasına fan ve vakum pompası karşılıklı konumlandırılarak montajlanmıştır. Sistem girişindeki bakır boru bağlantısına küresel vana montajlanarak sistemdeki ölçüm mekanizmasını sağlamak ve bu sayede L şeklindeki pitot tüplü anemometrik cihazdan akış verilerini ölçme imkânı sağlanmıştır.

Giriş bakır boru hattının dış yüzeyi ayrıca ölçüm için yalıtım malzemesi ile çepeçevre sarılarak kapatılmıştır. Çıkış hattına sistem sıcaklık farkının bir göstergesi olarak ölçüm için termokupl probu ve sıcaklık ölçüm cihazı bağlantısı oluşturulmuştur. Akış sağlayıcı fan sistemine akış hızını kontrol etme ve düzenleme imkânı sağlayan potansiyometre bağlantısı yapılmıştır. Tasarım aşamasında simülasyon programı ile odaklama kontrolü, imalattan sonra sisteme gelen güneş ışınlarının yansıtıcı yüzeyden absorber boruda odaklama testi hem simülasyon hem de fiili gözlem yoluyla yapılmıştır, Şekil 6.10. Özel metal temizleyici jel ile sistemin tüm temizliği yapılmıştır.



Şekil 6. 10.İmalat sonrası güneş ışınlarının odaklama testi.

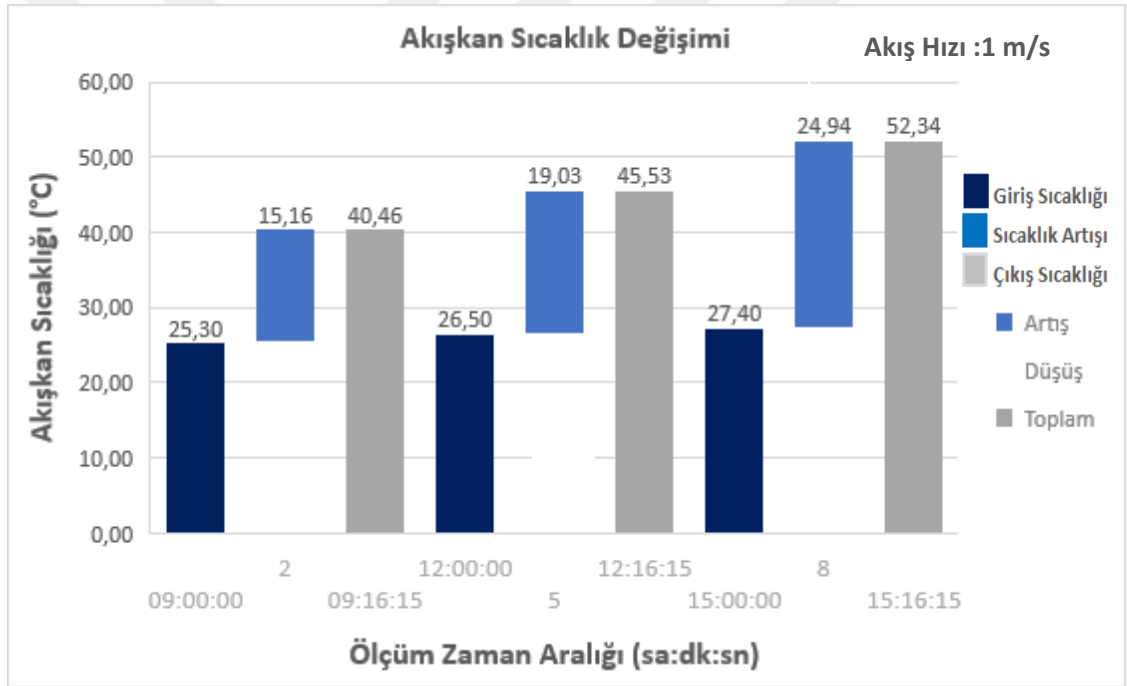
Odaklama testi güneşli havada doğal güneş ışığı ya da karanlık bir ortamda yansıtılan yapay ışığın absorber boruda ayırt edilebilen bir kâğıt üzerine yansımaya durumuyla gözlenebilmektedir. Odaklamamanın etkisi ısı absorpsiyonu artırmak için boru üzerine sürülen özel boyalarla sağlanmaktadır. Yansıtıcı yüzey ve bakır boru üzerine 4 mm cam kapak örtü montajı yapılmıştır. Düzenek tesisat hattı boyunca akış düzenliliği ve sürekliliğini sağlamak için kaçak kontrolü yapılarak özel sıvı jel silikon malzeme ile yalıtım sağlanmıştır. Konstrüksiyon imalat süreci Şekil 6.11’de gösterilmiştir:



Şekil 6. 11.Konstrüksiyon imalat süreci.

BÖLÜM 7.BULGULAR

Plana göre belirli zaman ve sürelerdeki giriş-çıkış sıcaklık değişimleri ekler kısmında gösterilmiştir. Önemli özelliklerden biri deney süresi dışında uzun sürelerde beklenildiğinde ısı birikimine bağlı sıcaklığın artışının gözlenmesidir. Akış rejiminin en uygun 1 m/s' lik hızda maksimum sıcaklıklara ulaştığı gözlenmiştir.



Şekil 7. 1.Absorber boru içindeki hava akışkanının sıcaklık değişimi.

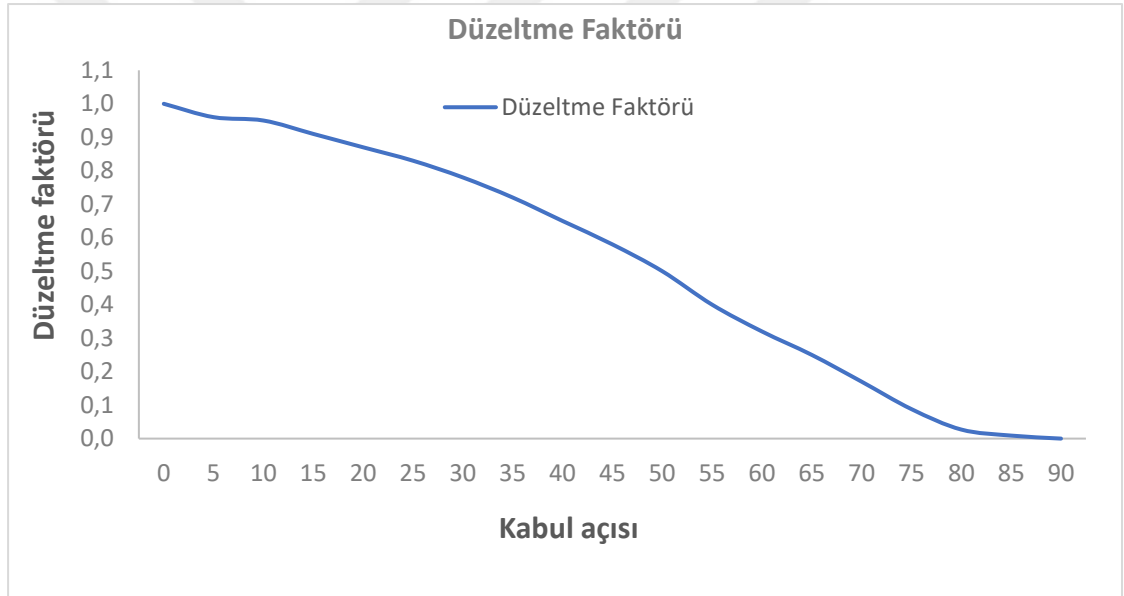
Deneyde absorber borudan birim zamanda geçen havanın hacimsel debisi \dot{V}_{hava} 0.001710 m³/s ölçülmüştür. Kütesel debiyi bulmak için Eşitlik(6.3) kullanılırsa:

$$\dot{m}_{\text{hava}}=(1.1637)(0.001710)=0.00199 \text{ kg/s} \quad (7.1)$$

Sistem optik verimliliği, meteorolojik güneş ışınım değerleri bütününde enerji yeterliliği sağlamak açısından ısı verimin göstergesi olacaktır. Üç farklı gün, üç farklı deney zaman aralığında ve beş farklı hız değerlerinde yinelenen gözlemler sonucunda sıcaklık değişimleri gözlenmiştir ve grafik haline getirilmiştir, Ek 1-45.

7.1.Verim Analizi

Güneş ışınlarının transferine bağlı ifade Şekil 5.2’de gösterilmiş ve optik verim Eşitlik (5.13) ile ifade edilmiştir. η_1 kabul açısına bağlı düzeltme faktörü değeri 0.96 seçilmiştir, Şekil 7.2.



Şekil 7. 2.Kabul açısına bağlı düzeltme faktörü değişimi (Dersch ve ark.,2009).

η_2 atmosferden geçen güneş ışınımı seçilen cam kapak örtü malzemesinin geçirgenlik değerine göre seçilmektedir. Seçilen camın geçirgenlik değeri (η_2) 0.94’tür, Tablo 5.3.

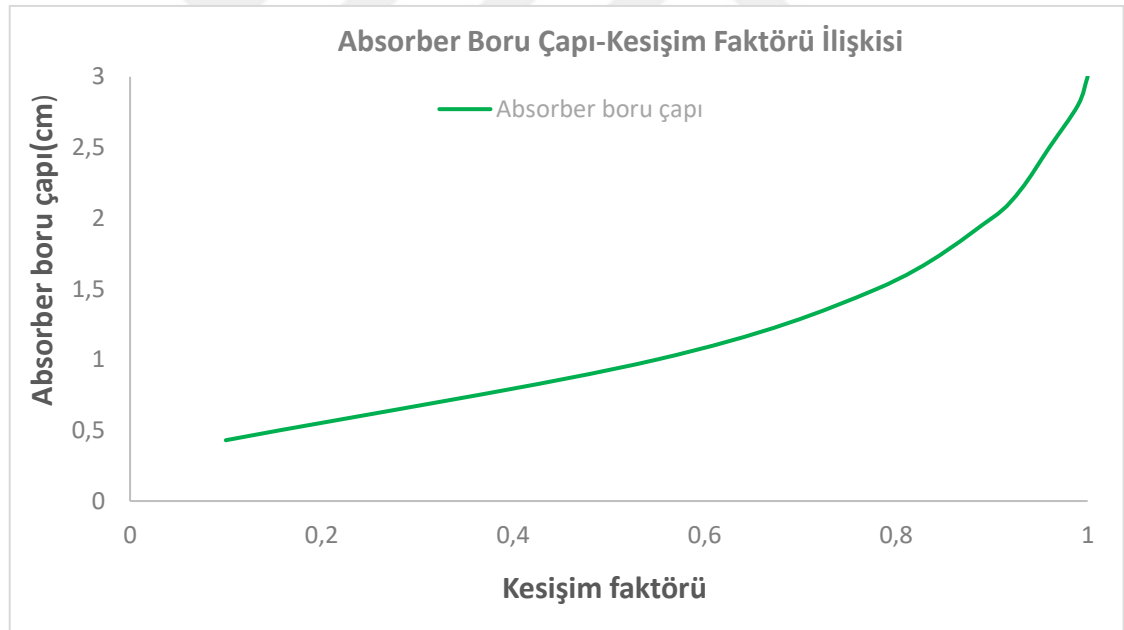
η_3 kesişim faktörü değeri absorber boru çapına göre seçimi yapılmıştır. Absorber boru için (η_3) 0.92 değeri seçilmiştir, Şekil 7.3.

η_4 için parabolik yansıtıcı yüzey malzemesinin yansıtıcılık değerine göre (η_4) 0.92 seçilmiştir, Tablo 5.1. η_5 ise absorber boru emicilik değerine göre (η_5) 0.93 değeri seçilmiştir, Tablo 5.2. Optik verim hesabı yapılırsa:

$$\eta_{\text{optim verim}} = (0.96)(0.94)(0.92)(0.92)(0.93) = 0.7103 \quad (7.2)$$

%71.03 optik verim bulunur. Eşitlik (7.2)'de bulunan η_{optik} değeri Eşitlik (7.3)'te yerine yazılıp hesaplandığında ise absorber boruya gelen direkt güneş ışınımı bulunmaktadır.

$$\dot{q}'_{\text{abs,ebd}} = \frac{I_2}{\%71,03} \quad (7.3)$$



Şekil 7. 3. Absorber boru çapına bağlı kesişim faktörü değişimi(Beckman,2006).

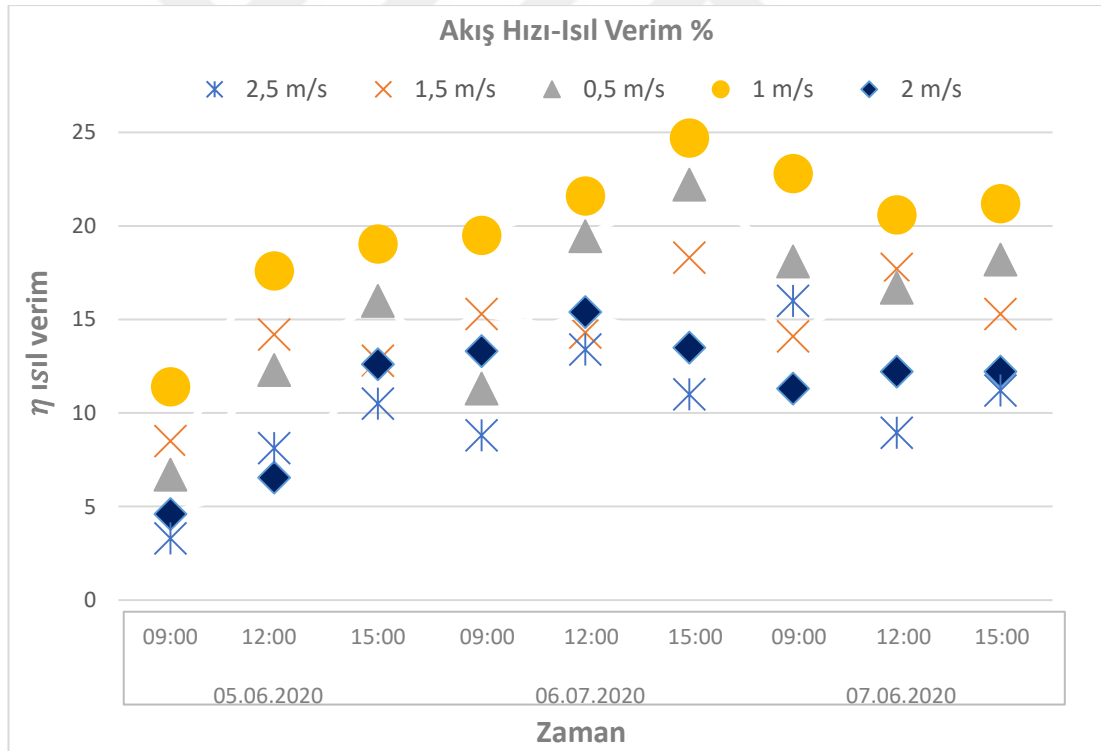
I_2 hesaplaması için deney ölçümüne paralel dönemde değerlendirilmesi için parabolik oluklu güneş yoğunlaştırıcı üzerine gelen direkt güneş radyasyon değeri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün Haziran ayı toplam global radyasyon değeri baz alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

Haziran ayında Ordu global radyasyon değeri 5.96 kWh/m²-gün ve potansiyel güneş ışınımından yararlanma süresi ise 15 saattir (MGM, 2020).

$$1 \text{ kWh/m}^2\text{-gün} = (1 \times 1000 \text{ W} \times 3600) / (15 \text{ m}^2 \times 3600) = 150 \text{ W/m}^2 \quad (7.4)$$

$$\dot{q}'_{\text{abs,ebd}} = \frac{(5.96) \cdot (150)}{(0.7103)} \text{ W/m}^2 \quad (7.5)$$

Uzun dönem Ordu ili verilerine göre anlık ışınım değerlerinin değişmediği kabul edildiğinde tasarlanan parabolik yansıtıcı yüzey alanı 1.2 m² için $\dot{q}'_{\text{abs,ebd}}$ değeri 1510.34 W teorik olarak elde edilmektedir. Gözlem süresine göre (9 saat) değerlendirme yapıldığında ise $\dot{q}'_{\text{abs,ebd}}$ değeri 906.24 W hesaplanmıştır.

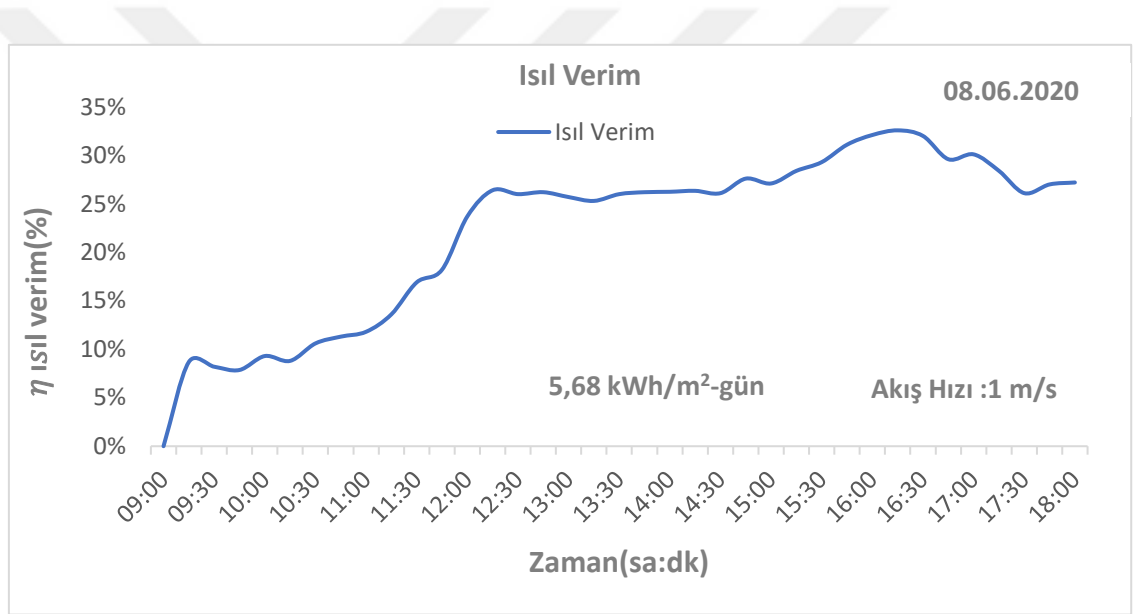


Şekil 7. 4.Akış hızına bağlı ısıl verim değişimi.

Absorber boruda verime yönelik teorik hesaplamaların potansiyel olarak değerlendirilmesi ve daha hassas ölçümler için önemli faktörler aşağıdaki belirtilmiştir.

- Anlık güneş ışınımı değişimi
- Ortama bağlı giriş ve çıkış sıcaklık değişimi
- Akış hızındaki dalgalanmalar
- Veri kaydedici hassasiyeti ve uyumluluğu
- İzleme mekanizmasındaki hatalar
- Borularda yanlış hizalama
- Yansıtıcı yüzey yapısı ve cam kapakta kir

Şekil 7.4' te ifade edilen en yüksek ısı veriminin 1 m/s 'de görülmesi üzerine 8.06.2020 tarihinde 1 m/s'de gözlem yapılmıştır, Şekil 7.5.



Şekil 7. 5.Zamana bağlı ısı verim değişimi.

08.08.2020 tarihindeki gözlem sıcaklıkları değişimi grafiklerle ifade edilmiştir, Ek 46-48. Isıl verim hesaplamasında farklı günlerde sıcaklık, güneş ışınımı gibi anlık değişimlerin göz önünde bulundurulabilir.

Tasarım özellikleri, akışkan özellikleri, geometrik konsantrasyon oranı, güneş ışınımı gibi kapsamı da içine alan ve hassasiyeti artırmak için bağlı değişken C katsayısı karşılaştırmalı hesaplamalarda kullanılabilir, Eşitlik(7.6).

$$C = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T}{A_{pgk} \cdot I_{güneş}} \times \frac{2x}{\pi D} \quad (7.6)$$

7.2.Hata Analizi

Deney çalışmalarının başarı ölçütü doğruluk ve hassasiyete bağlı gerçekleşmelerdir. Doğruluk ve hassasiyetlerin her bir ölçümde sapma göstermesi hatayı oluşturmaktadır.

Bilimsel deneylerde hatalar insani unsurlar diğeri ise deney düzeneği bileşenleri ve ölçüm aletlerinden kaynaklanmak üzere iki grupta toplanmaktadır. İnsani unsurlardan kaynaklı hatalar dikkatsizlikten, planlama ve tecrübe eksikliğinden kaynaklı kontrol mekanizmasını etkilemesi açısından birincil hata grubu içinde sınıflandırılmaktadır. Hız ölçümü yapıldığı anda kullanıcının ölçülecek hıza ulaşma sürelerinden kaynaklı sapma %1'dir.

Sistemsel ve statik hatalar, ikincil hata grubu kapsamında ölçüm aletlerinin hassas ölçüm yapamaması ve gerçek ortam şartlarını yansıtamaması kaynaklı sıcaklık ölçme cihazında %1, anemometrik cihazda %2 sapma göstermektedir. Üçüncül hata grubu ise ölçümde tahmin ve kontrol edilemeyen anlık küçük dalgalanmalardır. Ölçüm cihazlarının veri aktarım hızları ve farklı bağlantı girişi olduğundan sapma %1'dir. Sıcaklık grafikleri üzerinde belirsiz nedenlerden dolayı anlık %1 'lik ölçekte küçük dalgalanmalar gözlenmiştir. %94 doğruluk seviyesinde ölçüm çalışması yapılmıştır.

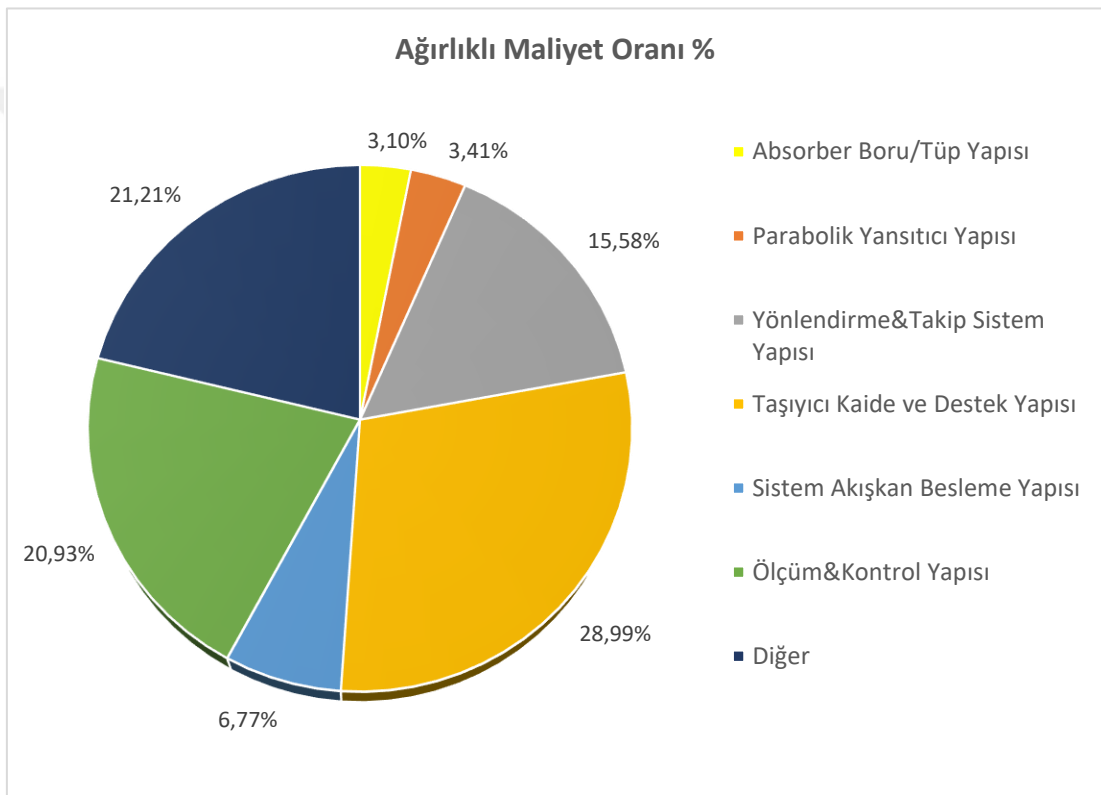
Tüm sapma farklılıkları toplandığında %6 ve ön görülemeyen diğer tüm kayıpları azaltmak için SMED Analizi (Single Minute Exchange of Dies) yapılmalıdır. SMED analizi ekipmanın dururken ve çalışırken tamamlanması gereken ve kayıp unsurların tamamını iyileştirmeye yönelik süreç analizidir.

7.3.Maliyet Analizi

Mühendislik projelerinin hayata geçirilmesi ve değer sağlaması işletmeler açısından katma değerdir.

İşletmeler üretime geçmeden önce ekonomik analiz için mevcut durumları ile gelecekte değer yaratmaya yönelik tahminlerini yaptığı birçok fizibilite yöntemine başvurmuşlardır.

Tasarlanan parabolik güneş yoğunlaştırıcı sistem için bu doğrultuda gelecekte üretimi göz önünde bulundurularak ekonomik açıdan değerlendirilmesi yapılmış ve ağırlıklı maliyet oranları üzerinden optimum değer yaratmaya yönelik stratejiler düşünülmüştür, Şekil 7.6.



Şekil 7. 6.Ağırlıklı maliyet oranı %.

Birim m² parabolik oluklu güneş kollektörü yüzey alanı başına maliyet gideri 6.450 ₺ hesaplanmıştır. Şekil 7.6. 'da ifade edilmiş ağırlıklı maddi değer maliyetlerinin optimum hale getirilmesi için “Yalın Üretim” faaliyetleri düşünülmüştür.

İlk etapta diğer maliyet ağırlığı kapsamına dahil projelendirme, lojistik, işçilik ve montaj giderlerinin birim adet yapılacak işler başına %15 daha uygun maliyet hedefi ile üretilmesi ön görülmektedir.

İkinci etapta sistem akışkan besleme yapısının kollektör sayısına göre verimli olacağı düşünüldüğünden birim adet başına %20 uygun maliyetle üretimi ön görülmektedir.

Ölçüm kontrol mekanizması tek bir kollektör için maliyeti olarak büyük oranda etkilemektedir ancak sistemin geniş alana yönelik hitap etmesi ve adet başına üretimi çok daha karlı olacaktır. Ergonomik tasarım ve üretim teknikleri ile tüm sistem üzerinde ilk yatırım maliyetlerinde ortalama %35-%40 olumlu azalış olması ön görülmektedir. Parabolik güneş yoğunlaştırıcı sistem için yapılan maliyet değerlendirmesinde hammadde ve birim maliyetler üzerinde azalış yönünde olumlu etkilemesinin yanı sıra seri üretim maliyetlerini de bu doğrultuda olumlu etkileyeceği düşünülmektedir.

BÖLÜM 8.TARTIŞMA VE SONUÇ

Ölçüm prosedürü hazırlanarak meteorolojik veri ve tahminler ışığı altında dört farklı günde ve günün üç farklı evresindeki akış hızı ve debisi, sıcaklık değişimi gibi farklı akış rejimlerindeki parametrelere yönelik izleme faaliyetleri düzenlenmiştir.

Meteorolojik güneş ışınım verileri referans alınarak bölgesel uygulanabilirlik performansı değerlendirilmiştir. Ölçümlerde ısı verim sırasıyla büyükten küçüğe 1 m/s, 0.5 m/s, 1.5 m/s, 2 m/s ve 2.5 m/s hızlarda olmak üzere gözlenmiştir. Akışkan hızı azaldıkça absorber boru içinde gaz akışkanın bekleme süresini artıracak ve bu sayede güneş ışınımından daha fazla ısı absorbe edileceği düşünülmüştür. 0.5 m/s' lik akış hızında bu düşünce deney süresince gözlenememiştir. 0.5 m/s akış hızı için tasarımdaki absorber borunun seçici geçirgen olmaması, akışkan transferinde minimum akış hızı sınır değerini kısmen sağlıyor olması ve ısının farklı bir noktada yoğunlaşması gibi akış rejiminde dengesizliklerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Güneş ışınımı değeri, odaklama ayarı ve güneş geliş açısına bağlı 1 m/s' lik akış hızında maksimum %25.2 verim gözlenmiştir.

Hava akışkanı için gözlenen 1 m/s lik en uygun akış hızında 08.06.2020 'de yapılan gün boyu gözlemde 09:00-12:00 saatleri arasında maksimum %23.7 ısı verim, 12:00-15:00 saatleri arasında maksimum %27.6 ısı verim ve 15:00-18:00 saatleri arasında ise maksimum %32.58 ısı verim elde edilmiştir. Maksimum sıcaklıkların izleme periyodu boyunca 9:00-12:00'de 85.6 °C, 12:00-15:00'de 94.3 °C, 15:00-18:00'de ise 114.6 °C'ye ulaşmıştır.

Farklı akış hızlarının tasarım çıktıları sonucundaki görünüm ısı birikiminin etkisiyle ısı performansların artırılmasına yönelik analiz sonuçları yansıtacağı düşünülmüştür.

Daha yüksek sıcaklıklara ulaşmak, akışkan özelliklerinden en iyi şekilde yararlanmak ve ısı verimi tanımlamak açısından toplam ısı transfer katsayısı değeri, ısı enerjisinin madde iç yapısındaki ısı direnç ortamları arasından ne kadar iyi iletildiğinin göstergesidir. Aynı ısı enerji ihtiyacı için akışkanların aynı giriş sıcaklığı ile son sıcaklıklarının ulaştığı maksimum değer ve süre arasında ilişkilendirme yapılabilir. Kuruluk derecesi de gaz fazındaki akışkanın buhar kalitesini ortaya koyan önemli bir olgudur.

Akış hızının artırılması ya da azaltılması ısı verimi kurulacak parabolik güneş yoğunlaştırıcı sistemin yansıtıcı yüzey alanı, absorber borunun çapı ve uzunluğu ile orantılı olarak değişim gösterecektir. Elde edilecek enerji potansiyeli büyüklüğüne göre seçilen tasarım ve malzemeler, kurulacak alanının büyüklüğüne göre değişmektedir.

Isı verim ve geometrik verim sistem tüm verimini yansıttığı için birlikte değerlendirilmelidir.

Parabolik oluklu yoğunlaştırıcı sistemden elde edilebilecek maksimum verim için giriş-çıkış sıcaklıklarının akış hızı, hava sıcaklığı, güneş ışınımı ,hava açıklık durumu ve geometrik tasarım yapısına bağlı daha gelişmiş veri analiz yöntemlerine sahip otonom kontrollü sistemler ile ilerletileceği düşünülmektedir.

BÖLÜM 9.ÖNERİLER

Gelecek mühendislik çalışmaları için absorber boru malzeme özelliğinin seçici geçirgen olması, gelişmiş sensörlü güneş veri algılama ve yönlendirme mekanizması, hareket kabiliyetini açısal ve doğrusal formda çeşitlendirecek daha basit ve kullanışlı yapı tasarımı, farklı sistem akışkan tiplerinin sistem beslemesini sağlayacak doğal şartlandırma yöntemleri, bölgesel özelliklere ve kullanım ihtiyacına göre yeni hibrit sistemlerin uygulanarak enerji ve enerji verimliliği sağlanmalıdır. Enerjiyi ürettikten sonra depolarken veya bir yerden bir yere taşırken özel otomatik kontrollü valf ve filtreleme sistemlerinin devreye alınarak atık ısıların sisteme kazandırılması hedeflenmektedir.

Parabolik oluklu güneş yoğunlaştırıcılar Türkiye’de mikro ölçekte kırsal kesimden makro ölçeklere kadar geniş perspektifte enerji yatırımlarına uygundur. Yenilenebilir enerji teşvik ve kalkınma planları çerçevesinde enerji ihtiyacı karşılanarak dışa bağımlılığın azaltılması ile mümkün olacaktır. Gerçekleştirilen bu sistem ile endüstriyel ihtiyaçlar için doğrudan havayı ısıtan konsantre güneş kolektörlerinin kullanılabilmesi görülmektedir. Özellikle sebze ve meyve kurutma hatta yağlı tohumların kavurma işlemlerinin bu tarz sistemlerle oluşturulabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Adinberg R. 2010. Report on the Methodology to Characterize Various Types of Thermal Storage Systems Deliverable.
- Agyenim F, Hewitt N, Eames P, Smyth M. 2009. A Review of Materials, Heat Transfer and Phase Change Problem Formulation for latent heat Thermal Energy Storage Systems (LHTESS). Renewable and Sustainable Energy Reviews. 14(2):615e28.
- Almanza, R., Jimenez, G., Lentz, A., Soriaa. 2002. Journal of Solar Energy, Engineering, 124: 140-144.
- Antoni, G., et.al. 2010. State of Art on High Temperature Thermal Energy storage for Power Generation part 1-Concepts, Materials and Modellization. Renewable and Sustainable Energy Reviews 14: 31–55.
- Asme. 2009. Asme General Position Statement On Techonology and Policy Recommendations and Goals for Reducing Carbon Dioxide Emissions 6-7.
- ASTM International. ASTM C1549-09, 2014. Standard Test Method for Determination of Solar Reflectance Near Ambient Temperature Using a Portable Solar Reflectometer; ASTM International: West Conshohocken, PA, USA.
- B. Muster et. al. 2015. Integration Guideline, IEA SHC Task 49.
- Bai F, Xu C. 2011. Performance Analysis of a Two-Stage Thermal Energy Storage System Using Concrete and Steam Accumulator. Applied Thermal Engineering. 31(14e15):2764e71.
- Bakos G.C., Ioannidis I., Tsagas N.F. and Seftelis I. 2001. Examination of Design, Optimisation and Conversion Efficiency Determination of a Line-Focus Parabolic-Trough Solar Collector. Greece. 68: 43-50.
- Bakos, G.C. 2006. Design and construction of a two-axis Sun tracking system for parabolic trough collector (PTC) efficiency improvement. Renewable energy, 31(15):2411-2421.
- Bhowmik, N.C., Mathur., S.S., Kandpal, T.C. 1985. Thermal Performance Of Linear Solar Colector With Tubular Absorber. Energy Conversion and Management. 25: 419-421.
- Boultinghouse KD. 1982. Development of a solar flux tracker for parabolic trough collectors. Albuquerque, USA: Sandia National Labs.
- Bp. 2019. Dünya Enerji Görünümü Raporu.

- Bromley, L. A. 1950. Chem. Eng. Prog., 46: 221.
- Caldino-Herrera, U, Castro, L, Jaramillo OA, Garcia JC, Urquiza G, Flores F. 2017. Small organic rankine cycle coupled to parabolic trough solar concentrator. Energy Procedia, 129: 700-707.
- Castañeda, N., Vázquez J., Domingo M., Fernández, A., León, J. 2006. "Sener . Parabolic Trough Collector Design and Testing", Solar Paces. <ftp://ftp.crs4.it/pub/References/SolarPaces2006/A2/A2-S3-CASTANEDA.pdf>.
- Cengel, Yunus and Afshin J. Ghajar. 2011. Heat and mass transfer: Fundamentals and applications. 4th. McGraw-Hill,
- Cengel, Yunus and Cimbala, M. John. 2006. Fluid Mechanics: Fundamentals and applications. 1st. McGraw-Hill.
- Chavez JM, Kolb GJ, Meinecke W. In: Becker M, Klimas PC, editors. 1983. Second generation central receiver technologies: a status report. Karlsruhe, Germany: Verlag.
- Churchill, S. W., and H. H. S. Chu, Int. J. 1975. Heat Mass Transfer, 18, 1323.
- Coccia, Gianluca, Giovanni Latini and Marco Sotte. 2012. Mathematical modeling of a prototype of parabolic trough solar collector. Renewable and sustainable energy 4.
- Cope NA, Ingley HA, Farber EA, Morrison CA. 1981. Dynamic response analysis of a solar powered heliostatic fluid mechanical drive system. University of Florida.
- Cope, A.W.G., Tully, N. 1982. Simple Tracking Strategies For Solar Concentrations. Solar Energy. 361-365.
- Çolak, L. 2003, Güneşi takip eden parabolik oluk tipi güneş kolektörlerinin matematiksel modellenmesi, tasarımı ve teknik optimizasyonu, Gazi Üniversitesi, Ankara, 268.
- Demain, C., Journee, M. and Bertrand, C. 2013. Evaluation of different models to estimate the global solar radiation on inclined surfaces, Renewable Energy, 50: 710-721.
- Duffie J. A., Beckman W. A. 2006. Solar Engineering of Thermal Processes Third Edition.
- Dupeyrat, P., Ménézo, C., Fortuin, S. 2014. Study of the Thermal and Electrical Performances of PVT Solar Hot Water System. Energy Build. 68: 751–755.
- Ecevit, A., Goshtaspour, M. 1985. Güneş enerjisinde yoğunlaştırıcı toplaç, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Temel Bilimler Araştırma Grubu, 86, Ankara.

- Eisavi B, Khalilarya S, Chitsaz A, Rosen MA. 2018. Thermodynamic analysis of a novel combined cooling, heating and power system driven by solar energy *Applied Thermal Engineering*, 129: 1219-1229.
- El-Sebaï AA, Al-Snani H. 2010. Effect of selective coating on thermal performance of flat plate solar air heaters. *Energy*, 35: 1820–1828.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, İklim Değişikliği ve Uluslararası Müzakereler. <http://www.enerji.gov.tr> Erişim Tarihi: 04.10.2019.
- Ericsson, J. 1884. The Sun Motor And The Sun's Temperature. *Nature*. 29: 217–223. Erişim Tarihi: 19.10.2019.
- Espana D.M., Rodriguez, L. 1987. Approximate steady-state modelling of solar trough collectors, *Solar Energy*, 38, 6: 447-454.
- Ferguson, C. D., 2015. Nükleer Enerji Herkesin Bilmesi Gerekenler. Ankara: Buzdağı Kitapevi, 453-462.
- Fernández-García, A., Zarza, E., Valenzuela, L., Pérez, M. 2010. Parabolic-Trough . Solar Collectors and Their Applications. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 14: 1695–1721.
- Folaranmi, J. 2009. Design, Construction and Testing of a Parabolic Solar Steam Generator. *Journal of Practices and Technologies*. ISSN 1583-1078. 14:-133.
- Forristall, R. 2003. Heat transfer analysis and modeling of a parabolic trough solar receiver implemented in Engineering Solver Equation. Technical report. Colorado: National Renewable Energy Laboratory.
- Gebhart, B., Y. Jaluria, R. L. Mahajan, and B. Sammakia, Buoyancy-Induced Flows and Transport, Hemisphere Publishing, Washington, DC, 1988.
- Ghasemi S.E.,Ranjbar A.A. 2016. Thermal performance analysis of solar parabolic trough collector using nanofluid asworking fluid:a CFD modelling study,*Mol.Liguids* 222,159-166.
- GmbH PSI. 2000. Survey of Thermal Storage for Parabolic Trough Power Plants. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. NREL/SR-550- 27925.
- Gnielinski, V. 1976. New equations for heat and mass transfer in turbulent pipe and International chemical engineering, 359–368.
- Grass, C., Schoelkopf, W., Staudacher, L. and Hacker, Z. 2004. Comparison of the optics of non-tracking and novel types of tracking solar thermal collectors for process heat applications up to 300°C. *Solar Energy*. 36(1-3):207-222 .
- Green, Martin A., Emery, K., Hishikawa, Y., Warta, W. and Dunlop, Ewan D. 2015. "Solar cell efficiency tables (Version 45)." *Progress in photovoltaics: research and applications* 23 (1) : 1-9.
- Halil M. G., Richard B. B. 1984. Optical And Thermal Analysis Of Parabolic Trough Solar Collectors For Technically Less Developed Countries. Technical Report. USAID Project Grant. 386-0465. Texas.

- Hassan, K., Refaie, M. F. 1973. Theoretical Performance Of Cylindricalparabolic . Solar Concentrators. Solar Energy. 15: 219- 244.
- Herrmann, U., et al. 2002. Overview on Thermal Storage Systems. Flabeg Solar International GmbH. Workshop on Thermal Storage for Trough Power Systems.
- Hession, P.J., Bonwick, W. J. 1984. Experience With a Sun Tracker System. Solar Energy. 1(32): 3-11.
- Ho CD, Chen TC. 2006. The recycle effect on the collector efficiency improvement of double-pass sheet-and-tube solar water heaters with external recycle. Renew . Energy, 31(7):953–70.
- <http://buddhajeans.com/encyclopedia/solar-constant-illustration/> Erişim Tarihi: 12.11.2019.
- <http://solarcooking.org/saussure.htm> Erişim Tarihi: 10.11.2019.
- <http://www.hellenicaworld.com/Greece/Science/en/Mirrors.html> Erişim Tarihi: 14.11.2019.
- http://www.nrel.gov/csp/troughnet/pdfs/kelly_two_tank_tes.pdf Erişim Tarihi: 12.11.2019.
- http://www.nrel.gov/learning/re_csp.html Erişim Tarihi: 10.11.2019.
- http://www.processregister.com/Heat_Transfer_Fluids/Suppliers/pid1467.htm Erişim Tarihi: 08.11.2019.
- <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx> Erişim Tarihi: 19.11.2019.
- http://www1.eere.energy.gov/solar/linear_concentrators.html. Erişim Tarihi: 10.11.2019.
- <https://imprint-india.org/hybrid-latent-and-sensible-heat-thermal-storage-system-for-medium-and-high-temperature-csp-applications> Erişim Tarihi: 14.11.2019.
- <https://nexten.com.tr/tr/gunes-enerjisi-tarihi/> Erişim Tarihi: 18.11.2019.
- <https://solarsystem.nasa.gov/solar-system/sun/by-the-numbers/> Erişim Tarihi: 09.11.2019.
- https://tr.qwertyu.wiki/wiki/Concentrated_Solar_Power Erişim Tarihi: 15.11.2019.
- https://tr.qwertyu.wiki/wiki/Timeline_of_solar_cells Erişim Tarihi: 15.10.2019.
- <https://www.britannica.com/biography/John-Herschel> Erişim Tarihi: 15.11.2019.
- <https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/7> Erişim Tarihi: 25.11.2019.
- <https://www.itacanet.org/the-sun-as-a-source-of-energy/part-1-solar-astronomy/> Erişim Tarihi: 22.11.2019.
- https://www.mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon_bolgeler.aspx Erişim Tarihi: 17.11.2019.

- https://www.mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon_iller.aspx Erişim Tarihi: 17.11.2019.
- https://www.mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon_mevsimler.aspx Erişim Tarihi: 17.11.2019.
- https://www.mtholyoke.edu/_wang30y/csp/thermal%20storage.html Erişim Tarihi: 12.11.2019.
- <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/parabolic-trough-collector> Erişim Tarihi: 12.11.2019.
- <https://www.solarsystemzone.com/2019/03/solar-system-facts-solar-radiation.html> Erişim Tarihi: 15.11.2019.
- <https://www.termodinamik.info/arastirma/gunes-isil-gucunun-temelleri-gunesten-gelen-guc> Erişim Tarihi: 16.11.2019.
- <https://www.universetoday.com/94252/characteristics-of-the-sun/> Erişim Tarihi: 13.11.2019.
- <https://www.vivintsolar.com/blog/history-of-solar-energy> Erişim Tarihi: 10.11.2019.
- IEA, 2018. Dünya Enerji Tüketim Raporu.
- IEA, 2018. <https://www.iea.org/statistics/balances/2018> Erişim Tarihi: 09.10.2019.
- IEA, 2019. Enerji Raporu.
- IEA, 2019. <https://www.iea.org/renewables> Erişim Tarihi: 13.10.2019.
- IEA, 2019. <https://www.iea.org/statistics/> Erişim Tarihi: 24.10.2019.
- IEA, 2019. <https://www.iea.org/statistics/balances> Erişim Tarihi: 14.10.2019.
- IEA, 2019. <https://www.iea.org/tcep/power/renewables/concentrationsolarpower/>
- Incropera, F. et al. 2007. Fundamentals of heat and mass transfer. 6th. New York: John Wiley .and Sons,.
- Jegadheeswaran S, Pohekar SD. 2009. Performance Enhancement in Latent Heat Thermal Storage System: a Review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. (9):2225e44.
- Jeter, M. Sh.1983. Geometrical Effects On The Performance Of Through Collectors. Solar Energy. 2(30): 109-113.
- Kalogirou, S., 2004a. Solar Thermal Collectors and Applications. Prog. Energy Combust. Sci. 3: 231–295.
- Kalogirou, S., 2009b. Solar energy engineering: processes and systems. Academic Press.
- Kalogirou, S., 2009c. Solar energy engineering: Processes and Systems. 1st. USA: Elsevier .

- Karaduman, A. 1989. Parabolik Güneş Kollektörü Sisteminin Tasarımı ve Yapımı ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Kearney D, Kroizer I, Miller CE, Steele D. 1986. Design and preliminary performance. of solar electric generating Station I at Daggett, California. Montreal, Que, Can. 1424e28.
- Koç, E., & Şenel , M., 2013. Dünyada ve Türkiye'de Enerji Durumu. Mühendis ve Makina, Cilt 54, 532-44.
- Kothdiwala A.F., EAMES P.C., NORTON B. 1996. Experimental Analysis and Performance of an Asymmetric Inverted Absorber Compound Parabolic Concentrating Solar Collector at Various Absorber Gap Configurations. Ireland: 235-238.
- KPMG, 2019. Enerji Sektörel Bakış Raporu.
- Krüger, D., Walder, M.; Saidi, K.; Anthrakidis, A.; Rusack, M.; Weis, F.; Schenk, H.; . Dersch, J.; Fischer, S.; Hennecke, K.. 2011. P3 - Pilotanlage zur solaren Prozessdampferzeugung mit Parabolrinnenkollektoren zur Prozesswärmeerzeugung. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (Editor), Cologne, Germany, 121 pages.
- Kupta KC, Mirakhur PK, Sathe AP. 1978. A simple solar tracking system. SUN, Proceedings . of the International Solar Energy Society, New Delhi, India: Pergamon Press;
- Laing D, Bahl C, Bauer T, Fiss M, Breidenbach N, Hempel M. 2012d. High-Temperature Solid-Media Thermal Energy Storage for Solar Thermal Power . Plants. Proceedings of the IEEE. PP(99): 1e9.
- Laing D, Bahl C, Bauer T, Lehmann D, Steinmann WD. 2011c. Thermal Energy Storage for Direct Steam Generation. Solar Energy. 85. 627e33.
- Laing D, Lehmann D, FiB M, Bahl C. 2009b. Test Results of Concrete Thermal Energy Storage for Parabolic Trough Power Plants. Journal of Solar Energy Engineering 131:0410071e6.
- Laing D, Steinmann WD, Tamme R, Richter C. 2006a. Solid Media Thermal Storage for Parabolic Trough Power Plants. Solar Energy. 80(10):1283e9.
- Leemrani, Z., Marrakchi, S., Asselman, H., Asselman, A. 2018. The Study of the Performance of a Parabolic Trough Collector in the Region of North-West of Morocco. Procedia Manuf. 22: 780–787.
- Livatyalı, H., Yıldırım, T. 2011. Makine Mühendisleri Odası Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi Teknolojisindeki Gelişmeler. Mühendis ve Makine Dergisi, 63, 633.
- Lovegrove, K. 2012. Introduction to concentrating solar power (CSP) technology. In Concentrating Solar Power Technology, 3-15.

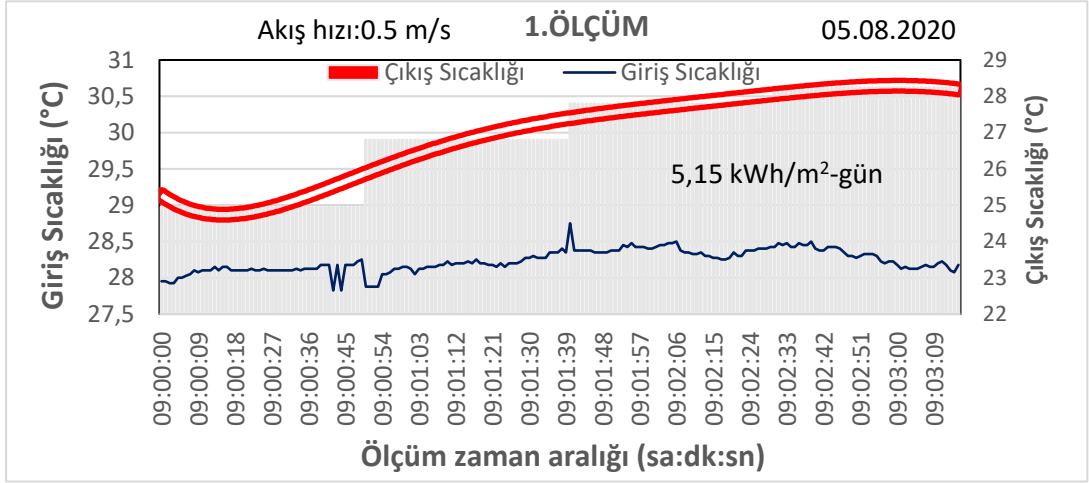
- Lüpfert, E., Schirricke, B. 2009. QUARZ Zentrum –Übersicht der entwickelten Prüfmethoden im DLR-Test- und Qualifizierungszentrum für konzentrierende Solartechnik,
DLR.[http://www.dlr.de/sf/Portaldata/73/Resources/dokumente/Soko/soko2009/Praesentationen/6 Luepfert_Soko090609c.pdf](http://www.dlr.de/sf/Portaldata/73/Resources/dokumente/Soko/soko2009/Praesentationen/6_Luepfert_Soko090609c.pdf).
- McAdams WH.Heat transmission.3rd.Newyork:McGraw-Hill,1954.
- Muthusivagami RM, Velraj R, Sethumadhavan R. 2010. Solar Cookers With and Without Thermal Storage—a Review. *Renew Sustain Energy Rev.* 14(2): 691–701.
- Nasa, 2019. <https://earthobservatory.nasa.gov/> Erişim Tarihi: 26.10.2019.
- Nuwayhid RY, Mrad I, Abu-Said R. The realisation of a simple solar tracking concentrator for university research applications. *Renewable Energy* 2001;24:207–22.
- Pacheco JE, Showalter S, Kolb W. 2002a. Development of a Molten Salt Thermocline Thermal Storage System for Parabolic Trough Plants. *Journal of Solar Energy*
- Pacheco JE. 2002b. Final Test and Evaluation Results From the Solar Two Project. Parabolic Trough Reflector for Solar Thermal System. Available online: <http://www.alternative-energytutorials.com/solar-hot-water/parabolic-trough-reflector.html> (accessed on 29 December 2018).
- Petukhov, B. S., in T. F. Irvine and J. P. Hartnett, Eds. 1970. *Advances in Heat Transfer*, Vol. 6, Academic Press, New York.
- Prapas, D.E., Norton, B., Probert, S.D. 1987. Optics of Parabolic Trough Solar Energy Colectors, Possessing Small Concentration Ratio. *Solar Energy.* 39: 541-550.
- Pytlinski, J. T. 1978. Solar Energy Installations For Pumping Irrigation Water. *Sol Energy.* 21: 255-258.
- Qu, M., Archer, D.H., Yin, H. A. 2007. Linear Parabolic Trough Solar Collector Performance Model. In *Proceedings of the ASME 2007 Energy Sustainability Conference*. Long Beach. CA. USA. American Society of Mechanical Engineers: New York. NY. USA.
- Qu.M., Archer D.H., Masson S.V. 2006. A Linear Parabolic Trough Solar Collector Performance Model. *Renewable Energy Resources and a Greener Future*. VIII-3-3. USA.
- R.D.Blevins,Fluid Dynamics Handbook,Van Nostrand Reindhold. 1984. Co.,Inc.,New York.
- Rabl, A. 1976. *Solar Energy. Optical and Thermal Properties of Compound Parabolic Concentrators*.
- Ratazel, A, C Hickox and D Gartling. 1979. Techniques for reducing thermal conduction and natural convection heat losses in annular receiver geometries. *Journal of Heat Transfer* 101: 108-113.

- Rathakrishnan, Ethirajan. 2012. Elements of heat transfer. USA: Taylor & Francis Group.
- Rathore, M.M. and Jr. Raul R.A. Kapuno. 2011. Engineering Heat Transfer. USA: Jones & Bartlett Learning, LLC.
- Rincon, E. A., Osorio, F. A. 2002. A new troughlike nonimaging solar collector, Journal of Solar Energy Engineering, 124: 51-54.
- Roberts, J. M. 1996. Avrupa Tarihi, İnkılap Kitabevi, 74-80.
- Rodríguez-Sánchez, M. R., Venegas-Bernal, M., Marugán-Cruz, C. and Santana, D. 2013. Thermal, mechanical and hydrodynamic analysis to optimize the design of molten salt central receivers of solar tower power plants., in 'International Conference on Renewable Energies and Power Quality', number 11, Bilbao.
- Schwarzboźl P, Pitz-Paal R, Meinecke W, Buck R. 2000. Cost optimized solar gas turbine cycles using volumetric air receiver technology. Proceedings of the Renewable Energy for the New Millennium, Sydney, Australia, p. 171–7.
- Schweiger, H., Mendes, J., Schwenk, C., Hennecke, K., Barquero, C., Sarvisé, A., Carvalho, D. 2001. POSHIP - The Potential of Solar Heat for Industrial Processes, Final Report.
http://www.solarpaces.org/Library/docs/POSHIP_Final_Report.pdf.
- Sharma, K.; Kundan, L. 2014. Nanofluid Based Concentrating Parabolic Solar Collector (NBCPSC): A New Alternative. Int. J. Res. Mech. Eng. Technol. 2: 2249–5762.
- Singh B.S.M., Sulaiman M. 2003. Examination of Designing a Solar Thermal Cylindrical Parabolic Trough Concentrator by Simulation. International Rio3 . Congress. World Climate and Energy Event. Rio de Janeiro. Malaysia: 1-6.
- Steinmann WD, Eck M. 2006. Buffer Storage for Direct Steam Generation. Solar Energy .80:1277e82.
- Teiaş. 2018. Türkiye Enerji Raporu.
- Türkeş, M. 2010. Klimatoloji ve Meteoroloji . İstanbul: Kriter Yayınevi, 650-22.
- U.S. Department of Energy. http://www1.eere.energy.gov/solar/linear_concentrators.
Erişim Tarihi: 12.11.2019.
- V. Khullar, H. Tyagi, P. E. Phelan, T. P. Otanicar, H. Singh, R. A. Taylor. 2012. Solar energy harvesting using nanofluids-based concentrating solar collector, J. Nanotechnology Eng Med, vol. 3, pp. 031003.
- Valan A., A., Sornakumar, T. 2007. Design. Manufacture and Testing of Fiberglass Reinforced Parabolic Trough For Parabolic Trough Solar Collectors, Solar Energy. 81: 1273-1279.
- Valentina A. S., Carmelo E. M., Giuseppe M. G., Miliozzi A. and Nicolini D. 2010. New Trends in Designing Parabolic Trough Solar Concentrators and Heat Storage Concrete Systems in Solar Power Plants. Croatia. Italy.

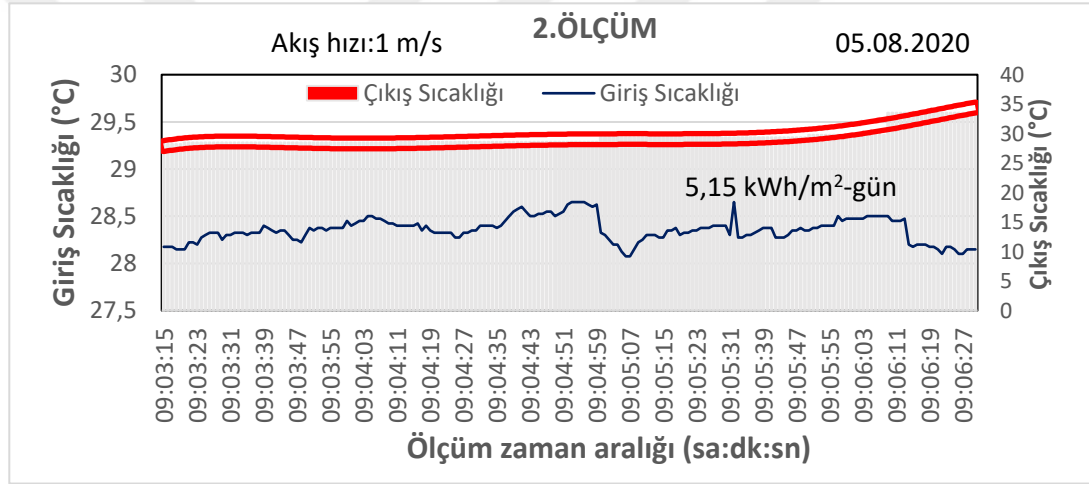
- Van Lew JT, Li P, Chan CL, Karaki W, Stephens J. 2011. Analysis of Heat Storage and Delivery of a Thermocline Tank Having Solid Filler Material. *Journal of Solar Energy Engineering, Transactions of the ASME*. 133(2): 021003e10.
- Winter, Francis de. 1991. *Solar collectors, Energy storage, and Materials*. USA: The MIT press.
- Yanbing K, Yinping Z, Yi J, Yingxin Z. 1999. A General Model for Analyzing the Thermal Characteristics of a Class of Latent Heat Thermal Energy Storage Systems. *Journal of Solar Energy Engineering*. 121(4):185e93.



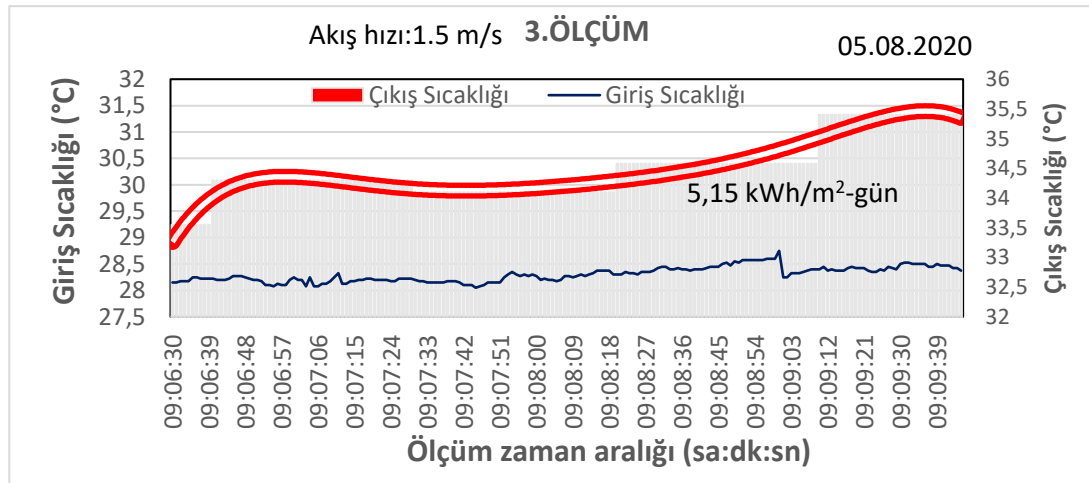




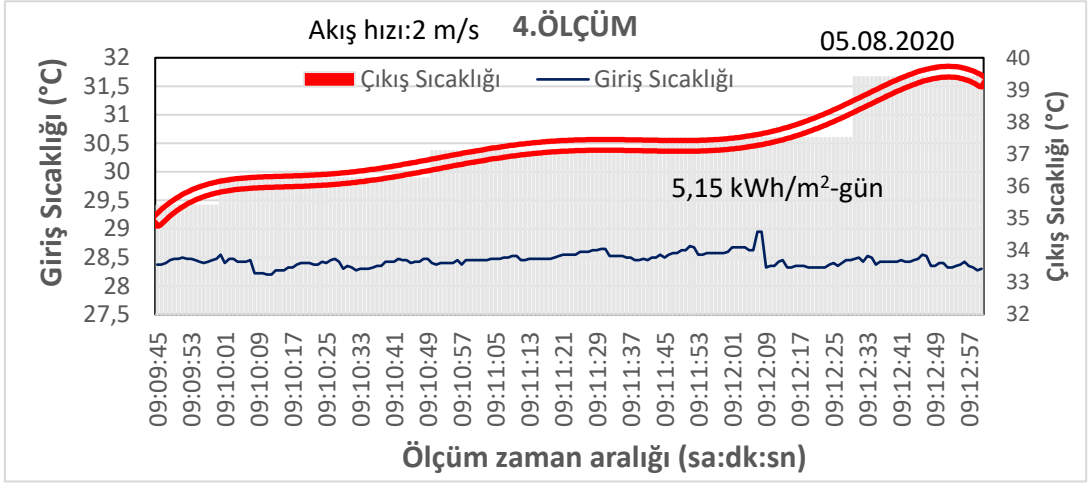
EK-1.0.5 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-05.08.2020-09:00.



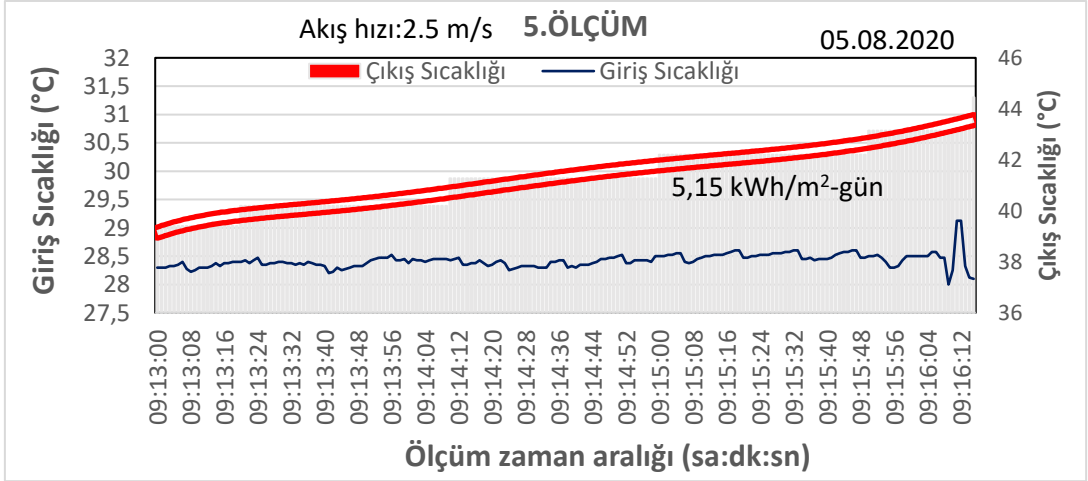
EK-2.1 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-05.08.2020-09:00.



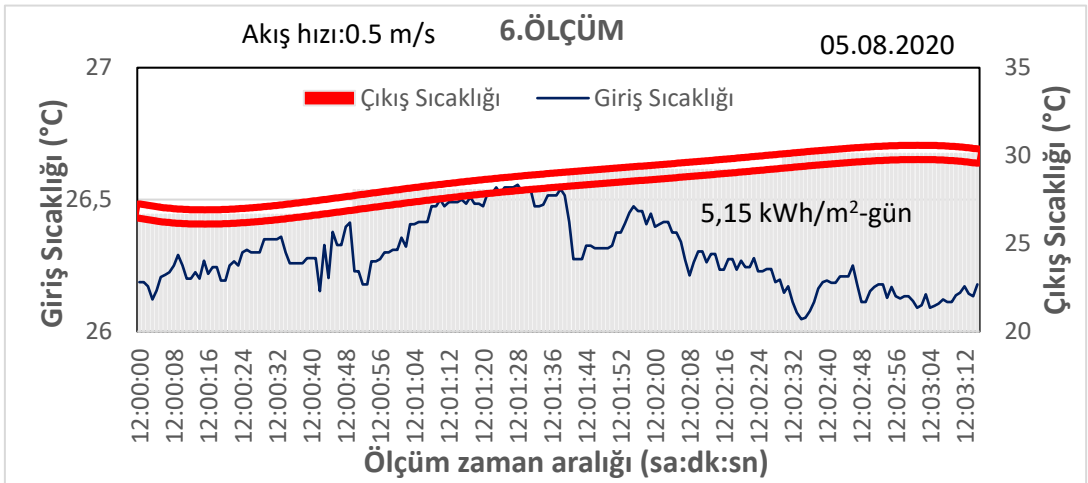
EK-3.1.5 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-05.08.2020-09:00.



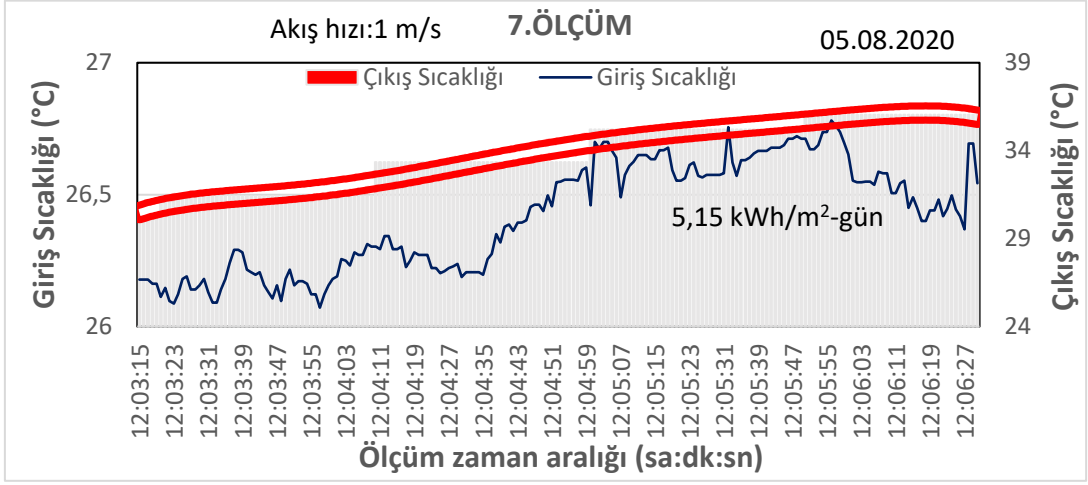
EK-4.2 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-05.08.2020-09:00.



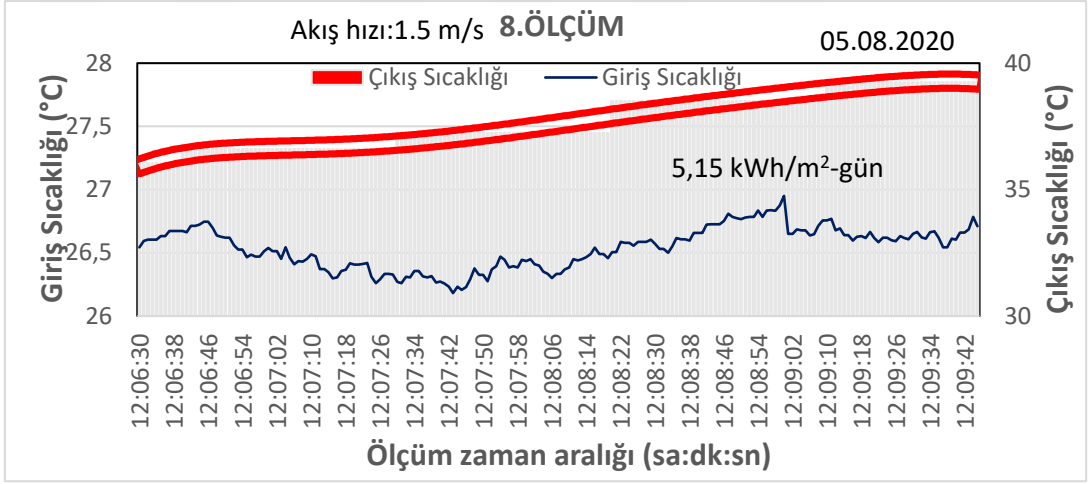
EK-5.2.5 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-05.08.2020-09:00.



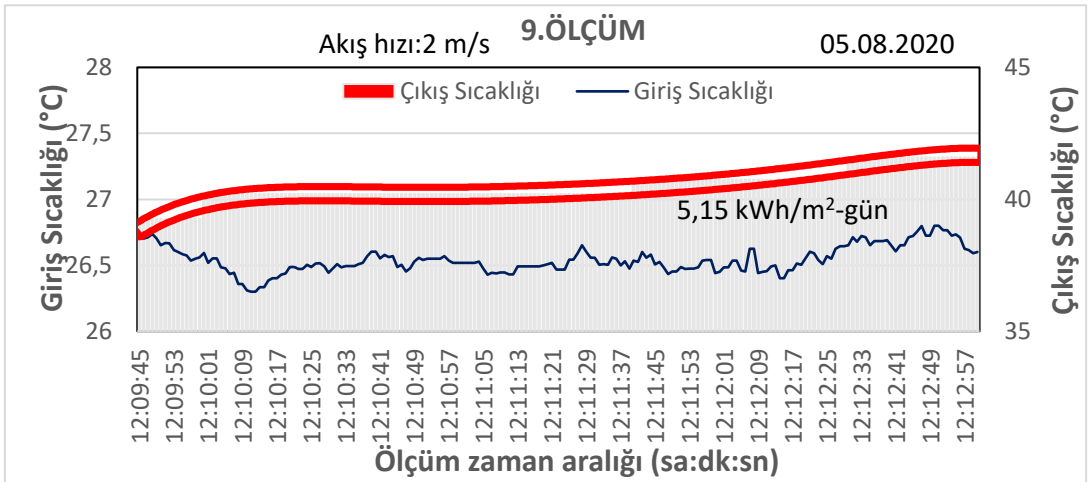
EK-6.0.5 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-05.08.2020-12:00.



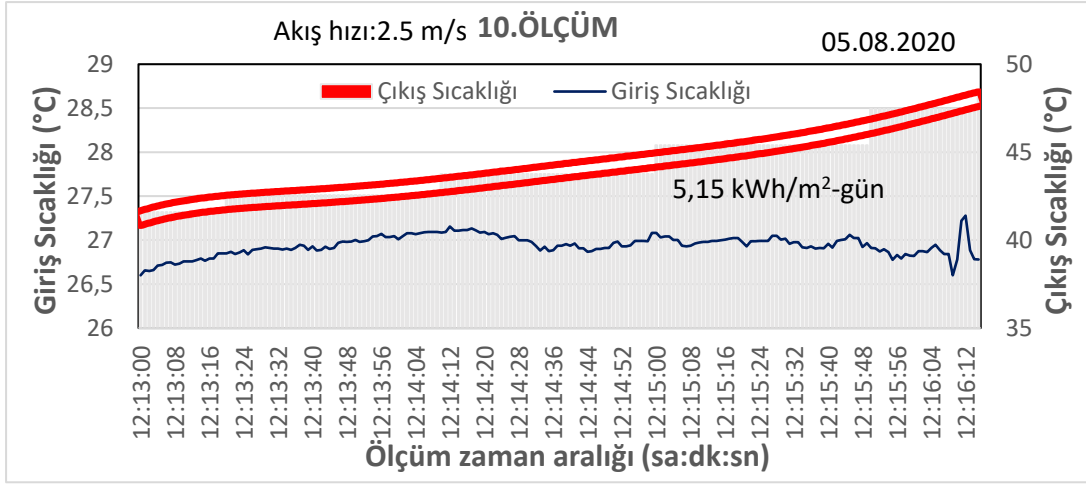
EK-7.1 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-05.08.2020-12:00.



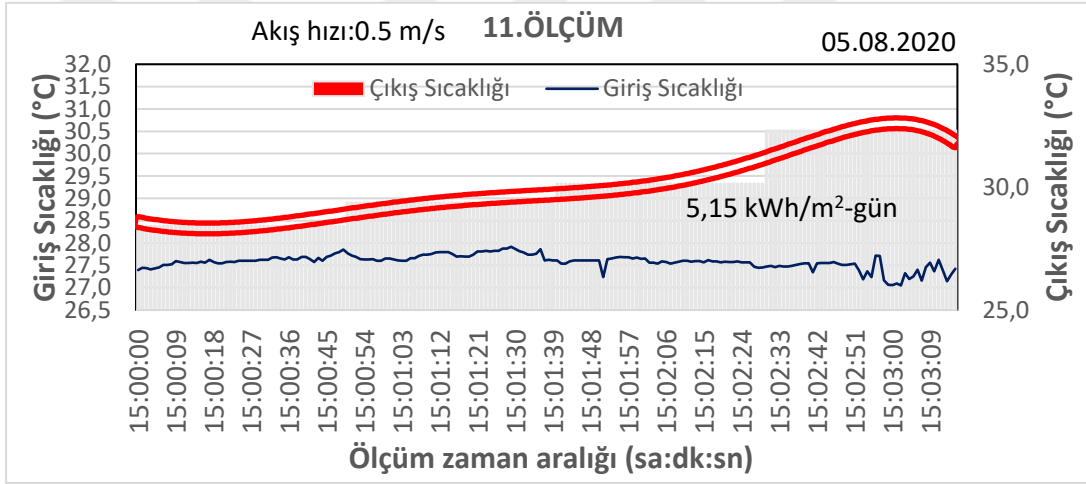
EK-8.1.5 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-05.08.2020-12:00.



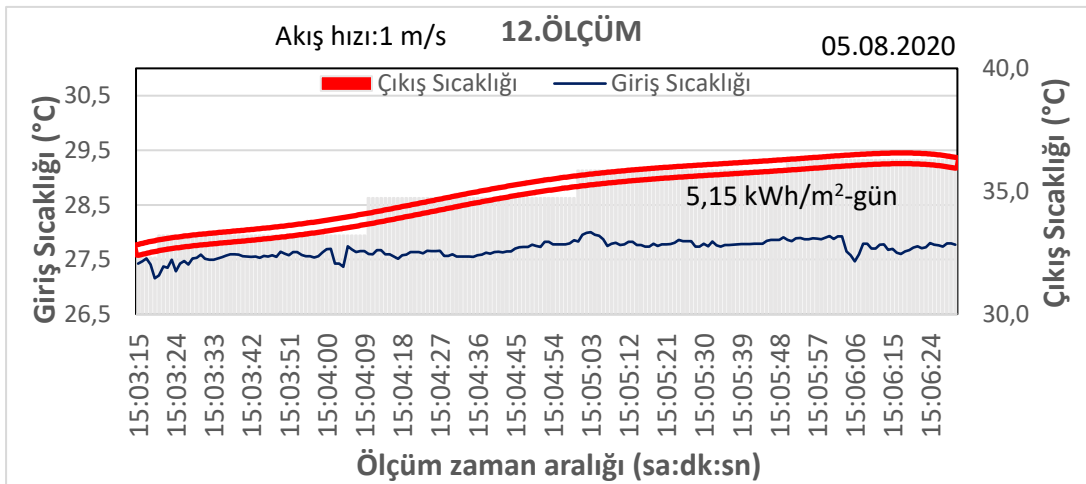
EK-9.2 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-05.08.2020-12:00.



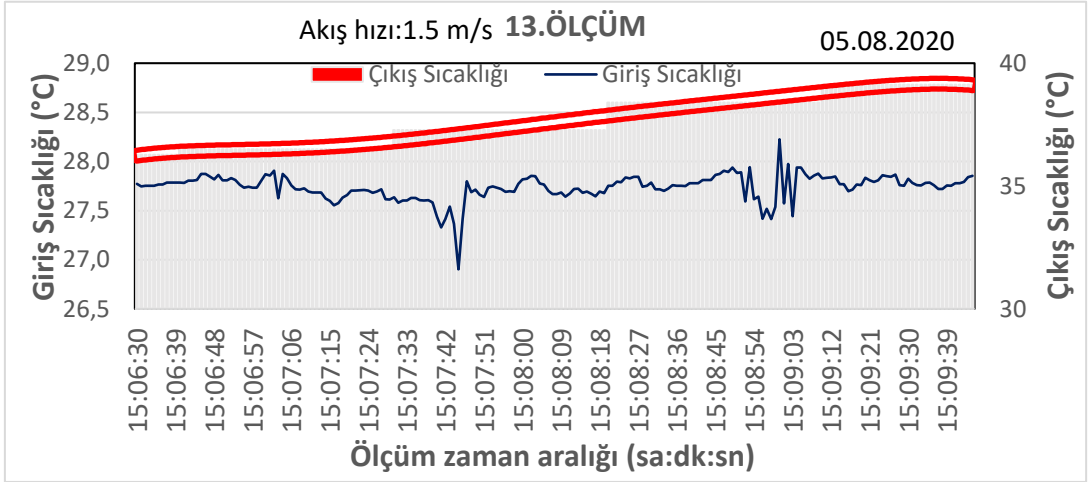
EK-10.2.5 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-05.08.2020-12:00.



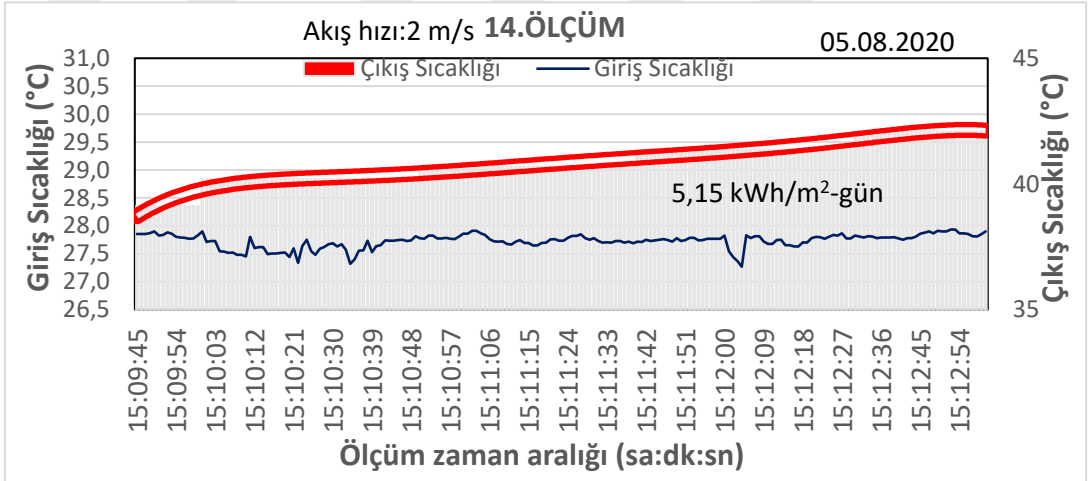
EK-11.0.5 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-05.08.2020-15:00.



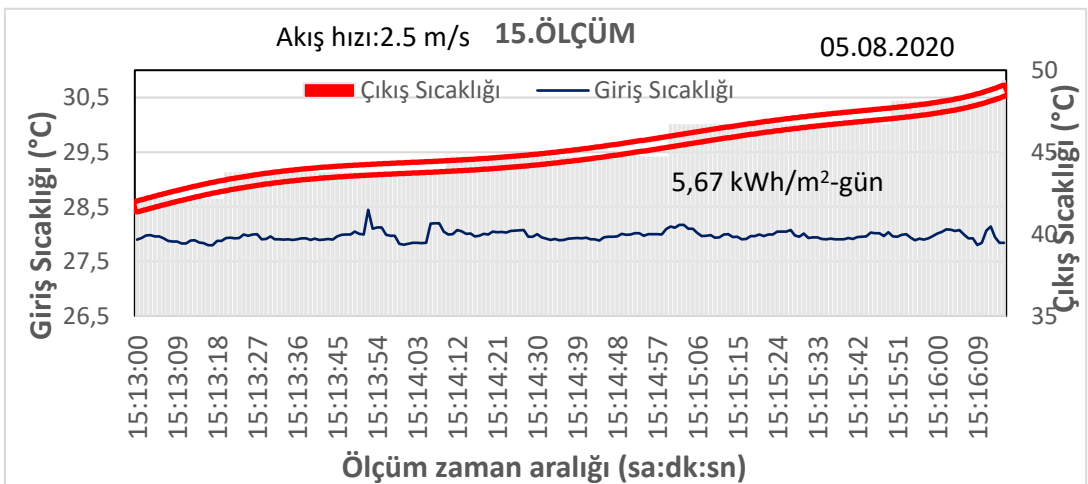
EK-12.1 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-05.08.2020-15:00.



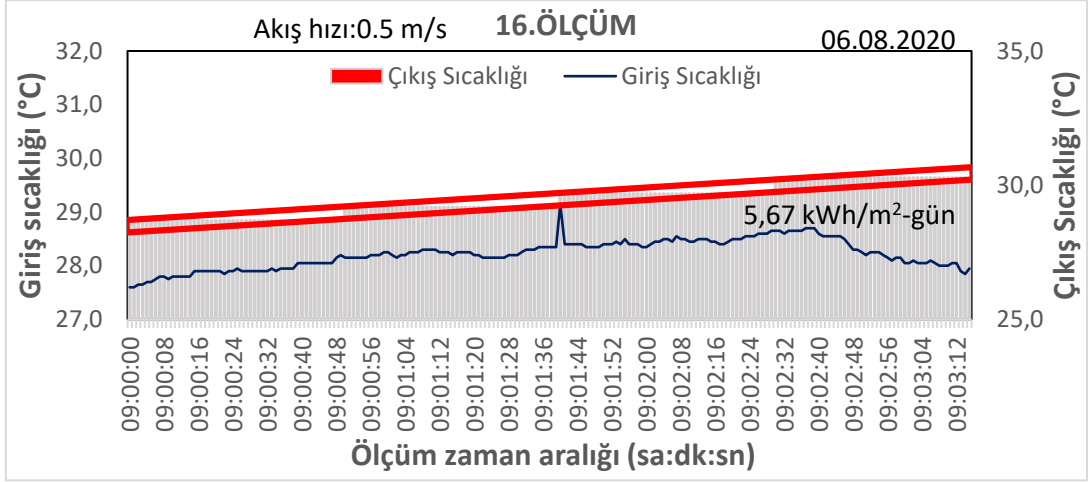
EK-13.1.5 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-05.08.2020-15:00.



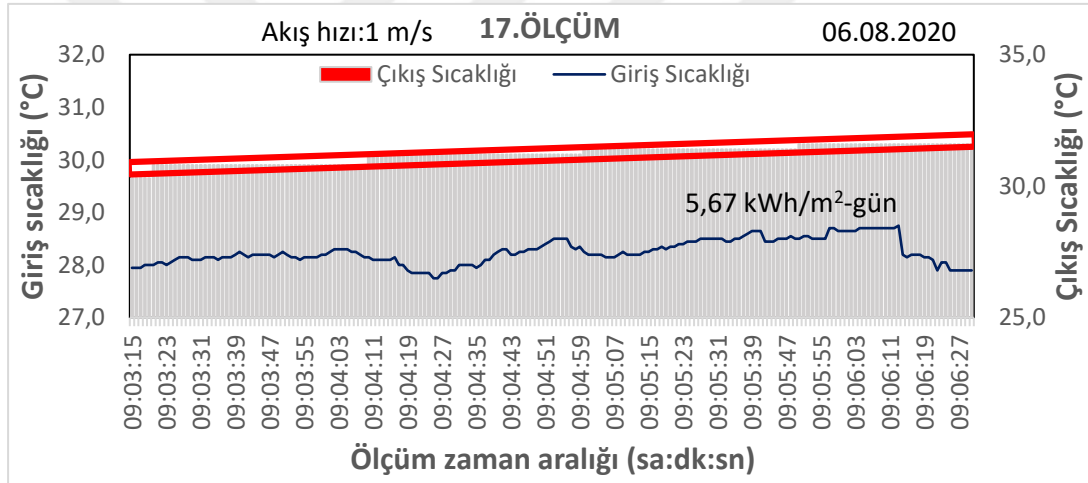
EK-14.2 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-05.08.2020-15:00.



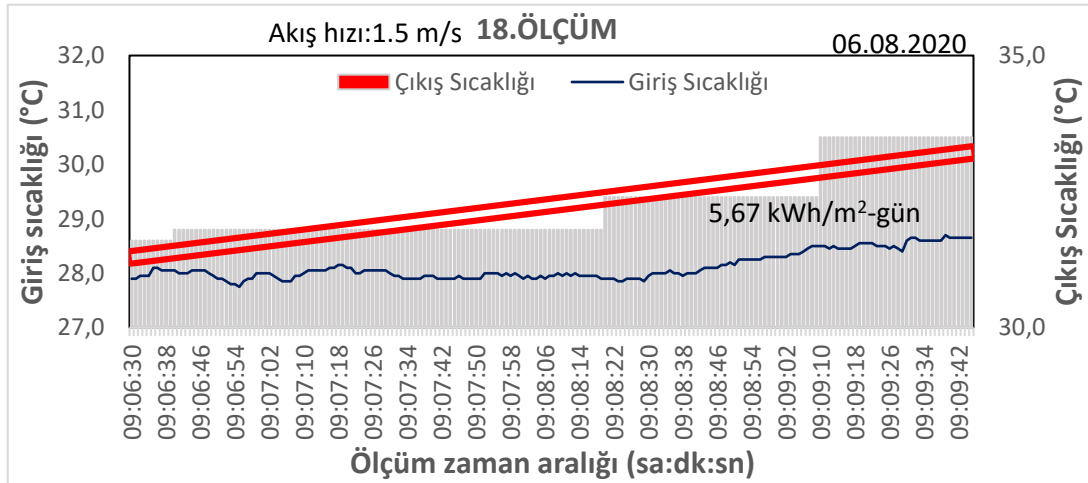
EK-15.2.5 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-05.08.2020-15:00.



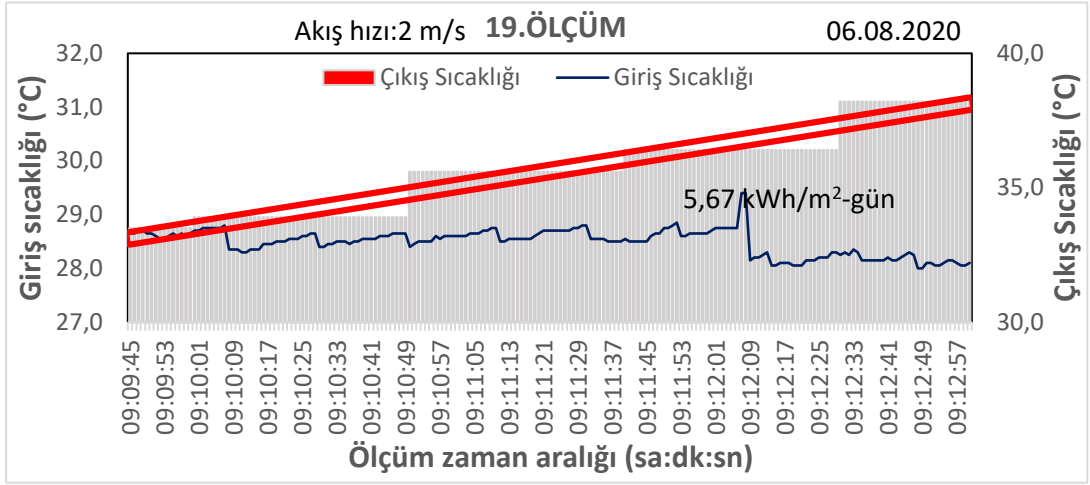
EK-16.0.5 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-06.08.2020-09:00.



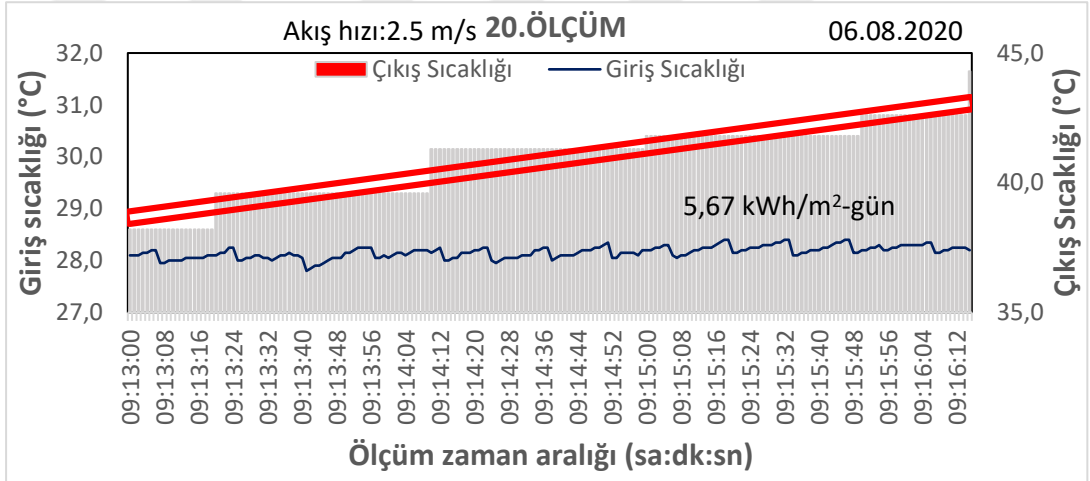
EK-17.1 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-06.08.2020-09:00.



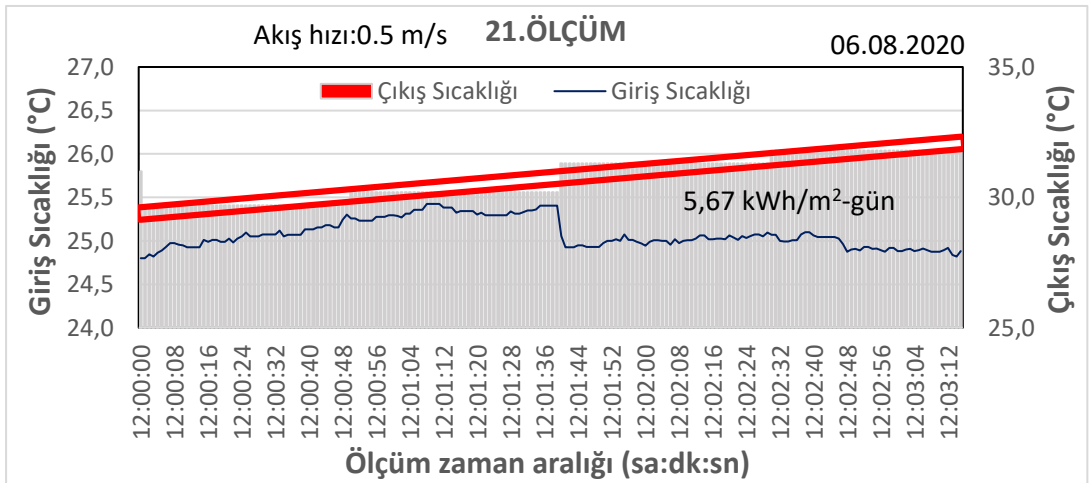
EK-18.1.5 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-06.08.2020-09:00.



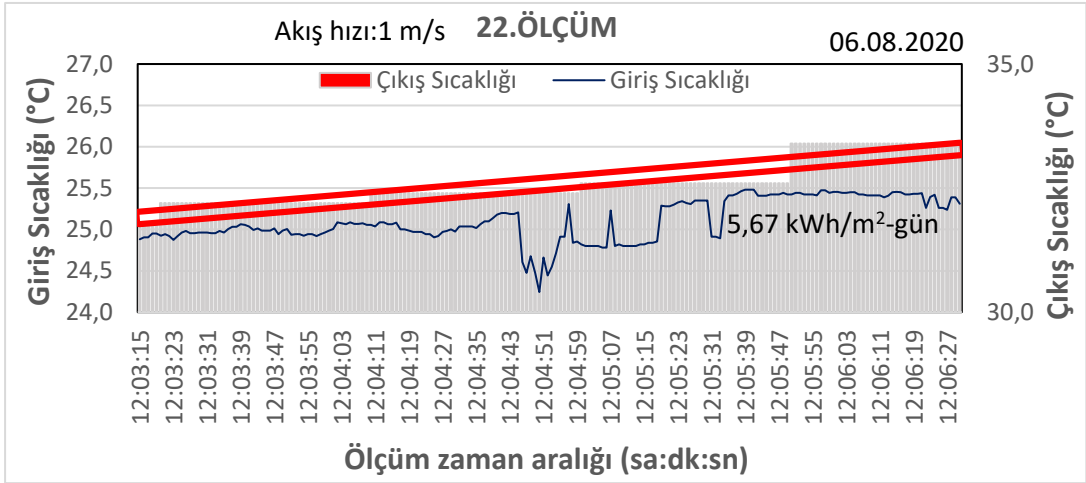
EK-19.2 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-06.08.2020-09:00.



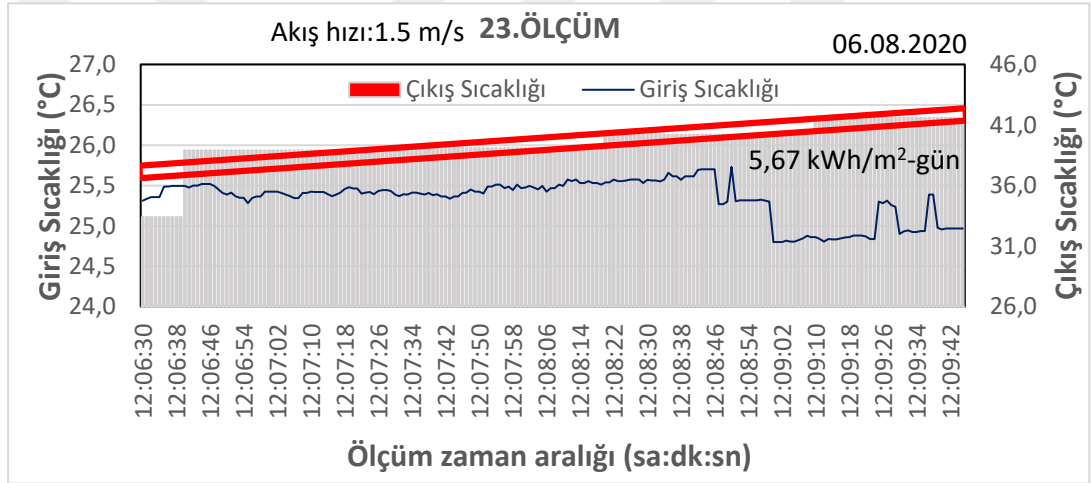
EK-20.2.5 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-06.08.2020-09:00.



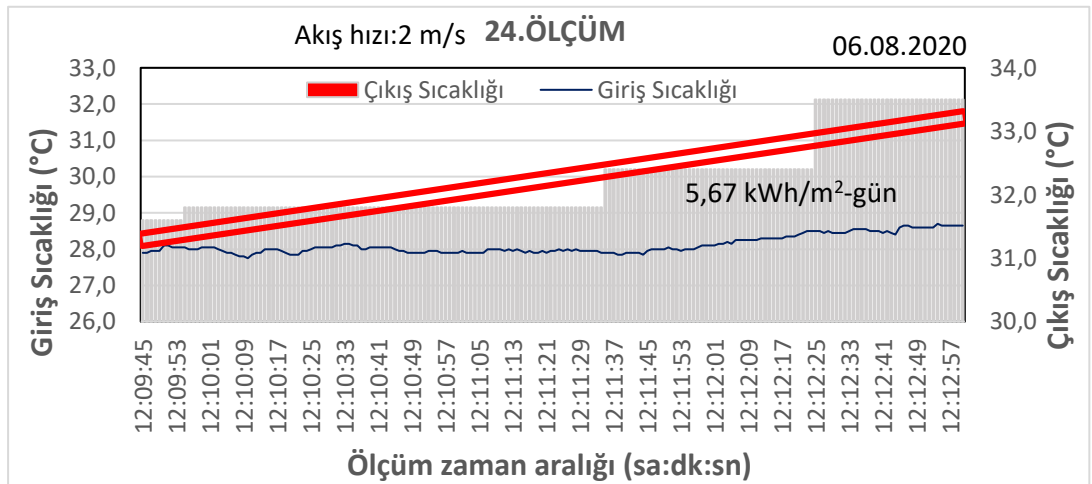
EK-21.0.5 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-06.08.2020-12:00.



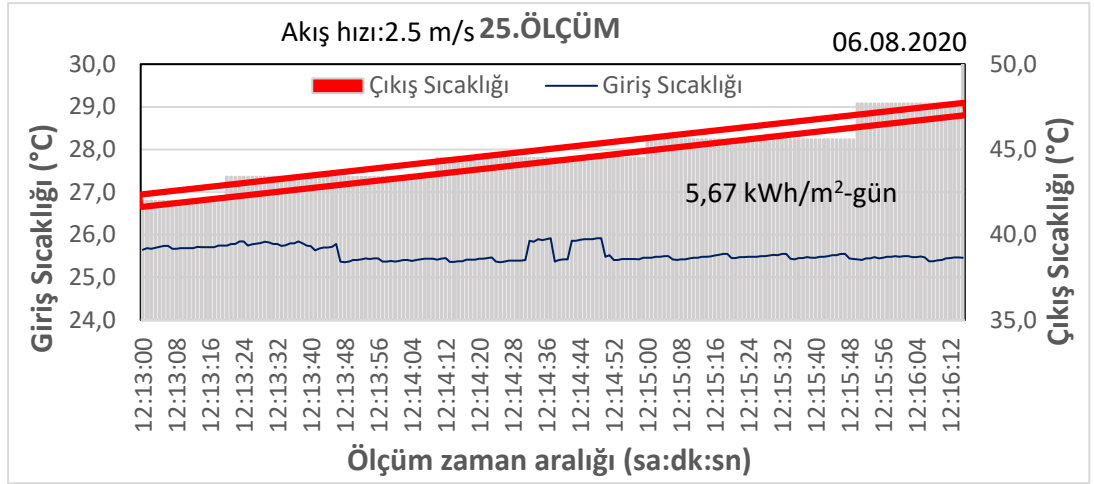
EK-22.1 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-06.08.2020-12:00.



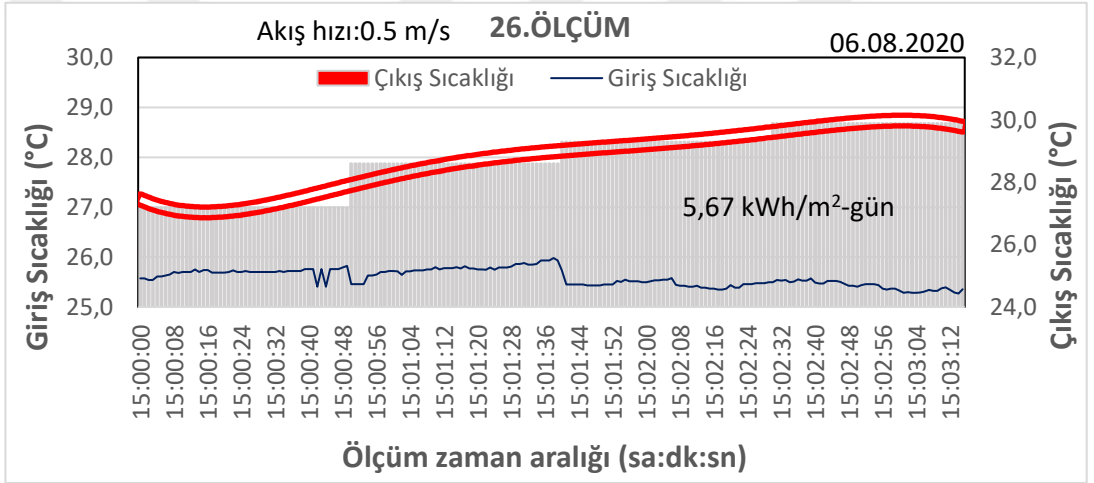
EK-23.1.5 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-06.08.2020-12:00.



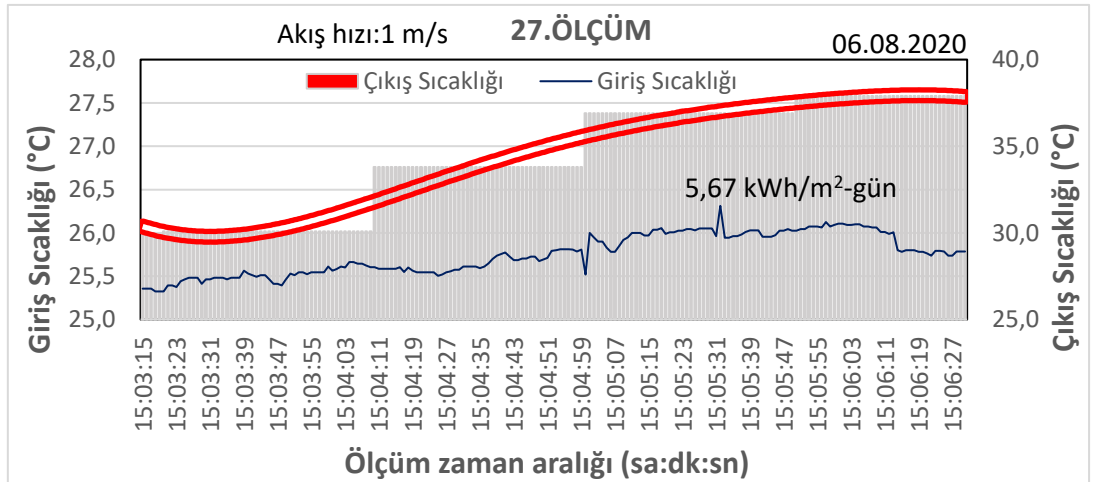
EK-24.2 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-06.08.2020-12:00.



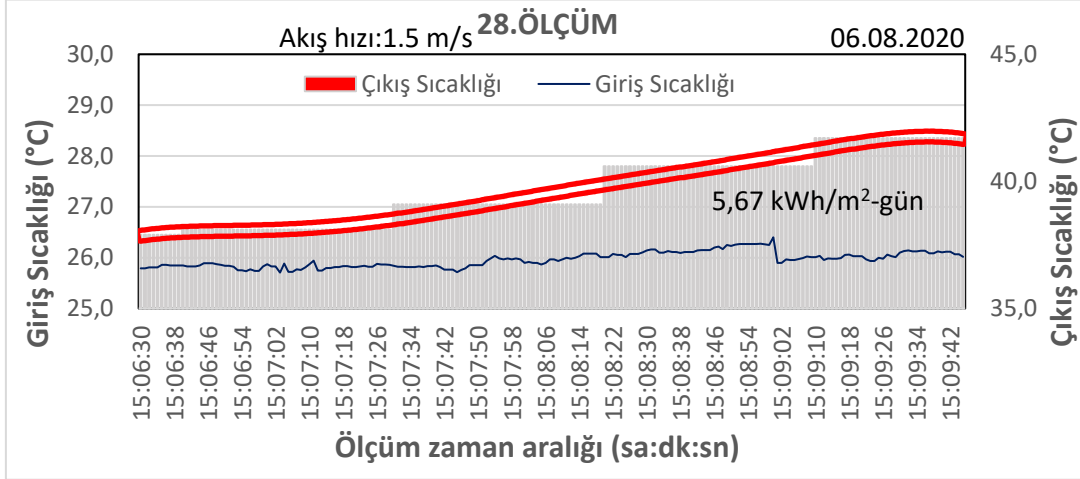
EK-25.2.5 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-06.08.2020-12:00.



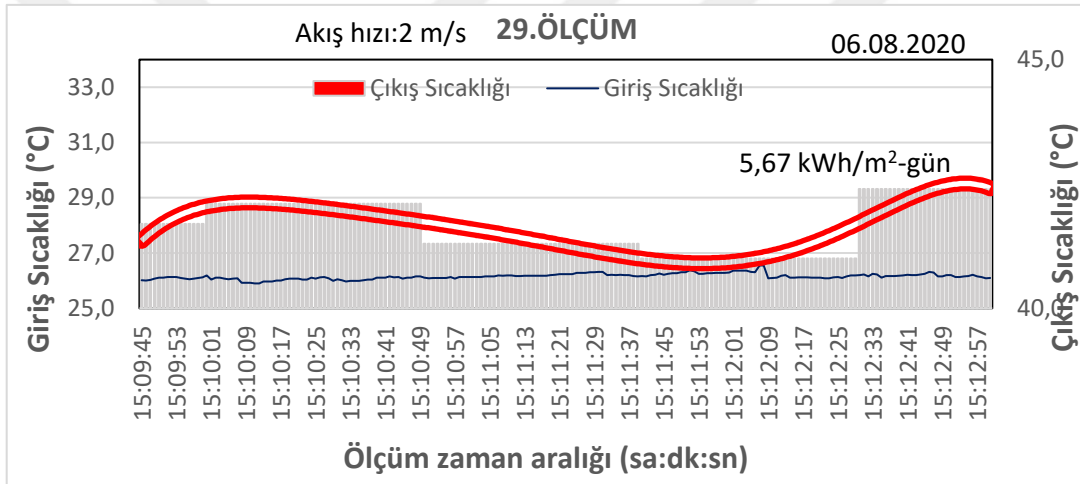
EK-26.0.5 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-06.08.2020-15:00.



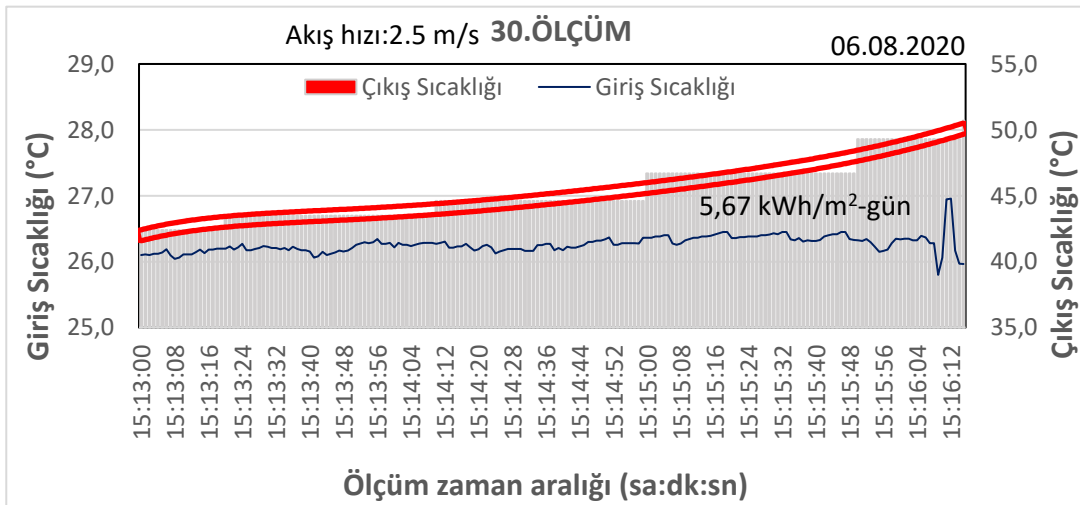
EK-27.1 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-06.08.2020-15:00.



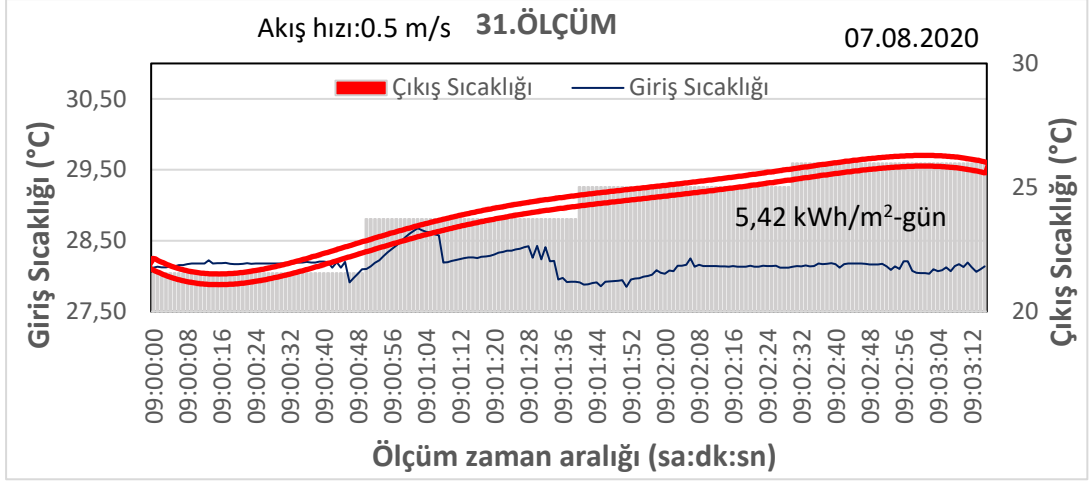
EK-28.1.5 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-06.08.2020-15:00.



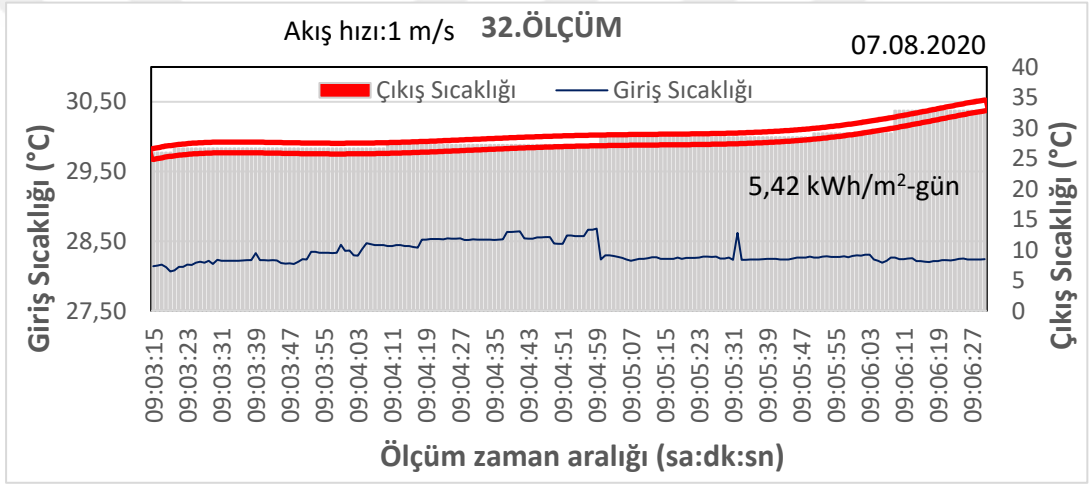
EK-29.2 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-06.08.2020-15:00.



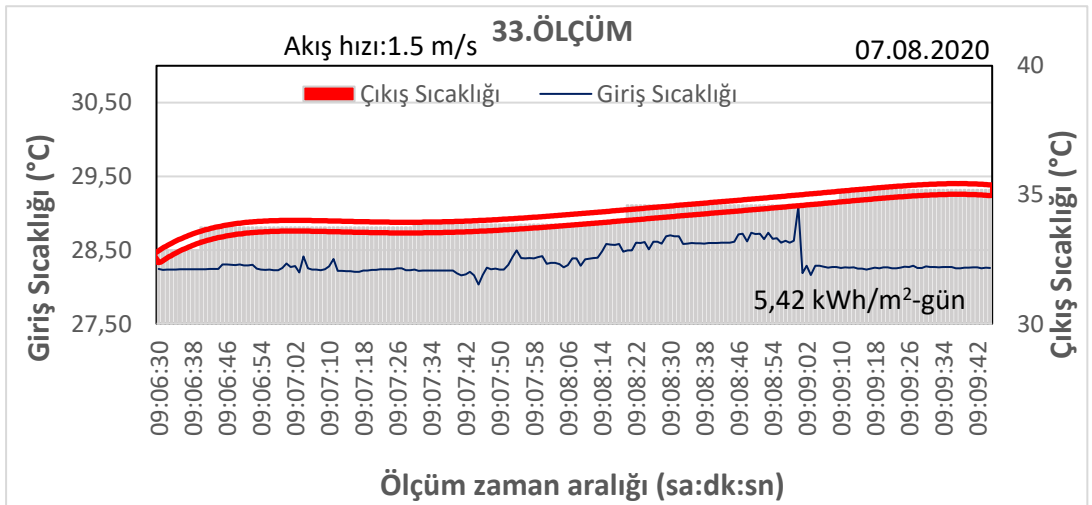
EK-30.2.5 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-06.08.2020-15:00.



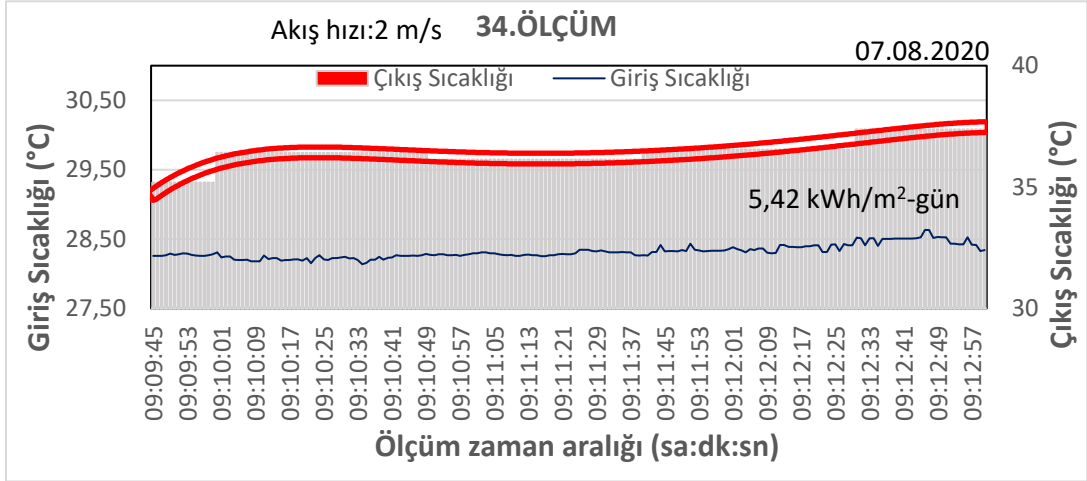
EK-31.0.5 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-07.08.2020-09:00.



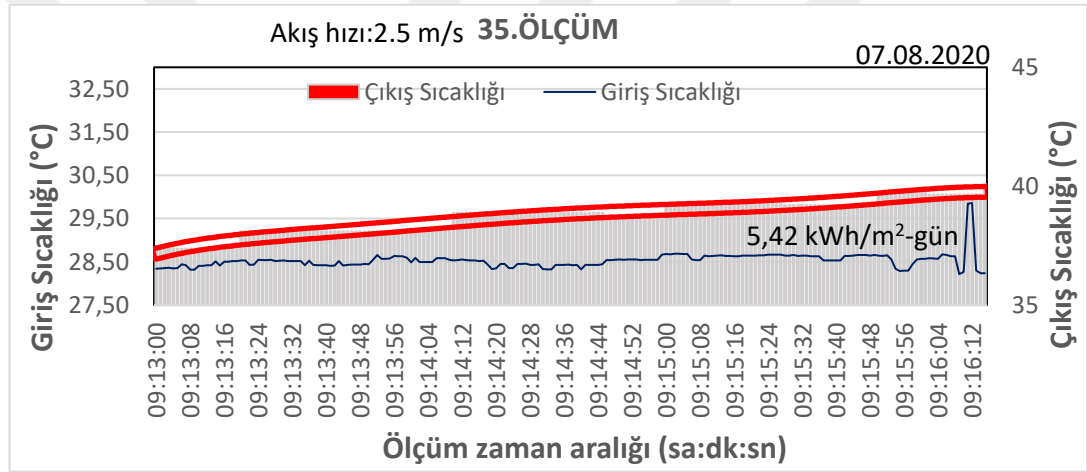
EK-32.1 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-07.08.2020-09:00.



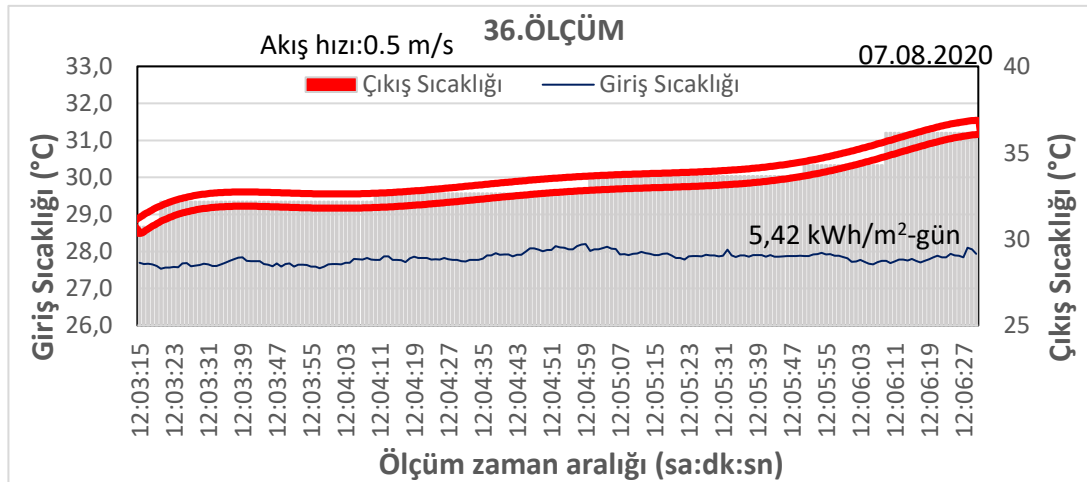
EK-33.1.5 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-07.08.2020-09:00.



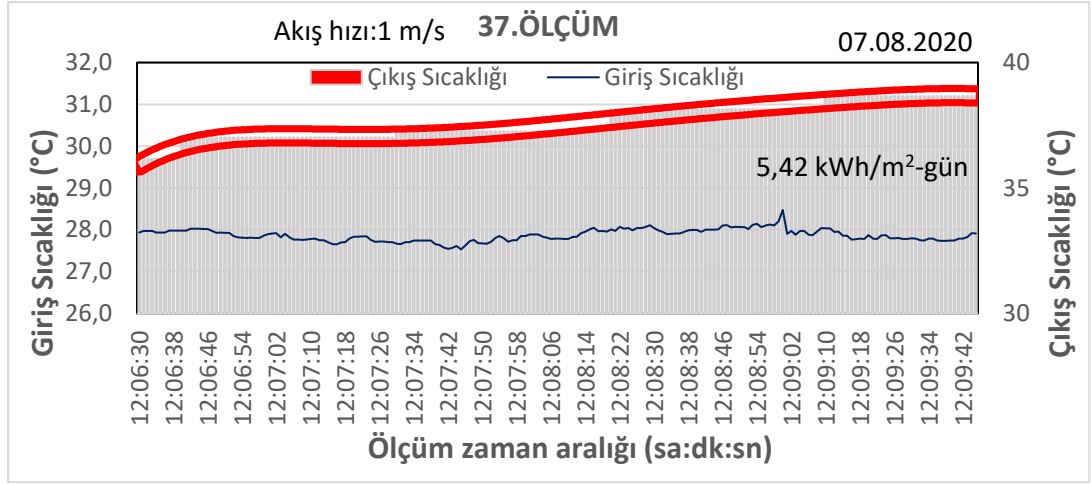
EK-34.2 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-07.08.2020-09:00.



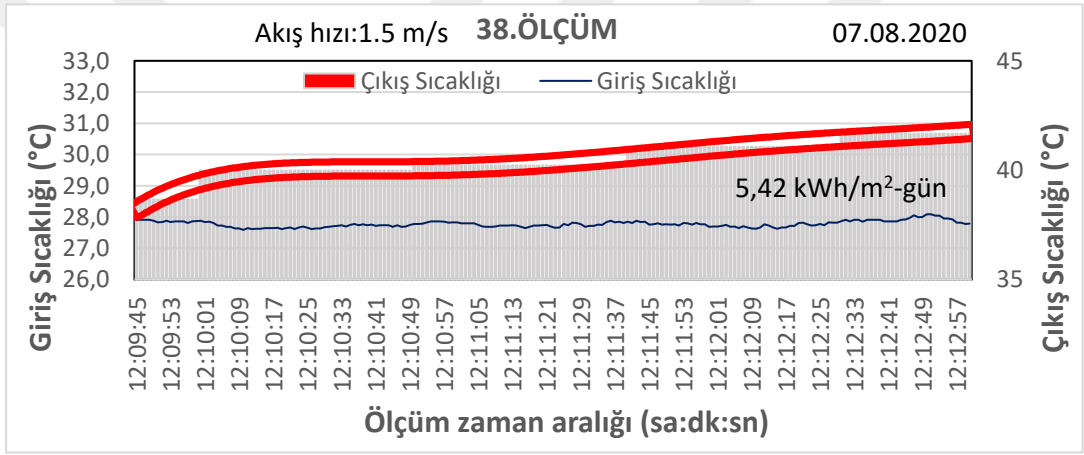
EK-35.2.5 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-07.08.2020-09:00.



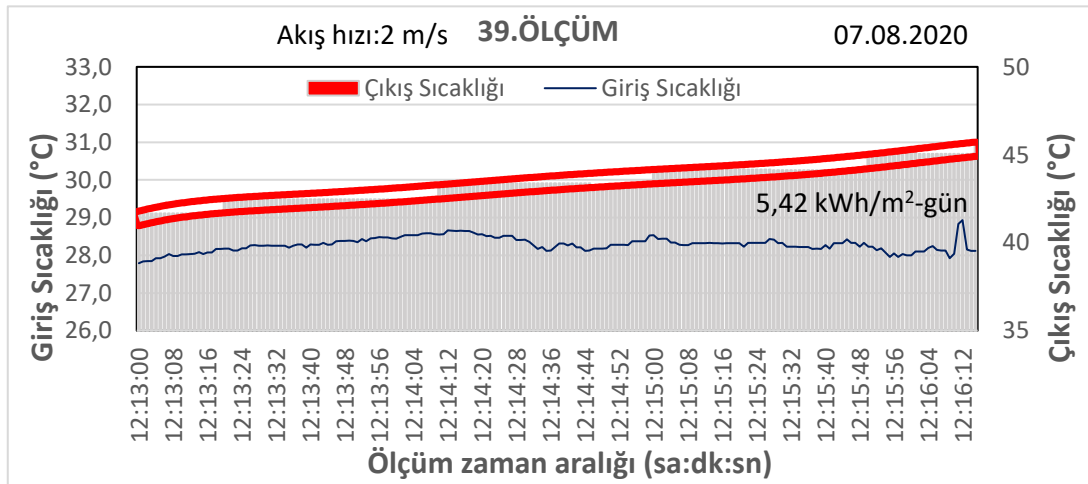
EK-36.0.5 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-07.08.2020-12:00.



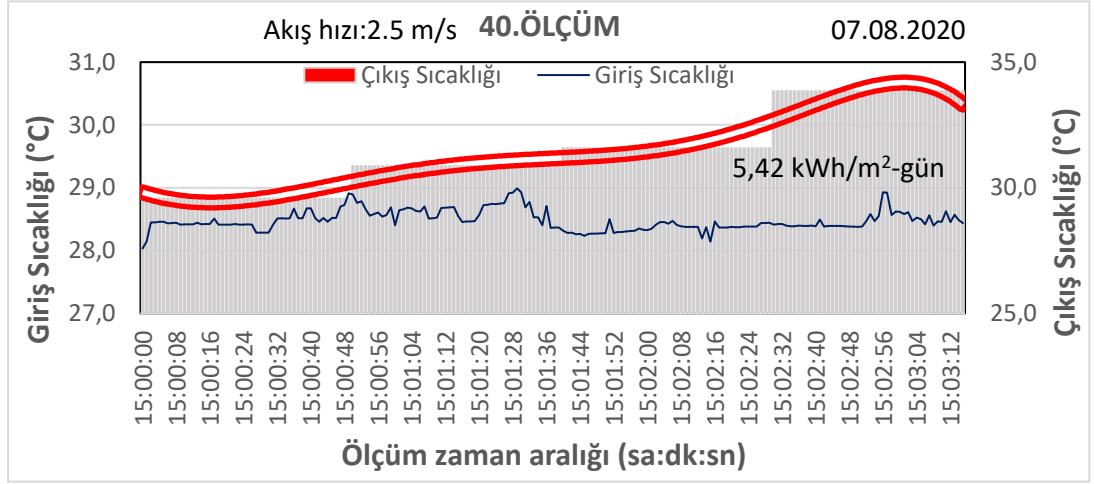
EK-37.1 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-07.08.2020-12:00.



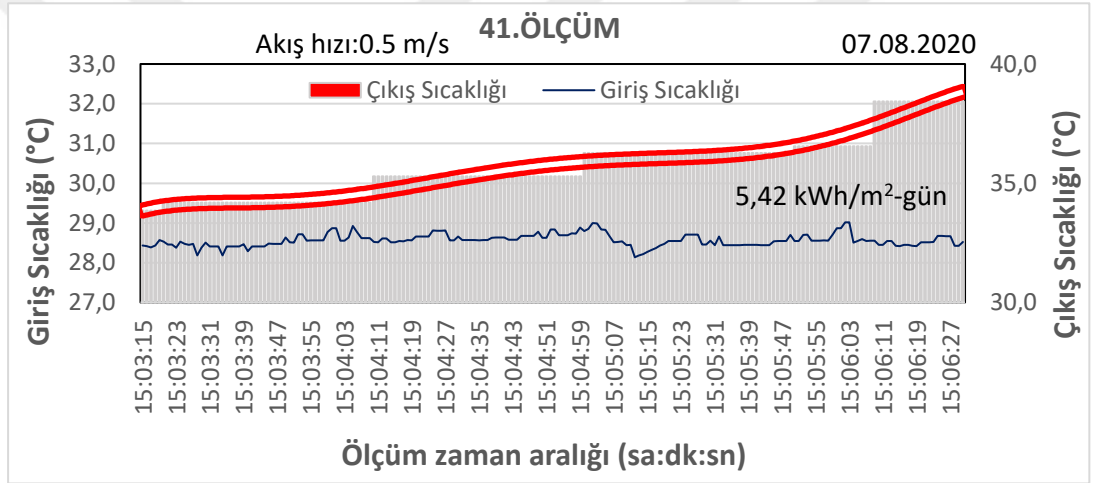
EK-38.1.5 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-07.08.2020-12:00.



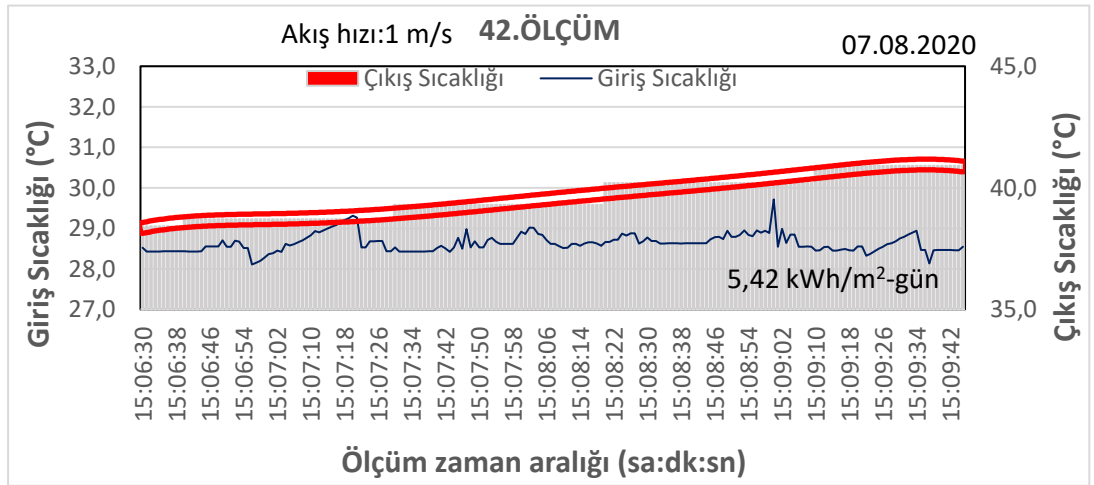
EK-39.2 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-07.08.2020-12:00.



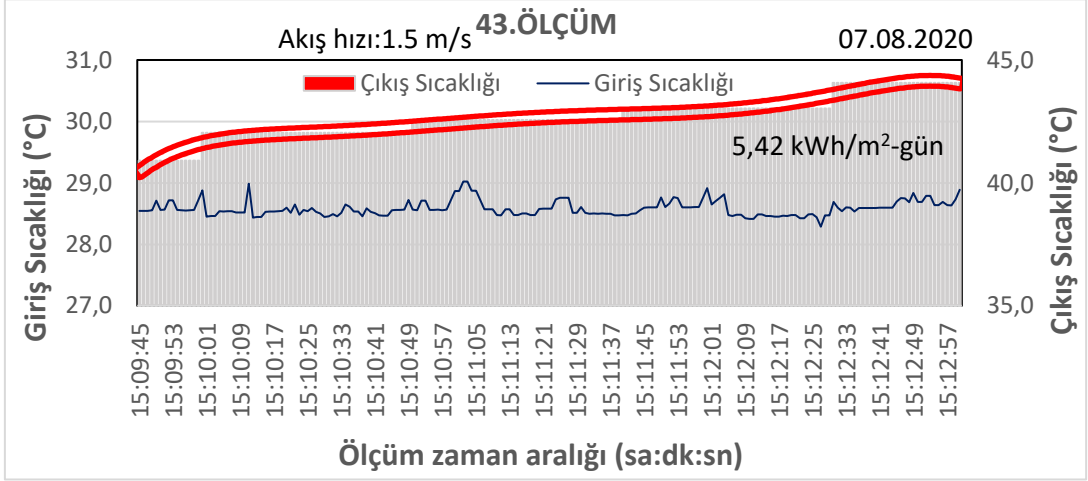
EK-40.2.5 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-07.08.2020-12:00.



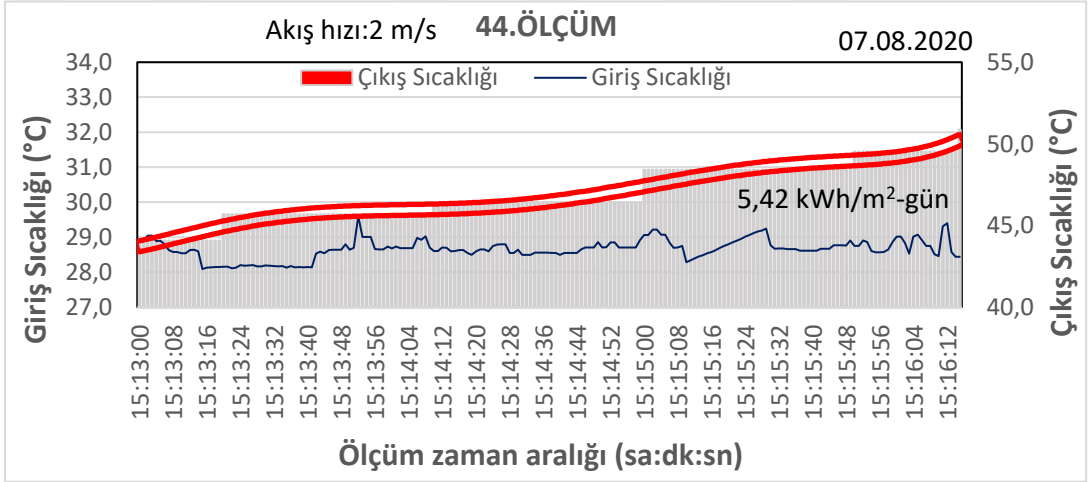
EK-41.0.5 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-07.08.2020-15:00.



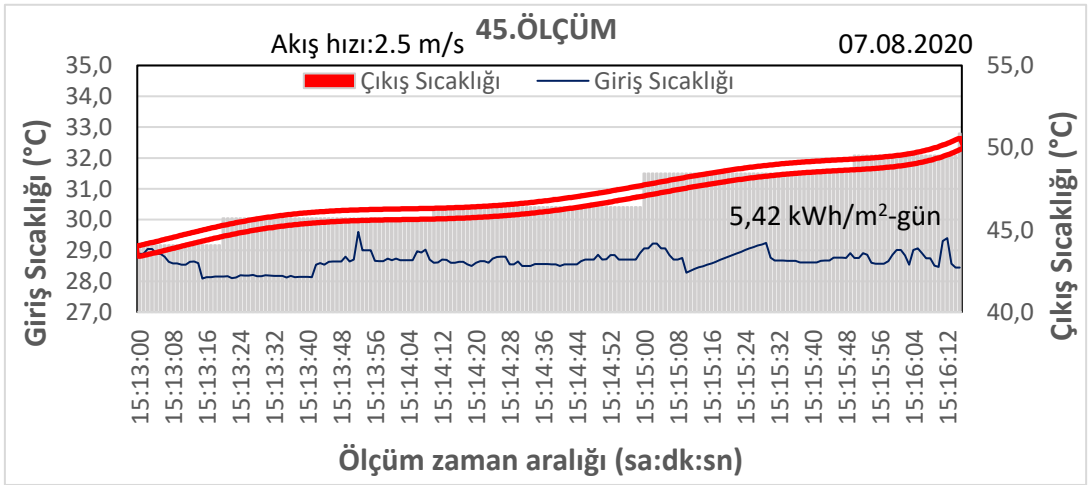
EK-42.1 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-07.08.2020-15:00.



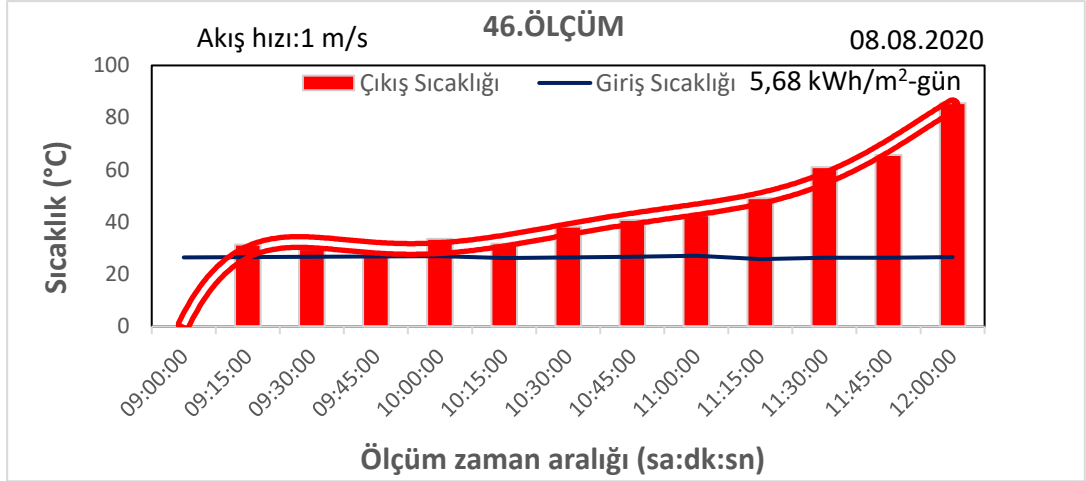
EK-43.1.5 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-07.08.2020-15:00.



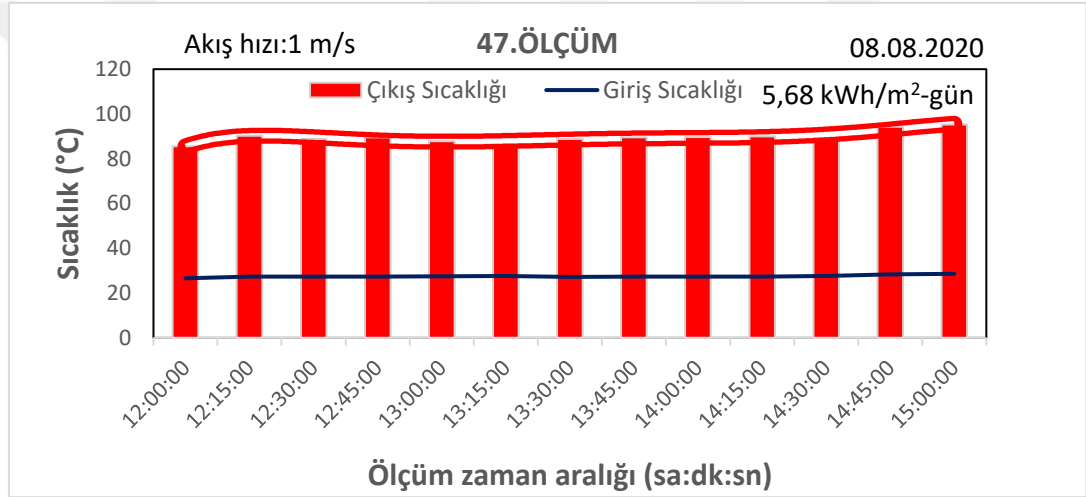
EK-44.2 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-07.08.2020-15:00.



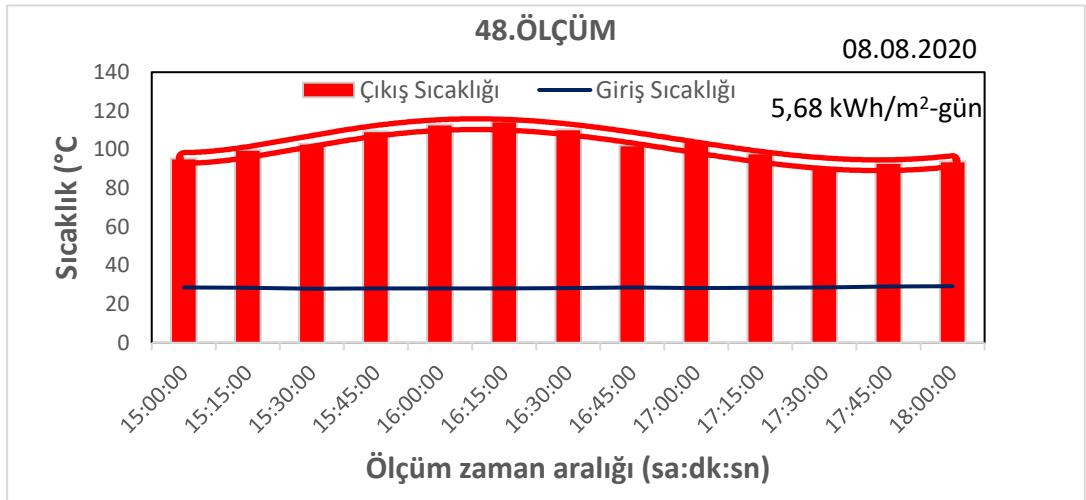
EK-45.2.5 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-07.08.2020-15:00.



EK-46.1 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-08.08.2020-09:00.



EK-47.1 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-08.08.2020-12:00.



EK-48.1 m/s akış hızı için absorber boru içindeki havanın sıcaklık değişimi-08.08.2020-15:00.

ÖZGEÇMİŞ

Onur KÖLEOĞLU 1991 yılında Ordu'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Amasya'da tamamladı. Liseyi Ordu Başöğretmen Anadolu Lisesi'nde 2009 yılında bitirdi. 2015 yılında Pamukkale Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2018 yılında Giresun Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2019 yılında Anadolu Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme Bölümü'nden mezun oldu ve halen özel sektörde faaliyet gösteren kurumsal bir firmada Üretim Mühendisi ve Otonom Bakım Sorumlusu olarak çalışmaktadır.

