

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SİLİNDİRİK PARABOLİK GÜNEŞ TOPLAYICILARININ
TERMODİNAMİK ANALİZİ

MEHMET LÜTFİ BURUNTEKİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

MALATYA
HAZİRAN / 2017

TEZİN BAŞLIĞI : Silindirik Parabolik Güneş Toplayıcılarının Temodinamik Analizi

TEZİ HAZIRLAYAN : Mehmet Lütfi BURUNTEKİN

Sınav Tarihi : 19/ 06/ 2017

Yukarıda adı geçen tez, jürimizce değerlendirilerek Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jürisi Üyeleri

Jüri Başkanı : Doç. Dr. İ. Gökhan AKSOY
(Makine Mühendisi)

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Apdulmutalip ŞAHİNASLAN
(Makine Mühendisi)

: Yrd. Doç. Dr. Atilla G. DEVECİOĞLU
(Makine Mühendisi)

Prof. Dr. Halil İbrahim ADIGÜZEL
(Enstitü Müdürü)

ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Silindirik Parabolik Güneş Toplayıcılarının Termodinamik Analizi” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Mehmet Lütfi BURUNTEKİN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SİLİNDİRİK PARABOLİK GÜNEŞ TOPLAYICILARININ TERMODİNAMİK ANALİZİ

Mehmet Lütfi BURUNTEKİN

İnönü Üniversitesi

Fen bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

77 + xiii sayfa

2017

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Apdulmutalip ŞAHİNASLAN

Merkezi alıcılı sistemlerle birlikte parabolik güneş toplayıcıları yüksek verimleri sebebiyle tercih edilmektedirler. Buna ilave olarak, diğer uygulamalara göre düşük işletme ve ilk yatırım maliyeti ile silindirik parabolik güneş toplayıcıları ön plana çıkmaktadır.

Bu çalışmada, Malatya iklim ve enlem şartlarında silindirik parabolik güneş toplayıcılarının veriminin artırılmasına yönelik toplayıcı boru üzerine ikinci cam katmanı düşünülmüştür. Bu şekilde kayıpların azalarak verimin artması öngörülmüştür. Kayıpların ve anlık verimin değişimini inceleyebilmek için parabolik oluk kollektör sistemini oluşturan yapının tüm parametreleri, optik kayıplar, malzeme özellikleri ve Malatya dış ortam iklim şartları dikkate alınarak model oluşturuldu. Gerekli hesaplamalar yapıldı ve sonuçları değerlendirilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda;

Yüksek yoğunlaştırma oranında veya yüksek sıcaklıklarda çift katmanlı sistemin daha kısa toplayıcı boru uzunluğunda daha yüksek verimli sonuç verdiğini görüyoruz. Ancak, düşük akışkan sıcaklıklarında çalışılması gereken durumlarda tek katmanlı sistemin daha yüksek verimli olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak 0–500 K arasındaki düşük akışkan sıcaklıklarında ikinci katmanın bir katmanlı sisteme göre daha verimli olmadığı, 500–700 K arasındaki orta akışkan sıcaklıklarında ise çift katmanlı sistemin veriminin yükseldiği görülmüştür.

ANAHTAR KELİMELER: Güneş enerjisi, parabolik güneş kollektörlerinin verimi, yenilenebilir enerji kaynakları

ABSTRACT

Master Thesis

THERMODYNAMICS ANALYSIS OF CYLINDRICAL PARABOLIC SOLAR COLLECTORS

Mehmet Lütfi BURUNTEKİN

İnönü University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

77 + xiii pages

2017

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Apdulmutalip ŞAHİNASLAN

Parabolic solar collectors with central receiving systems are preferred due to their high efficiency. In addition, parabolic solar collector with low operation cost and lower first investment cost, compared to other applications has come into prominence.

In this study, in Malatya climate and latitude conditions, a second glass layer is considered on the collecting pipe to increase the efficiency of cylindrical parabolic solar collectors. In this way, it is predicted that losses will decrease and yield will increase. In order to be able to examine the changes of losses and instantaneous efficiency, all parameters of the structure constituting the parabolic groove collector system, optical losses, material properties and Malatya outdoor climate conditions were modeled. The necessary calculations are made and the results are evaluated. As a result of this study;

We see that the double-layer system at higher concentration rates or at higher temperatures yields more efficient results in shorter receiver lengths. But, It has been found that the single layer system is more efficient in situations where it must be operated at low fluid temperatures.

As a result it is seen that at low fluid temperatures of 0-500 K the second layer is not more efficient than one layered system and at medium fluid temperatures of 500-700 K, the efficiency of the double layer system is increased.

KEYWORDS: Solar energy, efficiency of parabolic trough collectors, renewable energy resources

TEŞEKKÜR

Çalışmama sabırla yol gösteren, ktphanesindeki kitaplarını, masasını, sandalyesini, bilgisini ve deneyimini istifade etmem için paylaşan; çalışmamın her anında beni destekleyen değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Apdulmutalip ŞAHİNASLAN'a;

Bölüm içerisinde yardımlarıyla birlikte gerek nasihatleri ile gerek destekleriyle çalışmamı bitirmemde yardımcı olan, değerli bölüm başkanımız Prof. Dr. Őemsettin TEMİZ' e;

Enerji anabilim dalı başkanımız Prof. Dr. Mehmet YILMAZ hocama;

Mesleki açıdan örnek aldığım, teknik açıdan desteğine çok sık başvurduğum, kaynaklar konusunda dokümanlarından ve kitaplarından faydalandığım ve metot oluştururken engin bilgisiyle yardımcı olan değerli hocam Doç. Dr. İ. Gökhan AKSOY' a;

Yardımlarını esirgemeyen, örnek aldığım diğer bir hocam Doç. Dr. Cem ONAT' a, destekleri ve güler yüzleri ile aynı ortamda bulunmaktan mutluluk duyduğum ağabeylerim Sayın Tamer BAKIR ve Sayın Tarkan AKÇADAĞ' a;

Beni bu gnme getirmiş, desteklerini eksik etmemiş ve her an yanımda olan annem, babam ve aileme;

Hayat kaynağım eşime,

Teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
SİMGELER KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Güneş Enerjisinin Tarihi.....	1
1.2. Güneş Kaynaklı Sistemler.....	2
1.2.1. Güneş Enerjisi Uygulamaları.....	3
1.2.1.1. Düşük Sıcaklık Güneş Enerjisi Uygulamaları.....	4
1.2.1.1.1. Kullanım Sıcak Suyu Eldesi.....	4
1.2.1.1.2. Hacim Soğutulması.....	4
1.2.1.1.3. Sera Isıtılması.....	4
1.2.1.1.4. Kurutma.....	5
1.2.1.1.5. Güneş Ocakları ve Fırınlar.....	5
1.2.1.1.6. Tatlı Su Eldesi.....	6
1.2.1.1.7. Güneş Havuzları.....	6
1.2.1.2. Orta ve Yüksek Sıcaklık Güneş Enerjisi Uygulamaları.....	7
1.2.1.3. Güneş Pilleri.....	8
1.3. Yoğunlaştırıcı Sistemler.....	9
1.3.1. Doğrusal Yoğunlaştırıcı Parabolik Oluk Kollektörleri.....	9
1.3.2. Noktasal Yoğunlaştırıcılar.....	10
1.3.2.1. Parabolik Çanak Kollektörler.....	10
1.3.2.2. Merkezi Alıcılar.....	11
1.4. Ülkemizde Konu ile İlgili Çalışmalar.....	12
2. KURAMSAL TEMELLER.....	14
2.1. Genel.....	14
2.1.1. Saydam Örtü.....	15
2.1.1.1. Saydam Örtülerin Geçirme Oranı.....	16
2.1.1.2. Ara Yüzeylerin Yansıtma Oranı.....	17
2.1.1.3. Belirli bir Mesafede Işınlamanın Yutulmuş Oranı.....	19

2.1.1.4.	Yutma, Yansıtma ve Geçirme Oranı.....	20
2.1.1.5.	Saydam Örtü Malzemeleri.....	25
2.1.2.	Yutucu Yüzey.....	26
2.1.2.1.	Seçici Yüzey.....	28
2.1.2.2.	Yutma Geçirme Çarpımı.....	29
2.2.	Parabolik Oluk Kollektörleri.....	31
2.2.1.	Parabolik Oluk Kolektörleri Optik Analizi.....	34
2.3.	Parabolik Oluk Kollektörü Isıl Analizi.....	38
2.3.1.	Çift Saydam Örtülü Parabolik Oluk Kollektörü Enerji Denklemleri.....	44
3.	MATERYAL VE YÖNTEM.....	50
3.1.	Hesaplama Şekli ve Adımları.....	50
3.2.	Tek Saydam Örtü İçin Isı Geçiş Denklemleri.....	51
3.3.	Çift Saydam Örtü İçin Isı Geçiş ve Verim Hesaplamaları.....	55
3.4.	İncelenen Sistemin Fiziksel Özellikleri.....	59
4.	SONUÇ ve ÖNERİLER.....	64
4.1.	Hesaplanan Değerlerin Grafiğe Aktarımı.....	64
4.2.	Sonuç.....	74
5.	KAYNAKLAR.....	76
	ÖZGEÇMİŞ.....	77

SİMGELER KISALTMALAR

a	Işınım yutma oranı, izafi açıklık
A_{ac}	Açıklık alanı [m^2]
A_{al}	Alıcı yüzey alanı [m^2]
A_g	Güneş yüzey alanı [m^2]
A_{to}	Toplayıcı boru dış yüzey alanı [m^2]
c_v	Özgül ısı [J/ kgK]
c_p	Özgül ısı [J/ kgK]
E_{gelen}	Gelen enerji miktarı [W]
$E_{akışkanageçen}$	Akışkana geçen enerji miktarı [W]
$E_{kayıp}$	Kayıp enerji miktarı [W]
f	Parabol odak uzaklığı [m]
F	Şekil faktörü
F_{al-g}	Alıcı yüzeyden güneşe şekil faktörü
F_{g-al}	Güneşten alıcı yüzeye şekil faktörü
h	Isı taşınım katsayısı [W/ m^2K]
h_a	Havanın ısı taşınım katsayısı [W/ m^2K]
h_f	Akışkanın ısı taşınım katsayısı [W/m^2K]
I	Işınım miktarı [W/m^2]
I_{yu}	Toplayıcıda yutulan ışınım miktarı [W/m^2]
I_e	Toplayıcı üzerine gelen ışınım miktarı [W/m^2]
I_{ed}	Toplayıcı üzerine gelen direkt ışınım miktarı [W/m^2]
I_{ey}	Toplayıcı üzerine gelen yayılı ışınım miktarı [W/m^2]
I_{ya}	Yansıyan ışınım miktarı [W/m^2]
k	Isı iletim katsayısı [W/ mK]
k_t	Toplayıcı borunun ısı iletim katsayısı [W/ mK]
k_g	Cam tüpün ısı iletim katsayısı [W/ mK]
L	Uzunluk [m]
\dot{m}	Kütleli debi [kg/ s]
Nu_D	Nusselt sayısı
n	Kırılma indisi
P	Gaz basıncı [$mmHg$]
Pr	Prandtl sayısı
P_v	Buhar basıncı [kPa]
Q	Enerji, ışınım miktarı [W]
q_f	Akışkana ısı geçiş miktarı [W]
q	Isı kazancı/ kaybı, alıcı yüzey birim uzunlukta ısı kazancı/ kaybı [W/m]

\dot{q}	Isı akısı [W/m^2]
R	Parabol uç noktasının odağa uzaklığı [m], Direnç [K/W]
R_1	Toplayıcı borudan akışkana ısı taşınım direnci [K/W]
R_2	Toplayıcı boru ısı iletim direnci [K/W]
R_3	Toplayıcı boru dış yüzeyi ile cam tüp arasındaki boşluğun ışınlım direnci [K/W]
R_4	Cam tüpün ısı iletim direnci [K/W]
R_5	Cam tüpün dış hava ile taşınım direnci [K/W]
R_6	Cam tüpün çevreye ışınlımla ısı kaybı direnci [K/W]
R_{toplam}	Toplam direnç [K/W]
Re_D	Reynold sayısı
r	Yarı çap, Parabolun en kısa uç noktasının odağa uzaklığı [m], Yansıyan ışınlım
r_{dik}	Yansıyan ışınlımın dik bileşeni
r_{yatay}	Yansıyan ışınlımın yatay bileşeni
r_{to}	Toplayıcı boru dış yarıçapı [m]
r_{ti}	Toplayıcı boru iç yarıçapı [m]
r_{gi}	Cam tüpün iç yarıçapı [m]
r_{gli}	Birinci cam tüpün iç yarıçapı [m]
r_{go}	Cam tüpün dış yarıçapı [m]
T	Sıcaklık [$^{\circ}C$ veya $^{\circ}K$]
T_{al}	Alıcı yüzey sıcaklığı [$^{\circ}C$ veya $^{\circ}K$]
T_a	Havanın sıcaklığı, dış hava sıcaklığı [$^{\circ}C$ veya $^{\circ}K$]
$T_{\text{çev}}$	Çevre sıcaklığı [$^{\circ}C$ veya $^{\circ}K$]
T_f	Akışkan sıcaklığı [$^{\circ}C$ veya $^{\circ}K$]
T_{fi}	Akışkan giriş sıcaklığı [$^{\circ}C$ veya $^{\circ}K$]
T_{fo}	Akışkan çıkış sıcaklığı [$^{\circ}C$ veya $^{\circ}K$]
T_g	Güneşin sıcaklığı [$^{\circ}C$ veya $^{\circ}K$]
T_{gi}	Cam tüpün iç yüzey sıcaklığı [$^{\circ}K$]
T_{gli}	Birinci cam borunun iç yüzey sıcaklığı [$^{\circ}K$]
T_{go}	Cam borunun dış yüzey sıcaklığı [$^{\circ}K$]
T_t	Toplayıcı yüzey sıcaklığı [$^{\circ}C$ veya $^{\circ}K$]
T_{ti}	Toplayıcı iç yüzey sıcaklığı [$^{\circ}C$ veya $^{\circ}K$]
T_{to}	Toplayıcı boru dış yüzey sıcaklığı [$^{\circ}C$ veya $^{\circ}K$]
T_s	Güneşin efektif siyah cisim sıcaklığı [$^{\circ}C$ veya $^{\circ}K$]
T_{sky}	Çevre sıcaklığı [$^{\circ}C$ veya $^{\circ}K$]
T	Belirli mesafeden ışınlımın geçirilen kısmı
YO	Yoğunlaştırma oranı
α	ışınlım yutma oranı, ısıl yayınma katsayısı $(k/\rho \cdot c_p)[m^2/s]$

α'	Ortalama ışı nım yutma oranı
β	Homojen ortamın ışı nımını azaltma katsayısı, hacimsel ısı l genleşme katsayısı [1/ K]
δ	Kalınlık [m]
ϵ	ışı nım yayma oranı
ϵ_t	Toplayıcı yüzeyin yayma oranı
ϵ_g	Cam yüzeyin yayma oranı
μ	Dinamik viskozite [kg/ m- s]
σ	Stefan-Boltzmann sabiti [W/m ² -K ⁴]
ρ	Yansıtma oranı
ρ	Yoğunluk [kg/m ³]
ρ'	Ortalama yansıtma oranı
ρ_y	Yüzeyin yansıtma oranı
τ	Geçirme oranı, Saydam örtünün geçirme oranı
τ'	Ortalama geçirme oranı
θ_g	Geliş açısı, rad
θ_k	Kırılma açısı, rad
$\tau\alpha$	Yutma geçirme çarpımı
Φ	Azimet açısı, rad
ΔT	Sıcaklık farkı [°K]
ν	Kinematik vizkozite [m ² /s]
CSP	Yoğunlaştırıcı Güneş Güç Sistemleri (Concentrated Solar Power)
t	Toplayıcı
a	Hava (Air)
f	Akışkan (Fluid)
çev	Çevre
dik	Dikey
yatay	Yatay
y	Yüzey, Yayılı
d	Direkt
ya	Yansıyan
g, s	Güneş, Sun
aç	Açıklık
al	Alıcı Yüzey

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1	Düzlemsel güneş kolektörü ve yapısı [2]	4
Şekil 1.2	Sera ısıtılmasında kullanılan yöntemler, sol pasif, sağ kolektörlü [13].....	5
Şekil 1.3	Güneş ocağı [13].....	5
Şekil 1.4	Güneş enerjisiyle tatlı su arıtma sistemi [13].....	6
Şekil 1.5	Güneş havuzu yapısı [13]	7
Şekil 1.6	Odeillo, Fransa’ da güneş fırını [14]	8
Şekil 1.7	Fotovoltaik güneş pili yapısı [13]	9
Şekil 1.8	Parabolik oluk santrali prensip şeması [13]	10
Şekil 1.9	Parabolik çanak güneş kolektörü [13]	11
Şekil 1.10	Merkezi alıcılı güneş santrali [13]	12
Şekil 1.11	Parabolik güneş kolektörü prensip şeması.....	12
Şekil 2.1	Güneş ışınımı toplayıcısı temel parametreleri.....	14
Şekil 2.2	Hava kütlesi 0, 1, 2 ve 5 için güneş ışınımının spektral dağılımı [1]	17
Şekil 2.3	Işınımın ara yüzeyde kırılması ve yansıması.....	18
Şekil 2.4	Işınımın saydam örtüden geçişi [5]	20
Şekil 2.5	Yutucu yüzeyde güneş ışınımının yutulması.....	30
Şekil 2.6	Parabolik oluk güneş kolektörü yapısı [15]	32
Şekil 2.7	Şematik olarak yoğunlaştırıcı ile L mesafedeki güneş [5].....	33
Şekil 2.8	Parabolik yansıtıcı kesiti.....	35
Şekil 2.9	Parabolik yansıtıcı ve silindirik alıcı.....	35
Şekil 2.10	Parabolik güneş kolektörüne gelen güneş ışınlarının kolektör yapısındaki durumu.....	37
Şekil 2.11	Paralel silindirik duvarlardan akışkana ısı geçişi ve eşdeğer ısıl devre.....	38
Şekil 2.12	Paralel silindirik duvarlardan akışkana ısı geçişi ve eşdeğer ısıl devre.....	39
Şekil 2.13	Toplayıcı boruda iç akış için kontrol hacmi.....	42
Şekil 2.14	Parabolik güneş kolektörüne gelen güneş ışınlarının çift saydam örtülü kolektör yapısındaki durumu.....	45
Şekil 2.15	Çift saydam örtülü birbirine paralel silindirik duvarlardan akışkana ısı geçişi.....	45
Şekil 2.16	Çift saydam örtülü birbirine paralel silindirik duvarlardan akışkana ısı geçişi eşdeğer ısıl devre.....	46
Şekil 3.1	Tek saydam örtülü parabolik oluk kolektörün toplayıcı boru ve saydam örtü ile temel yapısı ve bileşenleri.....	51
Şekil 3.2	Tek saydam örtülü parabolik kolektörün ısıl direnç diyagramı.....	51
Şekil 3.3	Çift saydam örtülü parabolik oluk kolektörün toplayıcı boru ve saydam örtü ile temel yapısı ve bileşenleri.....	55
Şekil 3.4	Çift saydam örtülü parabolik kolektörün ısıl direnç diyagramı	55
Şekil 4.1	Tek katlı saydam örtüde farklı çaplar için 0,005 kg/s kütleli debide toplayıcı boru uzunluğuna göre akışkan sıcaklığı	64
Şekil 4.2	Çift katmanlı saydam örtüde, iç saydam örtü çapı 10 cm olmak üzere dış saydam örtünün farklı çap değerleriyle toplayıcı boru uzunluğuna göre akışkan sıcaklığı.....	65
Şekil 4.3	Tek katlı saydam örtüde farklı çaplar için 0,01 kg/s kütleli debide toplayıcı boru uzunluğuna göre akışkan sıcaklığı.....	66
Şekil 4.4	Çift katmanlı saydam örtüde 0,01 kg/s kütleli debide iç saydam örtü çapı 10 cm olmak üzere dış saydam örtünün farklı değerleriyle toplayıcı boru uzunluğuna göre akışkan sıcaklığı.....	66
Şekil 4.5	Tek katlı saydam örtüde farklı çaplar için 0,05 kg/s kütleli debide	67

	toplayıcı boru uzunluğuna göre akışkan sıcaklığı.....	
Şekil 4.6	Çift katmanlı saydam örtüde 0,05 kg/s kütleli debi iç saydam örtü çapı 10 cm olmak üzere dış saydam örtünün farklı değerleriyle toplayıcı boru uzunluğuna göre akışkan sıcaklığı.....	68
Şekil 4.7	Tek katlı saydam örtüde farklı çaplar için 0,1 kg/s kütleli debide toplayıcı boru uzunluğuna göre akışkan sıcaklığı.....	68
Şekil 4.8	Çift katmanlı saydam örtüde 0,1 kg/s kütleli debi iç saydam örtü çapı 10 cm olmak üzere dış saydam örtünün farklı değerleriyle toplayıcı boru uzunluğuna göre akışkan sıcaklığı	69
Şekil 4.9	Aynı dış çapta tek ve iki katlı saydam örtüde 0,005 kg/s kütleli debide toplayıcı boru uzunluğuna göre akışkan sıcaklığı	70
Şekil 4.10	Aynı dış çapta tek ve iki katlı saydam örtüde 0,005 kg/s kütleli debide toplayıcı boru uzunluğuna göre akışkan sıcaklığı	70
Şekil 4.11	Aynı dış çapta tek ve iki katlı saydam örtüde 0,005 kg/s kütleli debide toplayıcı boru uzunluğuna göre akışkan sıcaklığı.....	71
Şekil 4.12	Aynı dış çapta tek ve iki katlı saydam örtüde 0,005 kg/s kütleli debide toplayıcı boru uzunluğuna göre akışkan sıcaklığı	71
Şekil 4.13	Aynı dış çapta tek ve iki katlı saydam örtüde 0,01 kg/s kütleli debide toplayıcı boru uzunluğuna göre akışkan sıcaklığı.....	72
Şekil 4.14	Aynı dış çapta tek ve iki katlı saydam örtüde 0,01 kg/s kütleli debide toplayıcı boru uzunluğuna göre akışkan sıcaklığı.....	72
Şekil 4.15	Aynı dış çapta tek ve iki katlı saydam örtüde 0,01 kg/s kütleli debide toplayıcı boru uzunluğuna göre akışkan sıcaklığı.....	73
Şekil 4.16	Aynı dış çapta tek ve iki katlı saydam örtüde 0,01 kg/s kütleli debide toplayıcı boru uzunluğuna göre akışkan sıcaklığı.....	73
Şekil 4.17	iki katmanlı ve tek katmanlı sistemlerin karşılaştırma tablosu	74

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 2.1	Bazı saydam maddelerin kırma indisleri [5].....	19
Çizelge 2.2	Bazı saydam örtülerin özellikleri [5]	26
Çizelge 3.1	Toplayıcının termofiziksel ve optik özellikleri.....	59
Çizelge 3.2	Çalışmanın yapıldığı alandaki havanın özellikleri.....	60
Çizelge 3.3	Sıvı halde DOWTHERM A fiziksel özellikleri [11].....	61
Çizelge 3.4	Sistemin hesaplanan ve kabul edilen fiziksel değerleri.....	61
Çizelge 3.5	Doymuş sıvı halde DOWTHERM A özellikleri [11].....	62

1. GİRİŞ

Güneş $1,39 \times 10^9$ m çapıyla ve Dünya' dan $1,5 \times 10^{11}$ m uzaklıkta yoğun sıcak gazların oluşturduğu küredir. Kendi çevresindeki dönüşünü yaklaşık 4 haftada tamamlar. Katı bir cisim gibi dönmediğinden, her dönüşü kutuplarda yaklaşık 30 gün ekvatorda ise hemen hemen 27 gün alır. Güneşin efektif siyah cisim sıcaklığı 5777 K dir. Güneşin içinde sıcaklığın 8 ila 40 milyon Kelvin arasında olduğu tahmin edilmektedir [1].

Çok yüksek sıcaklık sebebiyle elektronlar atomun merkezindeki çekirdekten uzaklaşırlar. Bu şekilde yüksek sıcaklıktan dolayı güneşte molekül yerine atom çekirdekleri ve elektronlar bulunur. Plazma adı verilen bu karışım içerisinde hidrojen çekirdekleri birleşerek termonükleer reaksiyonla helyuma dönüşür. Füzyon adı verilen bu birleşme ile helyum oluşurken bir miktar kütle ısı ve ışık enerjisine dönüşür. Güneşte her saniyede milyonlarca ton hidrojen helyuma dönüşürken 4 milyon ton hidrojenin ısı ve ışık enerjisine dönüştüğü tahmin edilmektedir. Bu dönüşümde yaklaşık 400 milyon EJ (Eksa Joule) enerji ortaya çıktığı tahmin ediliyor. Güneşin saniyeler içerisinde ürettiği bu tahmini değer bile insanoğlunun şimdiye kadar tükettiği enerjiden çoktur. Bununla birlikte güneşin ürettiği enerjinin sadece milyarda birini dünya atmosferine girer [2].

Güneşin yaydığı enerjinin dünyanın bir yıllık ihtiyacının 15000 katından çok olduğu düşünülmektedir. Bu enerji anlık olarak düşünüldüğünde yer küre üzerinde elektrik üreten tüm yapıların kurulu güçlerinin 60 bin katı olduğu düşünülüyor [3].

1.1. Güneş Enerjisinin Tarihi

Güneş enerjisinden faydalanmaya başlama tarihinin oldukça yeni olduğu söylenebilir. İlk defa Sokrat 5. Yüzyılda evlerin ısıtılması için Güneş' ten faydalanabileceğinin önerisini getirmiştir. Xenophon' s Memorable isimli kitabında bu öneriyi açıklamıştır: “binaların güney duvarlarını, kış güneşi alacak şekilde daha yüksek, kuzey duvarlarını da soğuk rüzgârlara maruz kalmaması için alçak yapmak en iyi bir düzenlemedir” [4] . Bir diğer uygulama M.Ö. 250 yıllarında

Sirakuza kuşatmasındaki düşman gemilerinin koyu renkli yelkenlerini yakmak için iç bükey aynalarla Arşimed' in güneş ışınlarıyla yaktığı iddia edilmektedir [5]. Güneş enerjisiyle çalışan ilk su pompası Salama de Caus' un (1564 – 1626) merceği icadı ile olmuştur [4]. Belidor, 1725 de Fransa' da bir pompayı güneş ışıklarının yardımıyla çalıştırmıştı. 1868 de Ericson güneş enerjisinden buhar elde ederek makine işletmiştir. Güneş enerjisi ile ilgili ilk kitap 1869 yılında “La Chaleur Solaire et Ses Application Industrielles” adıyla Mouchot hazırlanmış. 1878 yılına Mouchot güneş enerjisinden faydalanarak soğutma yapmıştır. Bu şekilde bir blok buz üretmeyi başaran ilk kişidir [5]. 19. Yüzyılın başında güneş ışınlarındaki ısı şiddetini ölçen bir alet e actiometere Sir John Herschel tarafından bulunmuştur. Bu konuda ilk kitap 1903 yılında Charlos Pope tarafından İngilizce olarak yazılmıştır: “ A Solar Heat-it' s Practical Applications” [4]. 20. Asrın başında A. Aenas tarafından, Pasadena-California' da parabolik çanak tipi, J. Shuman ve C.V. Boys tarafından Meadi-Mısır' da ise çizgisel odaklayıcı yoğunlaştırıcılar kullanarak, Güneş enerjisiyle üretilen buhar, buhar makinesine sevk edilip su pompalama maksadıyla kullanılmıştır [5, 6]. İlk büyük sempozyum 1954 yılında Yeni Delphi' de yapılmıştır. 1954 yılında Bell laboratuvarlarında yapılan güneş pilleri uzay araçlarına enerji sağlamakta kullanılmıştır. 1975 yılında ABD' de 200 kadar konut güneş enerjisiyle ısıtılmıştır. [4, 5]

1.2. Güneş Kaynaklı Sistemler

Güneş enerjisinden faydalanan sistemler genel olarak elektrik üretimi veya ısı elde etmek için kullanılır. Bu uygulamalar güneş enerjisini doğrudan kullandığı gibi termal enerjiden elektrik üreten sistemlerde bulunmaktadır [6].

Güneş enerjisi uygulamaları sıcaklık aralığına göre;

- Düşük sıcaklıkta (20 – 100 °C),
- Orta sıcaklıkta (100 – 300 °C),
- Yüksek sıcaklıkta (>300 °C)

Çalışan olarak üç gruba ayrılır. Yaygın kullanılan uygulamalar şöyledir [4] :

Düşük sıcaklıklı uygulamaları:

- Kullanım sıcak suyu elde edilmesi,
- Hacim soğutma,
- Sera ısıtması,
- Nem alma veya kurutma,
- Su ısıtması,
- Güneş fırınlar,
- Tuzlu sudan tatlı su üretme,
- Güneş havuzları.

Orta sıcaklıklı uygulamaları:

- Yüksek basınçta buhar üretme,
- Büyük ısıtma veya soğutma sistemleri,
- Elektrik üretme.

Yüksek sıcaklıklı uygulamaları:

- Güneş fırınları,
- Güç santralleri.

1.2.1. Güneş Enerjisi Uygulamaları

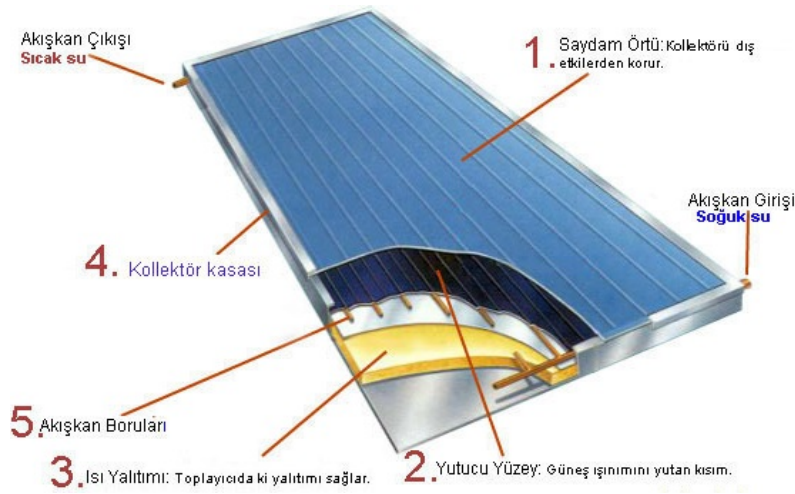
Günümüzde güneş enerjisinin birçok uygulama alanları vardır. Bunlardan önemli olanları:

- Düşük sıcaklıklı güneş enerjisi uygulamaları,
- Orta ve yüksek sıcaklıklı güneş enerjisi uygulamaları,
- Fotovoltaik uygulamalar.

1.2.1.1. Düşük Sıcaklık Güneş Enerjisi Uygulamaları

1.2.1.1.1. Kullanım Sıcak Suyu Eldesi

Düşük sıcaklıklı uygulamalardan domestik ev tipi güneş enerjisinden kullanım suyu üreten sistemler en bilinendir. Güneş kolektörleri ile güneş enerjisini ısı enerjisi olarak suya transfer ederler. Daha üst teknolojisi olan vakumlu tüplü kolektörler ısı kaybının daha az olduğu sistemlerdir. Bu uygulamalardaki güneş kolektörleri pompalı veya doğal sirkülasyonlu olarak kullanılabilir [4].



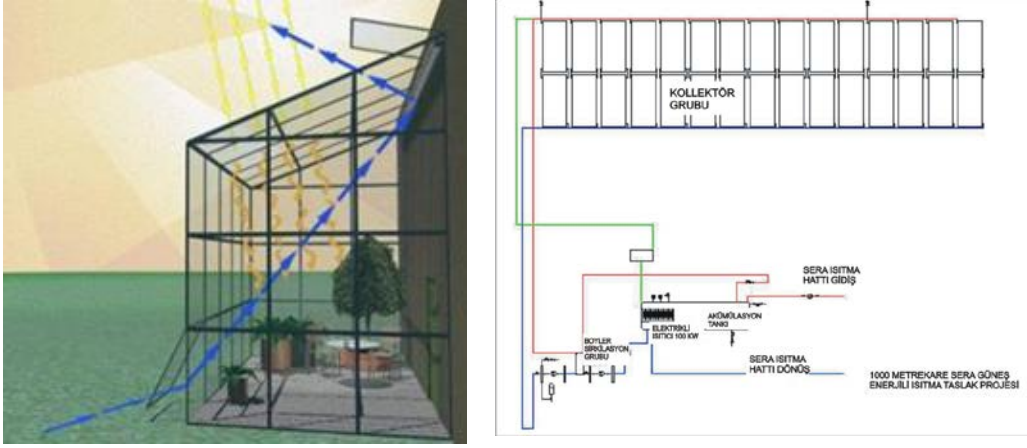
Şekil 1.1 Düzlemsel güneş kolektörü ve yapısı [2]

1.2.1.1.2. Hacim Soğutulması

Güneş enerjisi ile hacim soğutulmasında farklı sistemler kullanılabilir. Bunlardan en önemlisi Rankin çevrimi ile beraber çalışan buhar sıkıştırılmalı soğutma sistemi ve absorpsiyonlu soğutma sistemleridir. Son yıllarda öne çıkan sistemler absorpsiyonlu soğutma sistemidir [4].

1.2.1.1.3. Sera Isıtılması

Tarım alanlarının ısıtılması için güneşten faydalanılan uygulamasıdır. Bu uygulama pasif olabileceği gibi fan takılmak suretiyle havayı ısıtarak da kullanılabilir. Uygulanabilir bölgelerin azlığı nedeniyle az miktarda kullanılmaktadır [4].



Şekil 1.2 Sera ısıtılmasında kullanılan yöntemler, sol pasif, sağ kolektörlü [13]

1.2.1.1.4. Kurutma

Ürün kurutulması bilinen en eski güneş enerjisinden faydalanma yöntemidir. Genel olarak açık havada yere serilerek ürünler kurutulur. Bu şekilde kurutma ürünler olumsuz çevre şartlarından, toz ve böceklerden etkilenir. Bu olumsuz durumlardan uzaklaşmak için güneş kurutucuları düşünülmüş ve yaygınlaşmıştır. Önceleri kurutucular sera şeklinde yapılmışlardı. Geliştirilen kurutucularda ise güneşten faydalanarak ısıtılan hava ürün çevresinden doğal veya cebri olarak dolaştırılmıştır. Kurutucunun güneşten faydalanan kısmı kurutucuyla birlikte olabildiği gibi ayrı şekilde de olabilmektedir [4].

1.2.1.1.5. Güneş Ocakları ve Fırınlar

Bu uygulamalar güneşin çok yoğun olduğu Çin, Pakistan, Hindistan vb. ülkelerde kullanılmaktadır. Yakın zamanlarda Afrika kıtasında da kullanılmaya başlanmıştır. Aşağıdaki örnekte olduğu gibi katlanabilen mobil ocaklar geliştirilmeye devam edilmektedir [6].



Şekil 1.3 Güneş ocağı [13]

1.2.1.1.6. Tatlı Su Eldesi

Güneş ışığının bol bulunduğu ama suyun kullanım için uygun olmadığı yerlerde su damıtılarak nispeten uygun şartlara getirilebilmektedir. Deniz kıyılarında suyu tuzundan ayırmak için damıtma işleminde güneş enerjisinin kullanıldığı sistemler hayatı kolaylaştırabilir. En basit şekliyle damıtıcı, zemini koyu renkte sıg su kabının üzerine şeffaf örtü giydirilmesiyle yapılabilir. Şeffaf örtünün altında ama su seviyesinin üzerindeki oluklar buharlaşıp tekrar yoğunlaşan suyun taşınmasında kullanılır. Güneş ışınları kabin altındaki koyu renkle zemine düşer ve suyu ısıtır. Isınan su buharlaşır ve yükselir. Şeffaf tabakada buğu halinde tekrar yoğunlaşır ve kanala düşer. Kanallardan biriktirilen tatlı su ile damıtılmış temiz su elde edilmiş olur. İki metre kare yüzey alanı ile 10 litreye kadar su damıtılabilir [6].



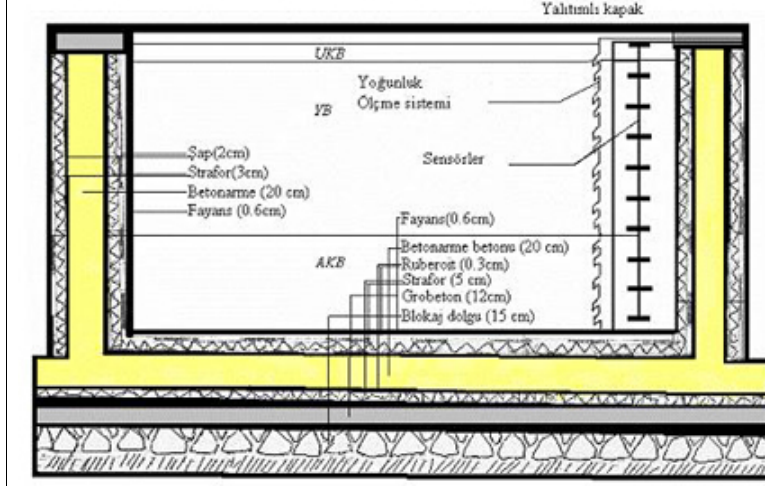
Şekil 1.4 Güneş enerjisiyle tatlı su arıtma sistemi [13]

1.2.1.1.7. Güneş Havuzları

Ortalama verimi %20 olan güneş havuzu, güneş ışınımını ısıya dönüştürür. Damıtma cihazında olduğu gibi zemini koyu renktedir ve 5 – 6 m yüksekliğindeki tuzlu suyun sıcaklığını güneş radyasyonu ile 90 °C a kadar yükseltilmesinde kullanılır. Suyun içindeki tuz miktarı ısı dağılımını düzenler. Alt yüzeyden su yüzeyine doğru sıcaklık azalırken, konsantrasyon ters yönde azalır. En altta bulunan doymuş tuz çözeltisi, ısı değiştiriciler yardımıyla buhara veya elektrik enerjisine dönüştürülebilir.

Güneş havuzları vasıtasıyla kabul edilebilir fiyatlarla elektrik üretmek mümkün. Ancak 40 °C' den daha yüksek enlemlerde güneş ışınlarının eğimi,

enerjinin yansıtılmasına neden olduğundan elde edilen verimin azalması söz konusudur [6].



Şekil 1.5 Güneş havuzu yapısı [13].

1.2.1.2. Orta ve Yüksek Sıcaklık Güneş Enerjisi Uygulamaları

Yüksek sıcaklık elde edebilmek için güneş ışınlarını yoğunlaştırma yapan termal sistemlerdir. Parabolik oluk toplayıcılar, parabolik çanak toplayıcılar, merkezi alıcı güç santralleri bu gruptadırlar. Elde edilen yüksek sıcaklıklı akışkanlar ile genelde buhar dönüşümü ile elektrik elde edilir. Bu tür uygulamalardan olan Fransa' da kurulu güneş fırını uygulaması Şekil 1.6' da gösterilmiştir.

Odeillo, Fransa' daki güneş fırını, güneş ışınlarını toplayarak endüstride kullanılabilir yüksek sıcaklık oluşturmayı hedefleyen bir yapıdır. Bu işlemi eğri yüzeyli ve sırayla çoğaltılmış bir dizi ayna ile parabolik reflektör sistemi ile yapmaktadır. Odak noktasındaki ısı 3500 °C dereceye ulaşmaktadır [4].



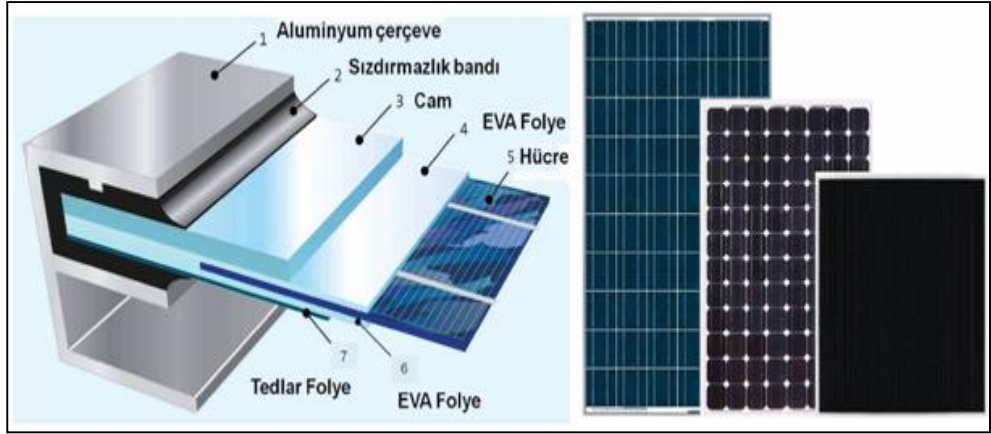
Şekil 1.6 Odeillo, Fransa' da güneş fırını [14]

1.2.1.3. Güneş Pilleri

Fotovoltaik pil yani güneş pili, yarı iletken maddelerden yapılmış olup, üzerine düşen güneş radyasyonunu doğrudan elektrik enerjisine çevirir. Pilin üzerine düşen ışınlar pilin uçları arasında gerilim farkı oluşturur. Yani ürettiği enerjinin kaynağı güneş ışığıdır [5].

Güneş enerjisini %5 ile %20 gibi çok düşük verimlerle elektrik enerjisine çeviren pillerin üretiminde galyum arsenik, kristal silisyum, amorf silisyum gibi birçok farklı madde kullanılır [6].

Aynı yüzey üzerine güneş pilleri seri yada paralel bağlanarak oluşturulan yapıya fotovoltaik modül veya güneş pili modülü denir [6].



Şekil 1.7 Fotovoltaik güneş pili yapısı [13]

1.3. Yoğunlaştırıcı Sistemler

Güneş enerjisi uygulamalarında daha yüksek sıcaklıklara ulaşmak için yoğunlaştırıcı toplayıcı sistemleri (CSP: Concentrated Solar Power) kullanılmaktadır. Bu tür toplayıcılar güneş ışıklarını tek noktaya veya bir doğru boyunca yoğunlaştırabilmektedir. Güneş ışığının gördüğü alana “açıklık alanı” ve güneş enerjisinin başka bir elemana transfer edildiği yüzeye “alıcı yüzey” denir. Işığın yoğunlaştırmaya başladığı açıklığın güneş ışınımını yutan asıl alıcı yüzeye bölünerek bulunan değere “yoğunlaştırma oranı” denir. Bu oran iki boyutlu sistemlerde 300, üç boyutlu sistemlerde ise 40000 civarındadır [4].

1.3.1. Doğrusal Yoğunlaştırıcı Parabolik Oluk Kolektörleri

Diğer güneş enerjisi uygulamalarına nazaran ısı enerjisi yardımıyla elektriğin üretildiği sistemler arasında parabolik güneş kolektörleri teknolojisi en sık karşılaşılan teknolojidir. Parabolik şekilli yoğunlaştırıcıların odağında yutucu yüzeyi bulunan parçalar birbirlerine eklenerek bir dizi oluşturur. Yoğunlaştırıcıların iç kısmı yansıtıcı yüzeydir. Yansıtıcılardan gelen ışınlar çizgisel odaktaki yutucu boruya yönlendirilir. Güneşin hareketini doğudan batıya doğru takip eden izleme sistemi ile gün boyunca güneş kolektörü güneş ışığıyla temasta olur. Yutucu yüzeyli absorban boru içerisindeki akışkanın ısıtılmasıyla elde edilen enerji güç santrallerinde önce buhara sonrasında elektrik enerjisine dönüştürülür. Günümüzde akışkan olarak termal yağ kullanılmaktadır. Yeni çalışmalarda ise daha az çevreye zarar veren suyun ısı transfer akışkanı olarak kullanılabilmesi için çalışmalar yapılmaktadır. Bu



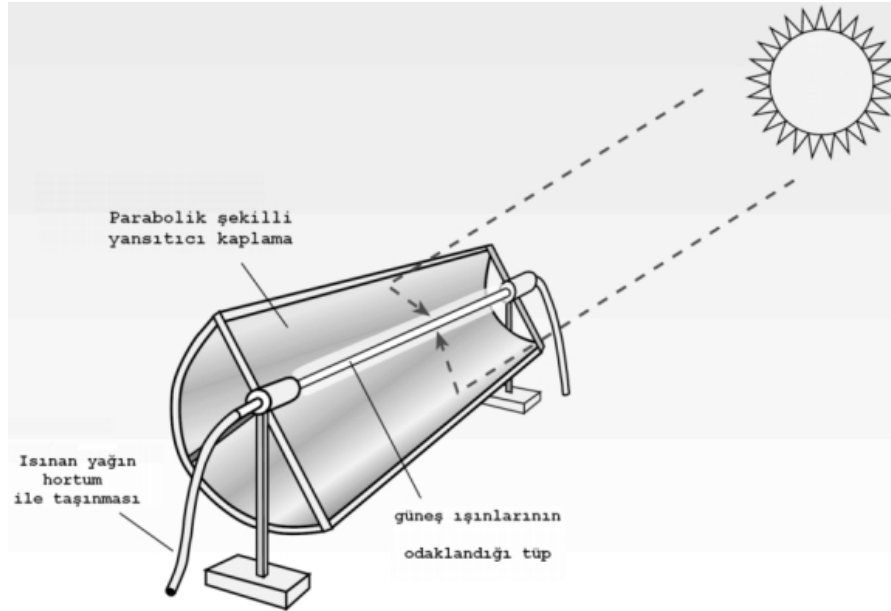
Şekil 1.9 Parabolik çanak güneş kolektörü [13]

1.3.2.2. Merkezi Alıcılar

Bu sistemler iki bölümden oluşurlar. Birinci bölüm güneş ışıklarını odağa yansıtacak şekilde yerleştirilmiş heliostat adı verilen aynalar ve yansıtılan güneş ışığını alan bölümü taşıyan yükseltilmiş bir kule. Yoğunlaştırma oranı 300 ila 1500 arasında olan bu sistemlerde taşıyıcı akışkan olarak genelde tuzlu eriyik kullanılır. Tuzlu eriyik ihtiyaç duyulduğunda bir buhar tesisinde 350 °C' den 600 °C'e kadar kızgın buhar elde edilebilmektedir. Akışkan olarak hava kullanılabilir. Hava kullanılan uygulamalarda 800 °C' ye çıkabilir [6]. Diğer uygulamalar yanında en verimli, ancak ilk kurulum maliyeti çok büyük olan heliostat sistemlerinin çalışma sıcaklığı çok yüksektir. İşletilmesi sırasında karşılaşılan büyük sorunlar nedeniyle Amerika, Japonya ve Avrupa da inşa edilen bu tip santrallerden beş tanesinin proje çalışmaları durdurulmuştur [4].



Şekil 1.10 Merkezi alıcılı güneş santrali [13]



Şekil 1.11 Parabolik güneş kollektörü prensip şeması

1.4. Ülkemizde Konu ile İlgili Çalışmalar

Ülkemizde 1950 – 60 yılları arasında güneş enerjisi çalışmalarına başlanılmıştır. 1975 yılında İzmir’ de güneş enerjisi konusunda ilk ulusal kongre gerçekleştirilmiştir. Türkiye’ de tek güneş enerjisi enstitüsü Ege Üniversitesi’ nde 1978 yılında kurulmuş ve faaliyetine devam etmektedir. Uluslar Arası Güneş Enerjisi Derneği Türkiye Şubesi 1992 yılından itibaren ülkemizde çalışmaya başlamıştır [2].

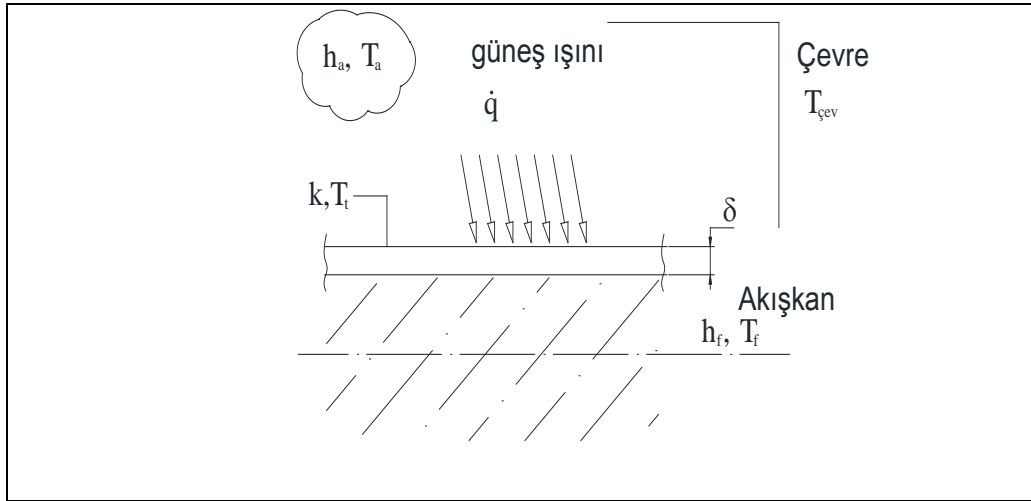
Çeşitli domestik uygulamalarla güneş enerjisinden faydalanmakta olmamıza rağmen yüksek güneş enerjisi potansiyeli ülkemizde yeterli miktarda değerlendirilememektedir. Güneş enerjisi araştırmaları ve değerlendirmeye yönelik çalışmalar uzun yıllardır yapılmakta olmasına rağmen, devlet desteğinin yetersizliği ve kurumların bu konu hakkında yetersiz ilgisi bu potansiyelden yararlanmayı engellemektedir. Yakın zamanda çıkan kanun ve teşvikler ile kamu kurum ve özel kuruluşların dikkati bu potansiyele çevrilmek istenmektedir. Aynı zamanda öğretim ve araştırma kurumlarında güneş ile ilgili araştırmalar ile vakıf ve derneklerde güneşten daha çok faydalanmak için çalışmalar devam etmektedir. Türk standartları enstitüsü güneş enerjisi ve uygulamalarına yönelik standartları çıkarmaya devam etmekte ayrıca TÜBİTAK ve üniversitelerin desteklediği güneş arabaları yarışı 2005 ten itibaren devam etmektedir. Güneş enerjisi ile ilgili ilk kanun olan 5346 sayılı kanun 2005 yılında yürürlüğe girmiştir [7].

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Genel

Güneş ışığındaki enerjiyi bir akışkana transfer etmek için toplayan sistemlere “güneş toplayıcıları ya da güneş kolektörü” denilir. Bu kolektörler üzerine düşen güneş ışınlarının bir parçası kolektör yüzeyi tarafından yutulur. Yüzeyin yuttuğu enerji akışkana taşınım ve iletim ile geçer. Kolektörün yutamadığı enerji ise çevreye, kolektör sıcaklığı ve ısı taşınım katsayısıyla orantılı olarak taşınım ile geçer. Yutulan enerji ile enerjinin akışkana geçerken çevreye sızan enerji kaybının farkı faydalı güneş enerjisidir ve akışkana aktarılmak istenir.

Genelde kapalı bir kap içine konulan su güneşe bırakılsa Şekil 2.1’ de görülen parametrelere bağlı olarak ısınır. Belirli bir süre içerisinde kabın yüzeyine ulaşan güneş ışınımından (\dot{q}), kabın ışınım absorbe etme oranı (α) olmak üzere, kap yüzeyi ($\alpha \cdot \dot{q}$) değerini yutar. Kabın (toplayıcı) yüzey sıcaklığı T_t ’ ye ulaşır. Bu yüzey sıcaklığı ve çevre ile arasındaki ısı taşınım katsayısı (h_a) ile orantılı olarak ısı kaybı olur.



Şekil 2.1 Güneş ışınımı toplayıcısı temel parametreleri

Faydalı güneş enerjisi toplayıcı kap yani kolektör tarafından yutulmasından sonra, bir kısım enerji kap sıcaklığını artırırken, diğer kısmı akışkana geçer. Bu geçiş hem kolektörün ısı iletim katsayısı (k) ve kalınlığıyla (δ) orantılı olarak iletimle hem de iç yüzeyde akışkan sıcaklığı (T_f), iç yüzey ile akışkan arasındaki ısı taşınım

katsayısına (h_f) bağılı olarak taşınım ile gerçekleşir. Akışkana geçen ışı nım faydalı ışı nımdır [5].

Güneş ışı nım ışı ddeti ile çevre sıcaklığı, yere (enlem, yükseklik), zamana (gün, saat) ve atmosfer şartlarına (bulut, nem vs.) bağılı olarak bizim kontrolümüz dışındadır. Yüze ye gelen ışı nımın faydalı enerj iye dönüşürken verimin artırılması için bazı önlemler alınır. Belirli miktarda güneş ışı nım ışı akısından toplayıcılarla enerj i elde edilirken,

- a) Dışa taşınım ile ısı kaybının azaltılmasıyla,
- b) Yüze yin yutuculuğunun artırılmasıyla,
- c) Akışkana ısı geçişinin artırılmasıyla,

faydalanılan güneş enerjisi artırılabilir [5].

Kolektörden dışa doğru kayıplar sıcaklık farkı ve ısı taşınım katsayısına (h_a) bağılı olarak de ğişir. Kolektör ile çevre arasındaki sıcaklık farkı artarsa kayıplar artar. Benzer durumda dış yüzeydeki hava hareketinin artması kayıpları yine artırır. Bu durumun önüne geçebilmek için kolektör dış yüzeyine saydam örtü giydirilir. Kolektör ile saydam örtü arasında boşluk ya da durağan farklı bir gaz kullanılarak kayıp direnci artırılır [5].

2.1.1. Saydam Örtü

Saydam örtünün ısı kayıplarını azaltmak için kullanılır. Özellikle hava hareketlerinin fazla oldu ğu yerlerde taşınım ile ısı kaybı fazladır ve saydam örtü kullanılması ile yutucu yüzey ile çevre arasındaki ısı taşınım katsayısı küçültülür. Böylece faydalı ışı nım artırılır. Saydam örtü ısı kaybı direncini artırdığı gibi yutucu yüzeyin çevrenin olumsuz şartlarından (yağış ve kir gibi) etkilenmesine de mani olur. Tercihen saydam örtülerin kısa dalga boylu güneş ışı nımlarını daha çok geçirebileni, kolektörün alıcı yüzeyi tarafından yayılan uzun dalga boylu ışı nımları geçirme oranı az olanı kullanılır. Bununla birlikte saydam örtünün yüksek sıcaklığa dayanabilmesi, kolay işlenebilmesi veya ucuz temin edilebilmesi istenir. Çevrenin olumsuz şartlarına

karşı; güneşin morötesi ışınımına dayanıklı olması, dolu veya taş gibi çevrenin etkilerine dayanabilecek kadar kuvvetli olması aranan özelliklerdir [5].

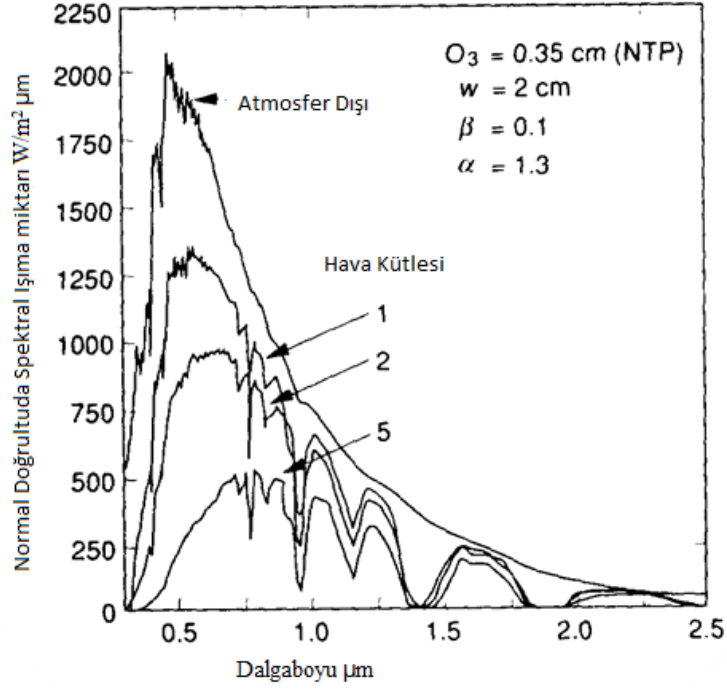
2.1.1.1. Saydam Örtülerin Geçirme Oranı

Yarı saydam veya yarı şeffaf ismiyle anılan cisimler, ışığın bir kısmını yansıtır, bir kısmını yutar ve geri kalan kısmını geçirirler. Işık çeşitli dalga boyunda neşredilir. Belirli bir dalga boyunda üzerine düşen ışık için cismin yansıtma (ρ), yutma (α) ve geçirme (τ) oranları toplamı bire eşittir.

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (2.1)$$

Aynı bağıntı ışınım içinde geçerlidir. Aslında bu eşitlik ışınımın belirli dalga boyu aralığında gerçekleşir.

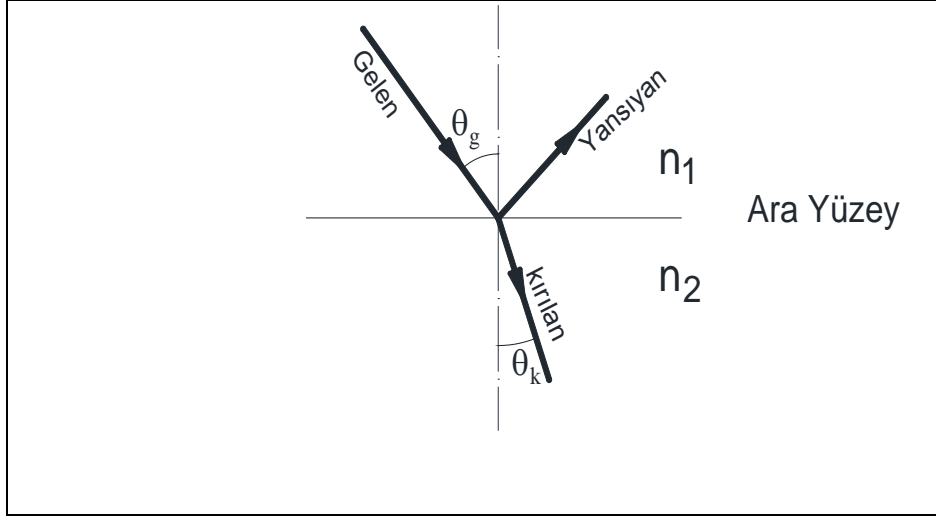
Güneş ışınımı ve kolektörün ışınımı dalga boyları birbirinden farklıdır. Güneş ışınımı kısa dalga (0,3 - 3,0 μm) boylu, kolektör ışınımı ise uzun dalga (3- 50 μm) boyludur. Gerçekte saydam örtülerin güneş ışınımına ve kolektör ışınımına tepkileri farklıdır. Fakat Şekil 2.2' de görüldüğü gibi bütün dalga boylarında gelen güneş ışınımının büyük kısmı 0,3 ile 3,0 μm dalga boyu aralıklarında geldiğinden, saydam örtünün geçirme, yutma ve yansıtma özelliklerinin dalga boyundan etkilenmediği düşünülebilir [5].



Şekil 2.2 Hava kütlesi 0, 1, 2 ve 5 için güneş ışınımının spektral dağılımı [1]

2.1.1.2. Ara Yüzeylerin Yansıtma Oranı

Kırma indisi (n_1) olan alanda ilerleyen ışınım (elektromagnetik dalga) kırma indisi (n_2) olan bir alanla ara yüzeyine geldiği zaman bir kısmı (n_2) kırma indisli alana geçerken, diğer kısım geliş açısına bağlı olarak yansıtılır. Ara yüzeye gelen ışınımın geliş açısı (θ_g) ve kırılım açısı (θ_k) dersek, ayrılan ışınımın yatay ve dik bileşenlerinin yansıtılma oranları, Fresnel Eşitliğine göre, aşağıdaki gibi yazılabilir [5]:



Şekil 2.3 Işınının ara yüzeyde kırılması ve yansıması

$$r_{\text{dik}} = \frac{\sin^2(\theta_g - \theta_k)}{\sin^2(\theta_g + \theta_k)} \quad (2.2a)$$

$$r_{\text{yatay}} = \frac{\tan^2(\theta_g - \theta_k)}{\tan^2(\theta_g + \theta_k)} \quad (2.2b)$$

Diğer taraftan Snell kırma kanununa göre

$$n = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \theta_g}{\sin \theta_k} \quad (2.3)$$

olmaktadır. Işınım ara yüzeye dik ($\theta_g = 0$) geliyorsa (2.2) ve (2.3) denklemlerinin bir arada çözümü ile,

$$r = r_{\text{dik}} = r_{\text{yatay}} = \left[\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right]^2 \quad (2.4)$$

bulunur. Güneş enerjisi uygulamaları için, ışınının geldiği ortam hava ve havanın kırma indisi $n_1 \approx 1$ olduğundan (2.4) denklemi,

$$r = \left[\frac{n - 1}{n + 1} \right]^2 \quad (2.5)$$

şeklinde yazılabilir. Saydam örtülerin kırma indisleri belli aralıklarda ($n_1 \approx 1,3- 1,6$) değişir. Pencere camlarının kırma indisleri 1,52 dir ve diğer bazı saydam örtü malzemelerinin kırma indisleri Çizelge 2.1’ de görülmektedir.

Çizelge 2.1 Bazı saydam maddelerin kırma indisleri [5]

Malzeme	n	β [m^{-1}]
Pencere camı	1,5 - 1,53	15 - 30
Su beyazı cam	1,5	4
Teflon (Florlu Etilen Propilen, FEP)	1,34	59
Tedlar (Polivinil Florid, PVF)	1,45	140
Mylar (Polietilen Tereftalat, PET)	1,64	205

Pencere camının saydam örtü olarak kullanılması durumunda, normal doğrultuda ($\theta_g = 0$) gelen güneş ışınımının % 4,4’ ü (2.5 denkleminde) ara yüzeyde yansıtılmaktadır [5].

2.1.1.3. Belirli bir Mesafede Işınımın Yutulmuş Oranı

Düzenli dağılımı olan ortamın ışınımı azaltma katsayısı β ve ışınımın geçtiği mesafe L ise, Bouger-Lambert ifadesine (Beer Kanunu) göre, belirli bir dalga boyunda, ışınımın yutulmuş oranı;

$$a = 1 - e^{-\beta L} \quad (2.6)$$

dır. Buna göre, belirli bir mesafede ışınımın geçirilen kısmı ise;

$$\tau = e^{-\beta L} \quad (2.7)$$

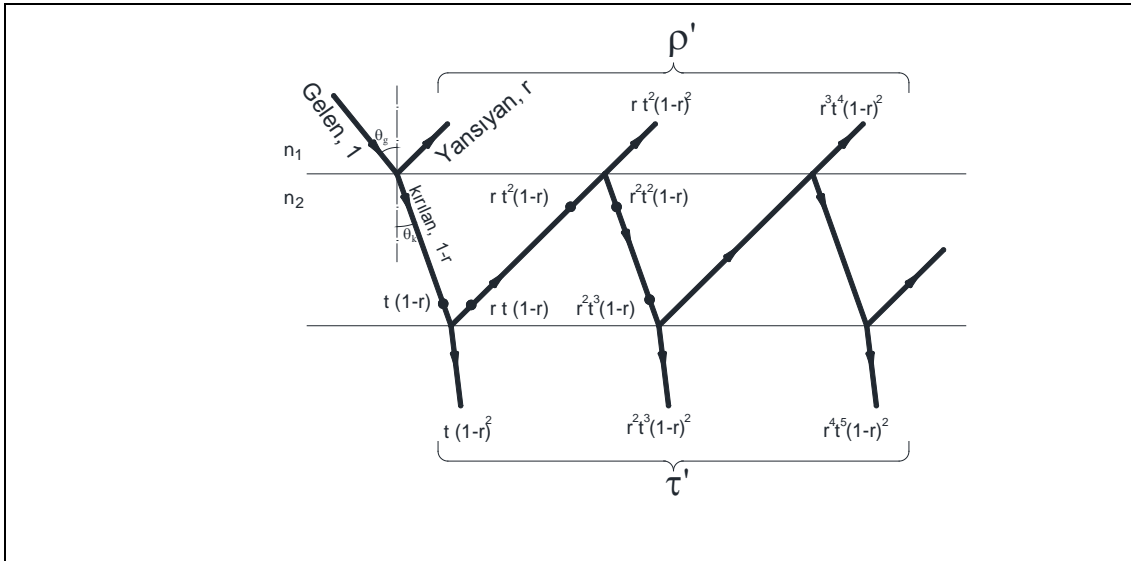
olmaktadır. Toplayıcılarda kullanılan bir tabaka saydam örtünün kalınlığı (δ), saydam örtüde ışınımın kırılma açısı (θ_k) olmak üzere ışınımın bir tabaka saydam örtüde geçtiği mesafe;

$$L = \frac{\delta}{\cos \theta_k} \quad (2.8)$$

dır. Işınının geliş açısı büyüdükçe, örtünün kalınlığı ve azaltma katsayısı arttıkça yutma oranı artmakta, geçirme oranı azalmaktadır. Camların azaltma katsayısı, yapısındaki demir oksit (Fe_2O_3) miktarı arttıkça artmakta, geçirme oranı küçülmektedir. Plastiklerin azaltma katsayıları camların azaltma katsayısından daha büyüktür [5].

2.1.1.4. Yutma, Yansıtma ve Geçirme Oranı

Yarı saydam örtülerde gelen güneş ışınının kırılan kısmı saydam örtü içerisinde ilerler ve alt yüzeyde bir kısım yeniden yansıtılır, bir kısmı ise geçirilir. Bir tabaka saydam örtü için Şekil 2.3' ten ışınımı izleme metodu ile polarizasyonun bir bileşeni için, yansıtma, geçirme ve yutma oranları [5];



Şekil 2.4 Işınının saydam örtüden geçişi [5]

$$\rho' = r + r t^2 (1-r) + r^3 t^4 (1-r)^2 + \dots = r + r \frac{(1-r)^2 t^2}{1-r^2 t^2} \quad (2.9a)$$

$$\tau' = (1-r)^2 t + r^2 (1-r)^2 t^3 + r^4 t^5 (1-r)^2 + \dots = \frac{(1-r)^2 t}{1-r^2 t^2} \quad (2.9b)$$

$$\alpha' = 1 - \rho' - \tau' = \frac{(1-r)(1-t)}{1-rt} \quad (2.9c)$$

yazılabilir. Burada; r , ara yüzeyin, polarizasyonun dik ya da yatay bileşenini yansıtma oranını (r_{dk} veya r_{yt}) ve t belli bir mesafeden ışınının geçirilen oranı olup, sıra ile (denklem 2.2) ve (denklem 2.7)' de verilmiştir. Bu denklemler ilk defa Stokes tarafından elde edildiğinden, Stokes denklemleri olarak da bilinir. Toplam yansıtma, yutma ve geçirme oranları, polarizasyonun yatay ve dik bileşenlerinin, yansıtılma, yutulma ve geçirilme oranlarının ortalaması olup,

$$\rho = \frac{1}{2}[\rho'(r_{dik}, t) + \rho'(r_{yatay}, t)] = \frac{1}{2}(\rho_{dik} + \rho_{yatay}) \quad (2.10a)$$

$$\tau = \frac{1}{2}[\tau'(r_{dik}, t) + \tau'(r_{yatay}, t)] = \frac{1}{2}(\tau_{dik} + \tau_{yatay}) \quad (2.10b)$$

$$\alpha = \frac{1}{2}[\alpha'(r_{dik}, t) + \alpha'(r_{yatay}, t)] = \frac{1}{2}(\alpha_{dik} + \alpha_{yatay}) \quad (2.10c)$$

olarak hesaplanmaktadır.

Normal doğrultuda gelen ışınım için $r_{dik} = r_{yt} = r$ olacağından $\rho = \rho'$, $\tau = \tau'$ ve $\alpha = \alpha'$ elde edilir. Saydam örtü içindeki yutulma ihmal edilirse, $\alpha' = 0$ olur ve

$$\rho' = \frac{2r}{1+r} \quad (2.11a)$$

$$\tau' = \frac{(1-r)}{(1+r)} \quad (2.11b)$$

bulunur. Yutulmanın ihmal edildiği N adet saydam örtü kullanılması durumunda ise

$$\rho' = \frac{2Nr}{1+(2N-1)r} \quad (2.12a)$$

$$\tau' = \frac{(1-r)}{1+(2N-1)r} = 1 - \rho' \quad (2.12b)$$

yazılabilir.

Örneğin; kırma indisi $n = 1,526$ olan tek ve iki katlı saydam örtü üzerine güneş ışınımının geliş açısı 0° için yutulma ihmal edilerek yansıtma ve geçirme oranları şöyledir:

Denklem (2.4)' den;

$$r = r_{\text{dik}} = r_{\text{yatay}} = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2 = \left(\frac{1,526 - 1}{1,526 + 1} \right)^2 = 0,0434$$

Denklem (2.11)' den tek saydam örtü için;

$$\rho = \rho_{\text{dik}} = \rho_{\text{yatay}} = \frac{2r}{1+r} = \frac{2 \cdot 0,0434}{1+0,0434} = 0,083$$

$$\tau = \tau_{\text{dik}} = \tau_{\text{yatay}} = \frac{(1-r)}{1+r} = \frac{1-0,0434}{1+0,0434} = 0,917$$

Denklem 2.12' den çift saydam örtü için;

$$\rho = \rho_{\text{dik}} = \rho_{\text{yatay}} = \frac{2Nr}{1+(2N-1)r} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 0,0434}{1+(2 \cdot 2 - 1) \cdot 0,0434} = 0,154$$

$$\tau = \tau_{\text{dik}} = \tau_{\text{yatay}} = \frac{(1-r)}{1+(2N-1)r} = \frac{1-0,0434}{1+(2 \cdot 2 - 1) \cdot 0,0434} = 0,846$$

Örtü sayısı arttıkça ve geliş açısı büyüdükçe yansıtma artmakta dolayısıyla geçirme oranı küçülmektedir. Normal doğrultuda gelen ışının tek tabakalı cam örtüde %8,3 ve iki tabakalıda %15,4 ü yansıtılmaktadır.

Yutulmanın ihmal edilmediği durum için, birden fazla saydam örtünün yansıtma, yutma ve geçirme oranları, bir katman saydam örtü için hesaplanan özelliklerden yararlanılarak bulunabilmektedir. Aynı özellikteki (kırma ve yutma bakımından) j adet saydam örtü için yansıtma, yutma ve geçirme oranları, sırası ile;

$$\rho'_j = \rho'_1 + \frac{\rho'_{j-1} \tau_1'^2}{1 - \rho'_1 - \rho'_{j-1}} \quad (2.13a)$$

$$\tau'_j = \frac{\tau_1' \tau'_{j-1}}{1 - \rho'_1 - \rho'_{j-1}} \quad (2.13b)$$

$$\alpha'_j = 1 - \rho'_j - \tau'_j \quad (2.13c)$$

olmaktadır. Örneğin, iki tabaka saydam örtü için,

$$\rho'_2 = \rho'_1 + \frac{\rho'_1 \tau_1'^2}{1 - \rho'_1 - \rho'_1} \quad (2.14a)$$

$$\tau'_2 = \frac{\tau_1' \tau_1'}{1 - \rho'_1 - \rho'_1} \quad (2.14b)$$

dir. Burada, ρ'_1 , τ_1' ve α'_1 değerleri bir tabaka saydam örtü özellikleri olup (2.10)

denklemlerinden hesaplanır.

Diğer bir örnek hesaplama için; her birinin kalınlığı 2 mm ve azaltma katsayısı 30 (1/m) olan pencere camı iki tabaka camdan yapılan bir saydam örtü üzerine güneş ışınımının geliş açısının 0° olması halinde yutma, geçirme ve yansıtma oranları şöyledir:

$$r = r_{\text{dik}} = r_{\text{yatay}} = 0,0434$$

(2.7) ve (2.8) denklemlerinden;

$$\tau = e^{-\beta L} = e^{-(0,002 \cdot 30 / \cos 0)} = 0,933$$

(2.9) denklemlerinden;

$$\rho_1 = 0,0434 + 0,0434 \frac{(1 - 0,0434)^2 \cdot 0,933^2}{1 - 0,0434^2 \cdot 0,933^2} = 0,07803$$

$$\tau_1 = \frac{(1 - 0,0434)^2 \cdot 0,933}{1 - (0,0434 \cdot 0,933)^2} = 0,855$$

$$\alpha_1 = 1 - \rho' - \tau' = 1 - 0,07803 - 0,855 = 0,067$$

İki tabaka örtü için (2.13) denklemlerinden;

$$\rho_2 = 0,07803 + \frac{0,07803 \cdot 0,855^2}{1 - 0,07803 \cdot 0,07803} = 0,135$$

$$\tau_2 = \frac{0,855 \cdot 0,855}{1 - 0,07803 \cdot 0,07803} = 0,735$$

$$\alpha_2 = 1 - 0,735 - 0,135 = 0,1288$$

bulunur. İki tabaka camın yansıtma oranı ve geçirme oranı mukayese edilirse, yutulmanın göz önüne alındığı halde yansıtma oranı ve geçirme oranı daha küçüktür. Yutulmanın ihmal edildiği hal için yansıtma ve geçirme oranları sırasıyla 0,154 ve 0,846 iken yutulma ihmal edilmeden 0,135 ve 0,735 olmaktadır.

2.1.1.5. Saydam Örtü Malzemeleri

Uygulamada saydam örtü olarak genelde, cam veya plastik esaslı şeffaf malzemeler tercih edilir. Cam; 0,3 ile 3,0 µm arası dalga boyundaki güneş ışınımının büyük kısmını geçirir ve alıcı yüzey tarafından neşredilen uzun dalga boylu (3,0 – 5,0 µm) yayılımları geçirmez. Güneşin olumsuz etkilerine dayanıklı oldukları gibi orta sıcaklıklara kadar çalışabilmektedir. Fakat kırılma yapıları camların taşınmasını, montajını zorlaştırır. Aynı zamanda işlenmesi zor malzeme olan camlar şekil verirken ve hassas boyutlara ayarlanırken oldukça zor işlenir. Metaller ile birleştirilirken contalar kullanılarak sızdırmazlık sağlanması gerekmektedir. Conta kullanılmadığında hava akışı nedeniyle toplayıcı boru üzerinde kayıplara yol açan ısı geçiş katsayısı artar.

Cam yüzeylerinin yansıtma oranı azaltılarak geçirgenlikleri artırılır. Cam yüzeyleri yansıtmayı önleyici (antireflection) maddeler ile kaplanır. Fotoğraf makinesi kameralarına ve teleskop merceğine sürülen metalik floridlerin kırma indisleri ($n = 1,38$) ve dolayısıyla yansıtma oranları düşüktür. Yansıtmayı tek tabakalı camlarda % 5,6 ve çift tabakalı camlarda % 9 oranında azaltmaktadır. İnce bir film şeklinde yansıtma önleyici maddelerle kaplanan camların spektral yansıtma oranı, görülen ışınım bölgesinde sifira yaklaşmaktadır.

Güneş uygulamalarında kullanılan diğer bir örtü plastik esaslı olanlarıdır. Bu örtüler güneş ışınımının kısa dalga boylarında olan kısmını geçirme oranı yüksektir. Fakat plastik örtülerin çoğu güneş ışınımının uzun dalga boyunda olan kısmını da yüksek oranda geçirdiklerinden yutucu yüzey yayılımı dışarı çıkar, kayıp artar. Buna karşı plastik esaslı örtüler genellikle ucuzdur ve kolay şekillendirilir. Montaj sırasında metal ile uyumlu olduğundan sızdırmazlık daha kolay sağlanır. Buna karşı yüksek sıcaklıklarda deforme olurlar ve morötesi güneş ışınımına dayanıklı

değillerdir. Teflon ve kapton gibi plastik esaslı saydam malzemeler yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır ama pahalıdır. Bazı plastik esaslı saydam malzemelerin ve değişik cam tiplerinin özellikleri Çizelge 2.2' de görülmektedir.

Çizelge 2.2 Bazı saydam örtülerin özellikleri [5]

Saydam örtü malzemeleri	Et Kalınlığı (mm)	Kırma indisi	Normal geçirme oranı		Dayanabildiği sıcaklık (C)
			Güneş ışınımı (0.2-4.0 µm)	Yayımlanan ışınım (3.0-50 µm)	
Leksan	3,200	1,586	0,730	0,020	120,00- 130,00
Akrilic	3,200	1,490	0,800	0,020	80,00- 90,00
Teflon, PVF	0,130	1,340	0,900	0,260	200,00
Tedlar, PVF	0,100	1,450	0,880	0,210	110,00
Miylar	0,130	1,650	0,800	0,180	150,00
Sunlite	0,640	1,540	0,750	0,080	90,00
Düz Cam	3,200	1,520	0,790	0,020	730,00
Temperli Cam	3,200	1,520	0,790	0,020	230,00- 260,00
Su Beyazı şeffaf Cam	3,200	1,500	0,920	0,020	200,00

2.1.2. Yutucu Yüzey

Toplayıcılarda güneş ışınımından elde edilen ısıyı termal akışkana aktaran bölümdür. Yutucu yüzeyden aranan özellik gelen güneş ışınımını mümkün olduğunca yutabilmesi ve yuttuğu ışınımı mümkün olduğunca az neşretmesidir, Işınım ile elde ettiği ısıyı akışkana aktarabilmesi için ise ısı iletim katsayısının yüksek olması istenir. Isı geçişinin hızlı ve kayıpsız olması için levha et kalınlıkları ince yapılır.

Yutucu yüzey genellikle metal olduğundan geçirme oranından bahsedilmez, ışınımın yutma ve yansıtma oranlarından bahsedilebilir. Yani belirli dalga boyunda yansıtma ve yutma oranları toplamı birdir. Aynı zamanda Kirshoff kanunundan yola çıkarak denge halinde, belirli bir dalga boyunda, yutma ve yayma oranları eşittir denilir. Buna rağmen, genel olarak, güneş toplayıcılarında kullanılan bir yüzeyin ışınım yutma oranından bahsedilirken, güneş ışınımı yutma oranı düşünülür. Aynı şekilde ışınım neşretme (yayma) oranından bahsedilirken de uzun dalga boylu ışınım yayma oranı kastedilir.

Kolektörlerde yüzeyin yutuculuğunu artırmak için levhalar koyu renkli tercihen siyah boya ile boyanır. Siyah boyaların ışınım yutma oranı yüksektir. Ancak ışınım yayma oranları da yutma oranları gibi büyüktür. Siyah boyalı yüzeyli kolektörün normal doğrultudaki güneş ışınımını yutma ve yüzeyden yayma oranları 0,90 – 0,95 civarındadır. Çizelge 2.3’ de bazı malzemelerin yutma ve yayma oranları görülmektedir.

Çizelge 2.3 Bazı yüzeylerin güneş ışınımı yutma (α) ve ısı ışınım yayma (ϵ) oranları [5]

Malzeme	α	ϵ	α/ϵ
Beyaz sıva	0,07	0,91	0,08
Kar (yeni yağmış)	0,13	0,82	0,16
Buz	0,31	0,96	0,32
Siyah boya (cilalı)	0,90	0,90	1
Grafit	0,78	0,41	1,90
Galvanizli elik, oksitlenmiş	0,80	0,28	2,86
Krom	0,49	0,08	6,13
Parlatılmış inko	0,46	0,02	23,0

2.1.2.1. Seçici Yüzey

Opak yada fiziksel yansıma gerçekleştirilmeyen ve üzerine gelen ışınımın tümünü aç ve dalga boyu gözetmeden yutan cisme siyah cisim denir. Aynı zamanda siyah cisim gerçek bir yayıcıdır. Kolektör için aranılan en ideal yutucu yüzey, siyah cismin yutma özelliğine sahip olması istenir. Gelen ışınım kısa dalga boylu olduğu ve gelen ışınımın tamamına yakın kısmını yutması, yansıyan ışınımın uzun dalga boylu olduğundan yansıyan ışınımı yayma özelliği çok daha az olan yüzeyler kolektörler için aranır. Bu tür yüzeylere seçici (selektif) yüzey denir. Bu yüzeylerin yutma oranının (α), ısıt ışınım yayma oranına (ϵ) oranı (α / ϵ) yüzeyin seçiciliği hakkında bilgi verir. Ancak bu oranın büyüklüğü yüzeyin sair malzemelere göre iyi olduğu anlamına gelmez. Uygulamada yayma oranı küçüldükçe yutma oranı da küçülür. Genelde seçici yüzeylerde α / ϵ oranı dörtten büyüktür.

Kolektörlerde seçici yüzeyler püskürtme, elektro kaplama, veya kimyasal banyo ile metotlarından biriyle yapılır. Tabor, galvanizli çelik üzerine siyah nikel ve bakır ile seçici yüzeyi ilk defa 1954 yılında yapmıştır. Tablo 2.4' de bir kısmı verilen çok sayıda seçici yüzey sonradan elde edilmiştir.

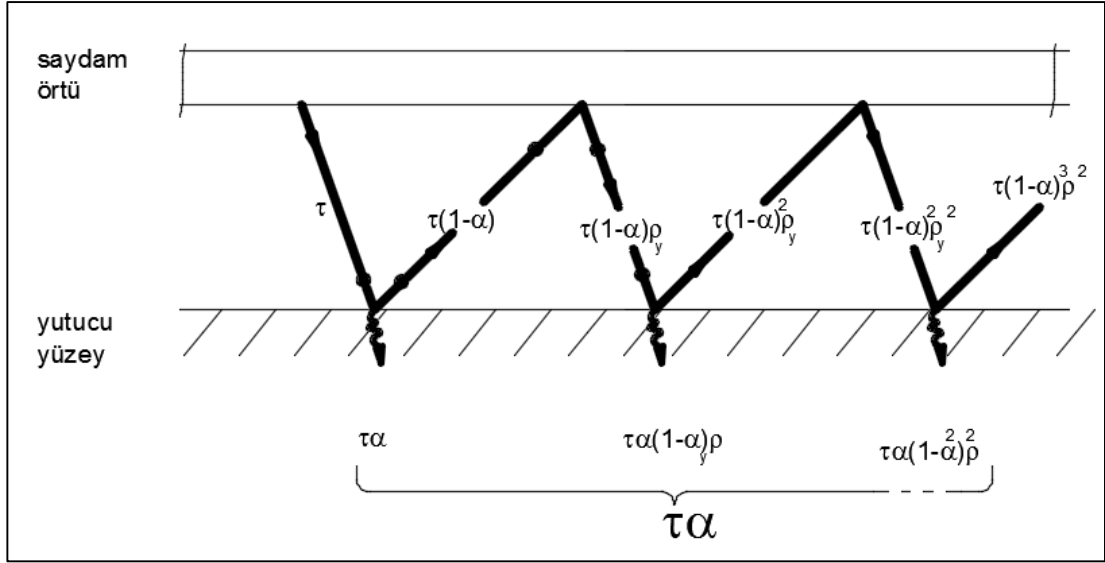
Pratikte daha çok siyah nikel ve siyah krom kaplamalar yapılmaktadır. Çelik veya bakırın üzerine yapılan krom kaplama ile elde edilen seçici yüzeylerin sıcaklığa ve neme karşı dirençleri daha iyi olmaktadır. Bu sebeple genellikle ideal seçici olarak krom kaplama gösterilmektedir [5].

Çizelge 2.4 Bazı seçici yüzeyler ve özellikleri [5]

Kaplama	Alt tabaka	α	ε	α / ε	Kaynak
Nikel	Galvanizli çelik	0,93	0,08	13,6	Gogna ve Chopra 1979
Kobalt	Galvanizli çelik	0,91	0,12	7,06	Choudhury-Sehgal 1982
Krom	Çelik	0,95	0,16	5,9	Kreith- Kreider 1978
Demir oksit	Çelik	0,83	0,06	13,8	Van der Leij 1978
Kobalt	Alüminyum	0,92	0,13	7,1	Choudhury-Sehgal 1982
Bakır oksit	Alüminyum	0,93	0,11	8,5	Hottel ve Unger 1959
Kurşun sülfat	Alüminyum	0,89	0,20	4,5	Williams ve diğ. 1963
Nikel	Çinko kaplı Al,	0,94	0,10	9,4	Gogna ve Chopra 1979
Krom	Çinko	0,91	0,08	11,4	Van der Leij 1978
Çinko oksit	Çinko	0,95	0,08	11,9	Van der Leij 1978
Krom	Bakır	0,92	0,08	11,5	Driver ve diğ. 1977
Kobalt oksit	Nikel	0,87	0,07	12,4	Van der Leij 1978

2.1.2.2. Yutma Geçirme Çarpımı

Saydam örtüyü geçerek, yutucu yüzey üzerine gelen güneş ışınımının büyük bir kısmı yüzey tarafından yutulurken, bir kısmı yansıtılır. Yansıtılan ışınım, saydam örtünün alt kısmına gelir ve bir kısmı geçerken bir kısmı yeniden levhaya yansıtılır ve böylece devam eder. Şekil 2.5' den levha tarafından yutulan toplam ışınım miktarı elde edilir.



Şekil 2.5 Yutucu yüzeyde güneş ışınımının yutulması

$$(\tau \alpha) = \tau \alpha \sum_{n=0}^{\infty} [(1-\alpha)\rho_y]^n = \frac{\tau \alpha}{1-(1-\alpha)\rho_y} \quad (2.15)$$

Burada; $\tau \alpha$ değerine “yutma geçirme çarpımı” denilmektedir ve (α) yüzeyin güneş ışınımını açısız yutma oranı, ρ_y ise saydam örtünün levhadan yansıyan ışınımı yansıtma oranıdır.

Yutucu yüzeyle saydam örtünün birbirine paralel Çizelge 2.5’ de verilmiştir. Yüzeylerin yutma oranı (α) ise Çizelge 2.3 ve 2.4’ ten alınabilir.

Çizelge 2.5 Camların Levhanın Yansıttığı Işınımı Yansıtma Oranı

Cam sayısı	1	2	3	4
Düşük Fe ₂ O ₃ li camlar (<%0,05)	0,154	0,233	0,28	0,311
Pencere camı	0,143	0,202	0,230	0,244

Toplam yutma geçirme oranı, toplayıcı üzerine gelen ışınımın geliş açısından başka direkt ve yayılı ışınım oranlarına da bağlıdır. Toplayıcı yutucu yüzeyi tarafından yutulan ışınım miktarının toplayıcı üzerine gelen ışınım miktarına oranı

“toplam yutma geçirme çarpımı” olarak tarif edilir. Toplayıcıda yutulan ışınım miktarı (I_{yu}) ve toplayıcı üzerine gelen ışınım şiddeti (I_e) olmak üzere;

$$(\tau \alpha) = \frac{I_{yu}}{I_e} \quad (2.16)$$

yazılabilir. Diğer taraftan (d), (y) ve (ya) indisleri sıra ile direkt, yayılı ve yansıyan büyüklükleri belirtmek üzere, yutulan ışınım miktarı;

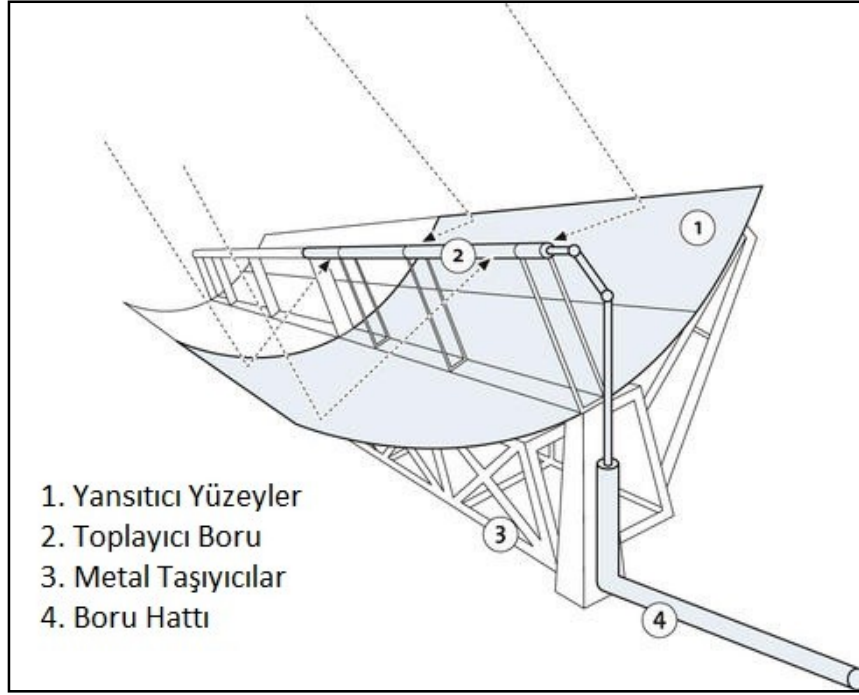
$$I_{yu} = (\tau \alpha)_d I_{ed} + (\tau \alpha)_y I_{ey} + (\tau \alpha)_{ya} I_{ya} \quad (2.17)$$

şeklindedir [5].

2.2. Parabolik Oluk Kollektörleri

Üzerine düşen güneş ışınımının mümkün olduğu kadar büyük bir kısmından faydalanabilmek için güneş toplayıcıları kullanılmaktadır. Düz toplayıcıların yanında yoğunlaştırıcı toplayıcılar uygulamada önemli yerlere sahip olup, yoğunlaştırıcı sistemlerin içerisinde yer alan parabolik oluk kolektörü genel prensipleri ve geometrisi anlatılacaktır.

Parabolik oluk tipi güneş kolektörleri, güneşten yansıtıcı yüzey (reflektör) olan parabolik yüzeye gelen ışınları sistemin odağında yer alan ve eksen boyunca uzanan toplayıcı boruya yoğunlaştırma yapan sistemlerdir, Şekil 2.6’ da parabolik oluk kolektörünün yapısı görülmektedir:



Şekil 2.6 Parabolik oluk güneş kollektörü yapısı [15]

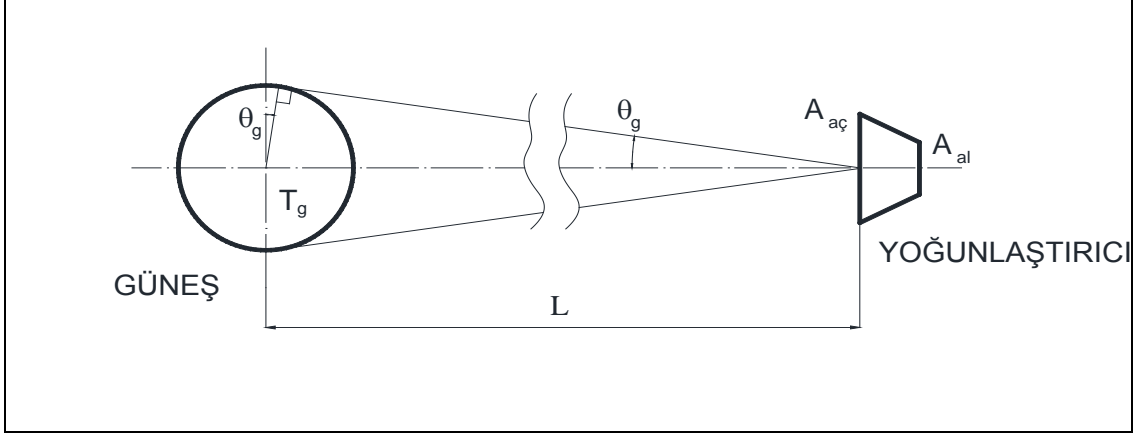
Bu tür sistemlerde güneş ışınlarının gün boyunca takip edilmesi için “takip (tracking) sistemi” gereklidir [5].

Toplayıcıda güneş ışınlarının düştüğü net alana “açıklık (aperture) alanı” ve güneş ışınımının yutularak diğer bir enerji şekline dönüştürüldüğü yüzeye “alıcı yüzey (receiver)” denilmektedir. Işınım alıcı yüzeye gelmeden önce optik olarak yoğunlaştırılır ve böylece açıklık alanından daha küçük bir alıcı yüzey yeterlidir.

Güneş ışınımı yoğunlaştıran sistemlerde en önemli kavramlardan birisi “yoğunlaştırma oranı”dır. Yoğunlaştırma oranı (YO), açıklık alanı ($A_{aç}$)’nin alıcı yüzey alanı (A_{al})’ye oranı şeklinde tarif edilir.

$$YO = \frac{A_{aç}}{A_{al}} \quad (2.18)$$

Yoğunlaştırma oranının, bir üst sınırı vardır. En yüksek yoğunlaştırma oranı Şekil 2.7' de görüldüğü gibi, güneş ve alıcı yüzey arasında ışınım ile ısı geçişinden elde edilir.



Şekil 2.7 Şematik olarak yoğunlaştırıcı ile L mesafedeki güneş [5]

Güneşten alıcı yüzeye gelen ışınım;

$$Q = A_g \sigma T_g^4 F_{g-aç} = A_{ac} \sigma T_g^4 F_{aç-g} \quad (2.19)$$

ve mükemmel yayınlıyıcı bir alıcı yüzeyden güneşe ulaşan ışınım;

$$Q = A_{al} \sigma T_{al}^4 F_{al-g} \quad (2.20)$$

olmaktadır. Burada (g) indisi güneş, (aç) açıklık ve (al) alıcı yüzeye ilgili alan ve özellikleri ve F şekil faktörünü belirtmektedir. Termodinamik denge halinde alıcı yüzey sıcaklığı güneş sıcaklığına eşit olduğunda ışınım ile ısı geçişi sıfır olacaktır ve (2.18) ve (2.19) denklemlerinden;

$$A_{al} \sigma T_g^4 F_{al-g} - A_{ac} \sigma T_g^4 F_{aç-g} = 0 \quad (2.19a)$$

$$YO = \frac{A_{aç}}{A_{al}} = \frac{F_{al-g}}{F_{aç-g}} \quad (2.18a)$$

elde edilir. Alıcı yüzeyden terk eden ışınımdan F_{al-g} kısmı veya tamamı güneşe ulaşabilir. O halde;

$$YO \leq YO_{\max} = \frac{1}{F_{aç-g}} \quad (2.21)$$

olur.

Parabolik yoğunlaştırıcıda $F_{aç-g} = \sin \theta_g$ dir. Güneşin dünya üzerinden görünen açısı $32'$ ($\approx 0,5^\circ$) dir. θ_g ' ye "yarım görünüm açısı" denir. Yerine yazılırsa;

$$YO \leq YO_{\max} = \frac{1}{\sin \theta_g} \approx 200$$

olur. Böylece yoğunlaştırma oranı 200 kadar olur. Üç boyutlu toplayıcılarda (noktasal toplayıcılarda) bu oran 40.000 mertebelerindedir [5].

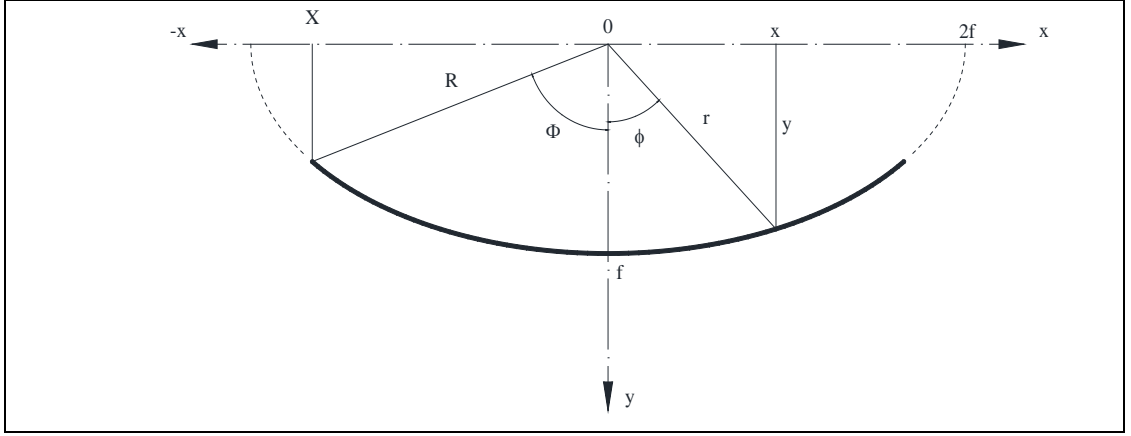
2.2.1. Parabolik Oluk Kolektörleri Optik Analizi

Parabolik kolektörlerde ışınlar bir doğru (eksen) üzerinde yoğunlaştırılır. Alıcı yüzey bu eksene konulur. Parabolik yansıtıcı üzerine düşen ışınları odak eksenine doğru yansıtır. Şekil 2.8' de prensip şeması görülmektedir.

Kartezyen ve silindirik koordinatlarda yansıtıcı yüzey aşağıdaki denklemler ile ifade edilir;

$$\sin \phi = \frac{x}{r}, \quad r = (x^2 + y^2)^{1/2} \quad (2.22)$$

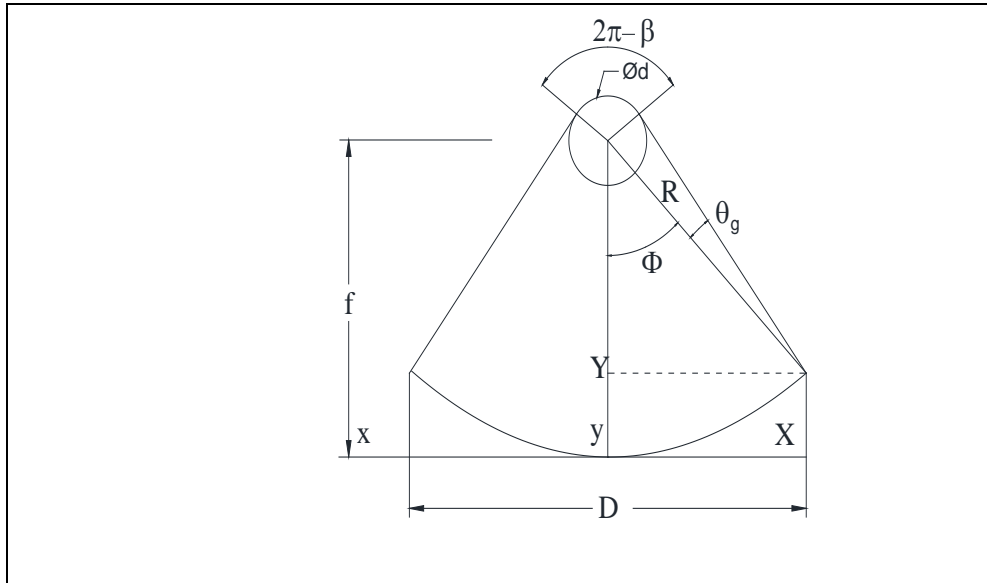
$$y = f - \frac{x^2}{4 \cdot f}, \quad r = \frac{2f}{\sin^2 \phi} (1 - \cos \phi) = \frac{2f}{1 + \cos \phi} = \frac{f}{\cos^2(\phi/2)} \quad (2.23)$$



Şekil 2.8 Parabolik yansıtıcı kesiti

Açıklık alanını bulabilmek için gerekli değerler X veya R ve Φ ile gösterilirse aralarındaki bağıntı ile $(2X / f = a)$ ' ya "izafi açıklık" denilir.

Şekil 2.9 parabolik yansıtıcı ile silindirik alıcı yüzeyi göstermektedir.



Şekil 2.9 Parabolik yansıtıcı ve silindirik alıcı

Buradan yoğunlaştırma oranı [8];

$$YO = \frac{D}{\pi d} \quad (2.24)$$

yazılabilir. Gerçekte ışınım silindir alıcı yüzeyin tamamına değil β açısı içinde kalan kısmına yoğunlaşır. Burada;

$$\beta = 2\Phi + (\pi - 2\theta_g)$$

$$D = af = 2X$$

$$d = 2R \sin \theta_g$$

$$X^2 = 4fY$$

$$R^2 = (f - Y)^2 + X^2$$

Denklemlerinden;

$$R = f + Y = f + \frac{X^2}{4f} = \left(1 + \frac{a^2}{16}\right)f \quad (2.25)$$

elde edilir. Böylece denklem 2.14 yardımıyla;

$$YO = \frac{a}{2\pi\left(1 + \frac{a^2}{16}\right)\sin 16'} = \frac{34,2 a}{1 + \frac{a^2}{16}} \quad (2.26)$$

Bu denklemde a ya göre YO' nın maksimum olacağı değer türev alınıp sıfıra eşitlenerek bulunan a = 4 için;

$$YO_{\max} = 68.4$$

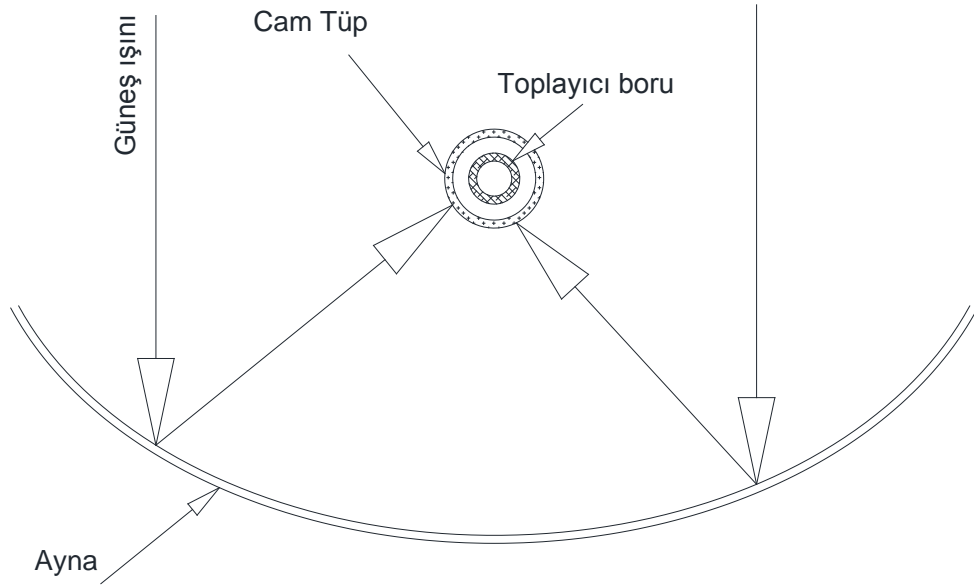
olur.

Toplayıcı boru malzemeleri genellikle alüminyum, bakır ve paslanmaz çelik kullanılır. Bu malzemelerin içinde piyasada en çok bulunanı çeliktir. Bakırın ısı iletim katsayısı yüksek fakat diğer malzemelere göre daha pahalıdır.

Toplayıcı borunun yoğunlaştırılan ışınların büyük bir bölümünün emilmesi istenir. Bu yüzden toplayıcı boru seçici (selektif-selective) malzemelerle kaplanır.

Seçici malzemeler, emiciliği yüksek yansıtıcılığı düşük malzemelerden seçilir. Kısa dalga boylu ışınların tamamına yakını emen, buna karşın uzun dalga boylu ışınları olabildiğince az yayan yüzeyler olarak da tanımlanabilir. Bu malzemeleri kaplama işlemi, püskürtme yöntemi, elektroliz kaplama, kimyasal banyo ile kaplamayla olur [8].

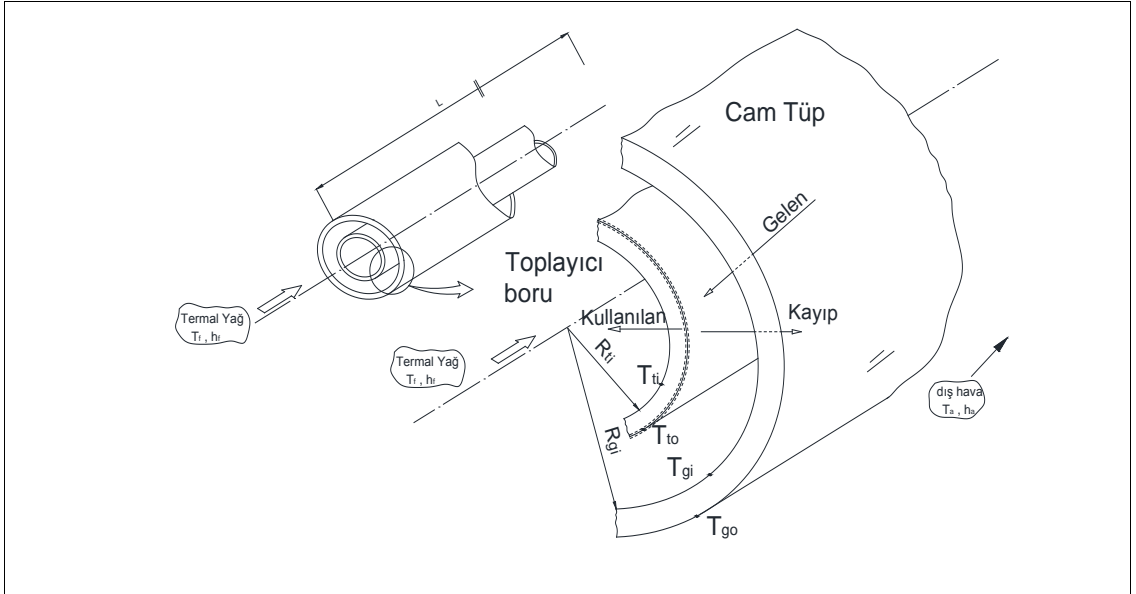
Toplayıcı boruya gelen ışınlar borunun ısınmasına neden olur. Bu durumda boru sıcaklığı çevre ortam sıcaklığından yüksek olur. Oluşan sıcaklık farkından dolayı toplayıcı borudan çevreye ısı transferi gerçekleşmektedir. Dolayısıyla ısı transfer akışkanına daha az enerji aktarılır. Bu ısıl kayıpları engellemek için emici borunun çevresi cam örtüyle kaplanır. Böylece ısıl kayıplar azaltılmış olur.



Şekil 2.10 Parabolik güneş kollektörüne gelen güneş ışınlarının kollektör yapısındaki durumu

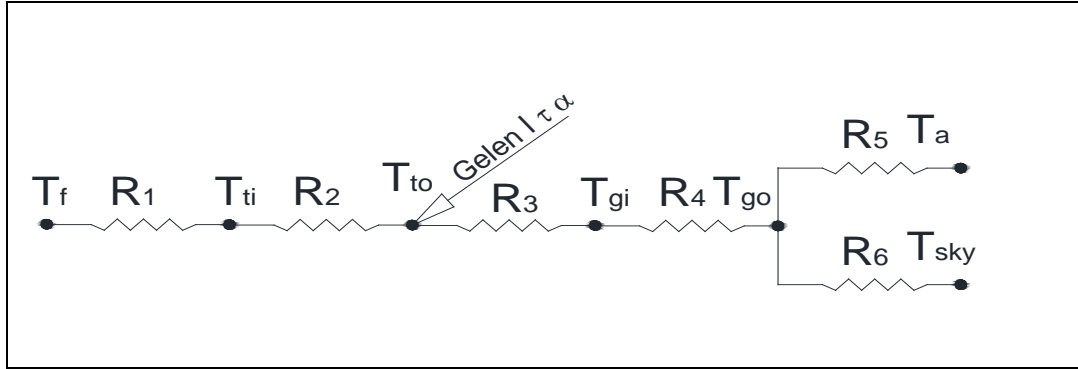
2.3. Parabolik Oluk Kollektörü Isıl Analizi

Parabolik oluk kollektörünün ısıl analizi düz toplayıcılar gibi yapılabilir. Yansıtıcısının parabolik geometride oluşu, daha yüksek sıcaklıklarla çalışılması, toplayıcı yüzeye ışınımın düzgün dağılmaması gibi sebeplerle ısıl hesapları bulmak düz toplayıcılara göre daha karışıktır, fakat benzerdir. Enerji dengesini sağlamak için bütün önemli ısı akılarını göz önüne almak gerekir. Isıl denge denklemleri non-linear hesaplanır ve ardı ardına yaklaşımlarla çözüme gidilir. Espana ve Rodriges 1987 de parabolik kollektörün verimini gösteren bir matematik modeli sundular. Oluşan durumları açıklayabilmek için toplayıcı tüpü açık tüp olarak kabul ettiler [9]. Bu çalışmada bu yaklaşım kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.



Şekil 2.11 Paralel silindirik duvarlardan akışkana ısı geçişi ve eşdeğer ısıl devre

Gelen güneş ışığının açık tüpe doğrudan ulaştığı varsayılırken ısıl direnç diyagramı şu şekilde olur:



Şekil 2.12 Paralel silindirik duvarlardan akışkana ısı geçişi ve eşdeğer ısı devre

Burada gösterilen simgeler;

L : Boru boyunu,

T_f : Akışkan termal yağın sıcaklığını,

h_f : Termal yağın ısı taşınım katsayısını,

R_1 toplayıcı borudan termal yağa ısı taşınım direncini ifade eder ve aşağıdaki gibi gösterilir:

$$R_1 = \frac{1}{2\pi r_{ii} L h_f} \quad (2.27)$$

T_{ii} : Toplayıcı borunun iç yüzey sıcaklığını,

R_2 toplayıcı borunun ısı iletim direncini ifade eder ve aşağıdaki gibi gösterilir:

$$R_2 = \frac{1}{2\pi L k_t} \ln\left(\frac{r_{to}}{r_{ii}}\right) \quad (2.28)$$

T_{to} : Toplayıcı boru dış yüzey sıcaklığını,

R_3 toplayıcı borunun dış yüzeyi ile cam tüp arasındaki vakumlu boşluğun ışınlama ile ısı direncini ifade eder ve aşağıdaki gibi gösterilir:

$$R_3 = \frac{\left[\frac{1}{\varepsilon_t} + \frac{1 - \varepsilon_g}{\varepsilon_g} \left(\frac{r_{to}}{r_{gi}} \right) \right]}{2 \pi L \sigma r_{to} \left[(T_{to}^2 + T_{gi}^2) (T_{to} + T_{gi}) \right]} \quad (2.29)$$

T_{gi} : Cam tüpün iç yüzey sıcaklığını,

R_4 cam tüpün ısı iletim direncini ifade eder ve aşağıdaki gibi gösterilir:

$$R_4 = \frac{1}{2 \pi L k_g} \ln \left(\frac{r_{go}}{r_{gi}} \right) \quad (2.30)$$

T_{go} : Cam tüpün dış yüzey sıcaklığını,

R_5 cam tüpün dış hava ile yaptığı ısı taşınım direncini ifade eder ve aşağıdaki gibi gösterilir:

$$R_5 = \frac{1}{2 \pi r_{go} L h_a} \quad (2.31)$$

T_a : Dış hava sıcaklığını,

R_6 cam tüpün ışınlam ile ısı kaybı direncini,

$$R_6 = \frac{1}{2 \pi \varepsilon \sigma r_{go} L \left[(T_{go}^2 + T_{sky}^2) (T_{sky} + T_{go}) \right]} \quad (2.32)$$

T_{sky} : Dış yüzeylerin sıcaklığını göstermektedir.

Şekil 2.12' den yola çıkılarak enerji dengesi uygulanırsa;

$$E_{gelen} = E_{akışkana\ geçen} + E_{kayıp} \quad (2.33)$$

Yüzeye gelen ışınımın bir kısmı akışkana geçerken bir kısmı yüzeyden çeşitli nedenlerle akışkana geçemez (kayıp). Şekil 2.12' den faydalanılarak enerji ifadeleri şöyle yazılabilir:

Toplayıcı boru yüzeyine gelen ışınım;

$$E_{gelen} = I \alpha \tau A_{to} \quad (2.34)$$

Burada I yüzeye gelen ışınım miktarı, α toplayıcı borunun yutma katsayısı, τ saydam örtünün geçirme oranı, A_{to} absorban borunu yüzey alanıdır.

Akışkana geçen enerji

$$E_{akışkana\ geçen} = \frac{\Delta T}{R_{toplam}} = \frac{T_{to} - T_f}{R_1 + R_2} \quad (2.35)$$

Akışkana geçemeyip yüzeyden taşınım veya ışınlımla kayıp enerji

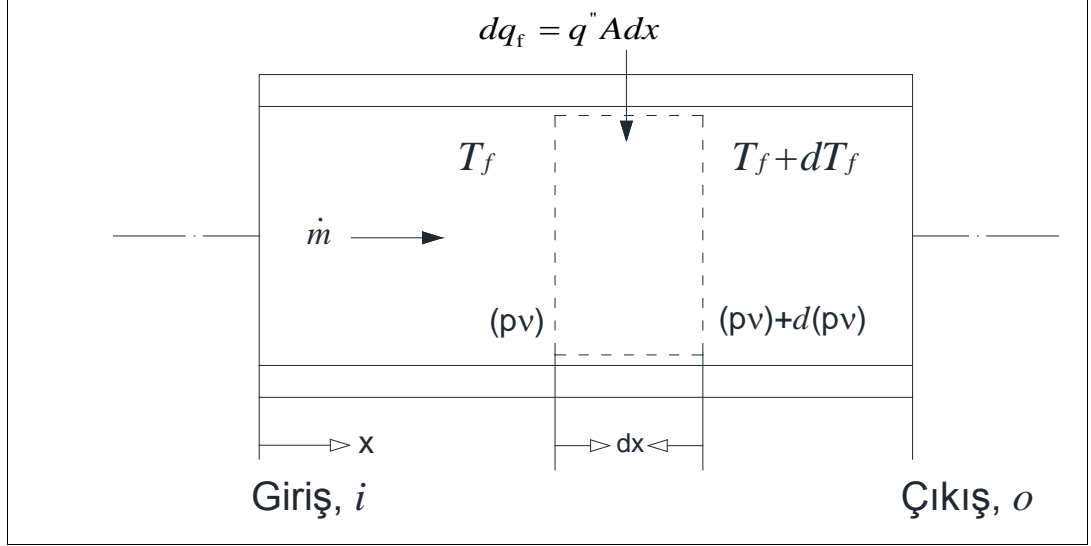
$$E_{kayıp} = \frac{\Delta T}{R_{toplam}} = \frac{T_{to} - T_{sky}}{R_3 + R_4 + (R_5^{-1} + R_6^{-1})^{-1}} \quad (2.36)$$

Denklem 2.34, denklem 2.35, denklem 2.36 birim uzunluk için 2.33 nolu denklemde yerine yazılırsa enerji dengesi aşağıdaki gibi olur;

$$I \alpha \tau \pi d_{to} = \frac{T_{to} - T_f}{R_1 + R_2} + \frac{T_{to} - T_{sky}}{R_3 + R_4 + (R_5^{-1} + R_6^{-1})^{-1}} \quad (2.37)$$

Bu ifade yoğunlaştırıcı parabolik kollektörde enerji dengesi olmakla beraber, yararlı enerji toplayıcı borudan boru boyunca akışkana taşınım ile geçen enerjidir.

Yararlı enerjinin boru boyunca ortalama akışkan sıcaklığını konumla nasıl değiştirdiği, giriş ve çıkış akışkan sıcaklıklarıyla nasıl ilişkili olduğu aşağıda açıklanmıştır [10]:



Şekil 2.13 Toplayıcı boruda iç akış için kontrol hacmi

Akışın kütleli debisi, \dot{m} sabit olsun ve iç yüzeyde taşınım ile ısı geçişi olsun. Eksenel yönde iletim, ayrıca akışkanın kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilsin. Şekil 2.12' deki diferansiyel kontrol hacmine enerji korunumu uygulanırsa ve ortalama sıcaklık tanımı kullanılırsa,

$$dq_f + \dot{m}(c_v T_f + pv) - \left[\dot{m}(c_v T_f + pv) + \dot{m} \frac{d(c_v T_f + pv)}{dx} \right] dx = 0 \quad (2.38)$$

veya

$$dq_f = \dot{m} d(c_v T_f + pv) \quad (2.39)$$

elde edilir.

Başka bir değişle akışkana taşınım ile ısı geçişi, akışkanın ısıl enerjisinde birim zamandaki artış ile akışkanı kontrol hacmi içinden geçirmek için yapılan net işin toplamına eşit olmalıdır. Akışkanın mükemmel gaz olduğu ($pv = RT_f$, $c_p = c_v + R$) varsayılır ve c_p sabit alınırsa denklem 2.39 sadeleşir:

$$dq_f = \dot{m} c_p dT_f \quad (2.40)$$

Bu bağıntı sıkıştırılamaz sıvılar içinde büyük bir doğrulukla kullanılabilir. Bu durumda $c_v = c_p$ ve v çok küçük olduğundan, $d(p,v)$ genellikle $d(c_v, T_f)$ ' den çok küçüktür. Bu nedenle denklem 2.39 yukarıda olduğu gibi yine denklem 2.40' a indirgenir.

Denklem 2.40' ın özel bir biçimi borunun tümündeki koşullarla ilişkilidir. Özellikle denklem 2.40 boru i girişinden, o çıkışına integre edilirse,

$$q_f = \dot{m} c_p (T_{f,o} - T_{f,i}) \quad (2.41)$$

sonucu bulunur. Burada q_f boru için toplam ısı geçiştir. Bu basit toplam enerji dengesi üç önemli ısı değişkenle $(q_f, T_{f,o}, T_{f,i})$ ilgilidir. Boru akış koşulları veya sınır yüzeylerindeki ısı durum dikkate alınmaksızın uygulanan genel bir ifadedir.

Denklem 2.40 diferansiyel elemana taşınımıyla ısı geçişini veren biçime dönüştürülebilir;

$$q_f = \dot{m} c_p \frac{dT_f}{dx} \quad (2.42)$$

Denklem 2.42 akışkana geçen ısı miktarı olduğundan denklem 2.35' de yerine yazılırsa;

$$\dot{m} c_p \frac{dT_f}{dx} = \frac{T_{to} - T_f}{R_1 + R_2} \quad (2.43)$$

şeklinde olur.

Bu eşitlik iki bilinmeyen içerir, T_f ve T_{to} her ikisinde denklem 2.37 ve denklem 2.43' ün birlikte çözülmesiyle bulunabilir.

Sistem için termodinamiğin I. Kanun verimi eşitliği, ısı taşıyıcı akışkana geçen faydalı enerjinin toplayıcı açıklık alanına düşen direkt güneş ışınımına oranı olarak ele alınır ve aşağıdaki gibi yazılır:

$$\eta_I = \frac{E_{fay}}{E_{toplama}} = \frac{\dot{m} c_f [T_{f,i} - T_{f,o}]}{a L I} \quad (2.44)$$

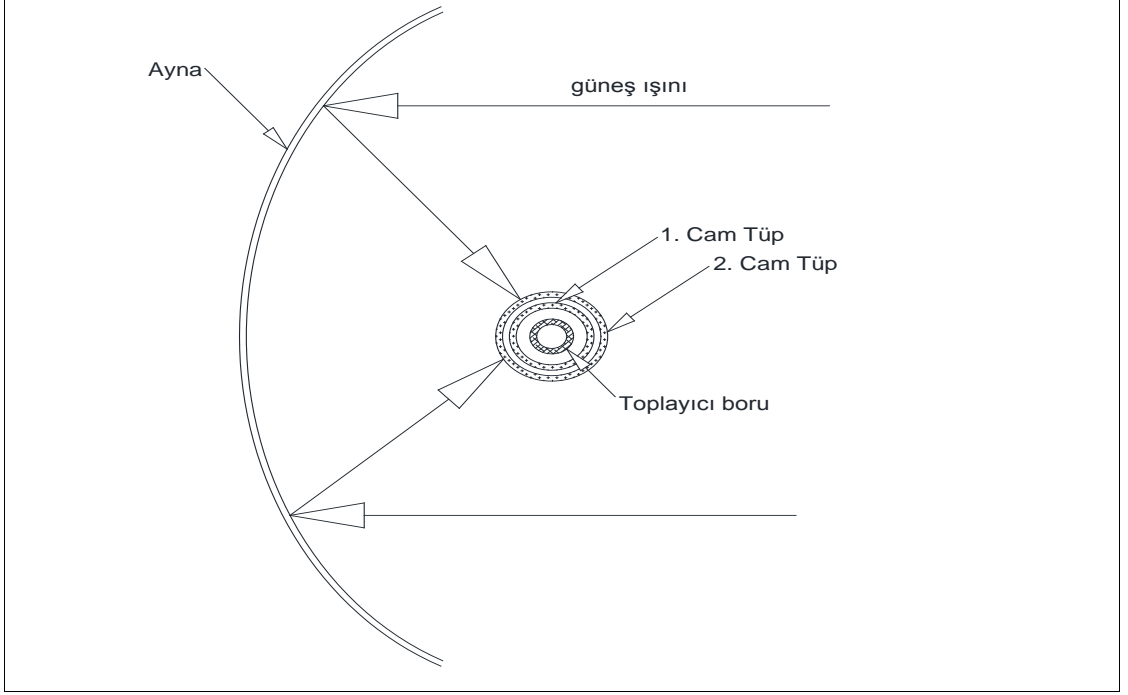
Sistem için termodinamiğin II. Kanun verimi eşitliği, faydalı ekserjinin, parabolik toplayıcının açıklık alanına düşen direkt güneş ışınımının kullanılabilirliğine oranıdır. Burada faydalı ekserji ısı taşıyıcı akışkanın kullanılabilirlik miktarını ifade eder. II. Kanun verimi aşağıdaki gibi yazılır [16]:

$$\eta_{II} = \frac{\dot{m} c_f \left[(T_{f,o} - T_{f,i}) - T_{\text{çev}} \ln \left(\frac{T_{f,o}}{T_{f,i}} \right) \right]}{a L I_{yemel} \left[1 - \frac{4T_{\text{çev}}}{3T_s} \right]} \quad (2.45)$$

Burada T_s , güneşin efektif siyah cisim sıcaklığı olup bu çalışmada 5762 K değerinde alınmıştır [13].

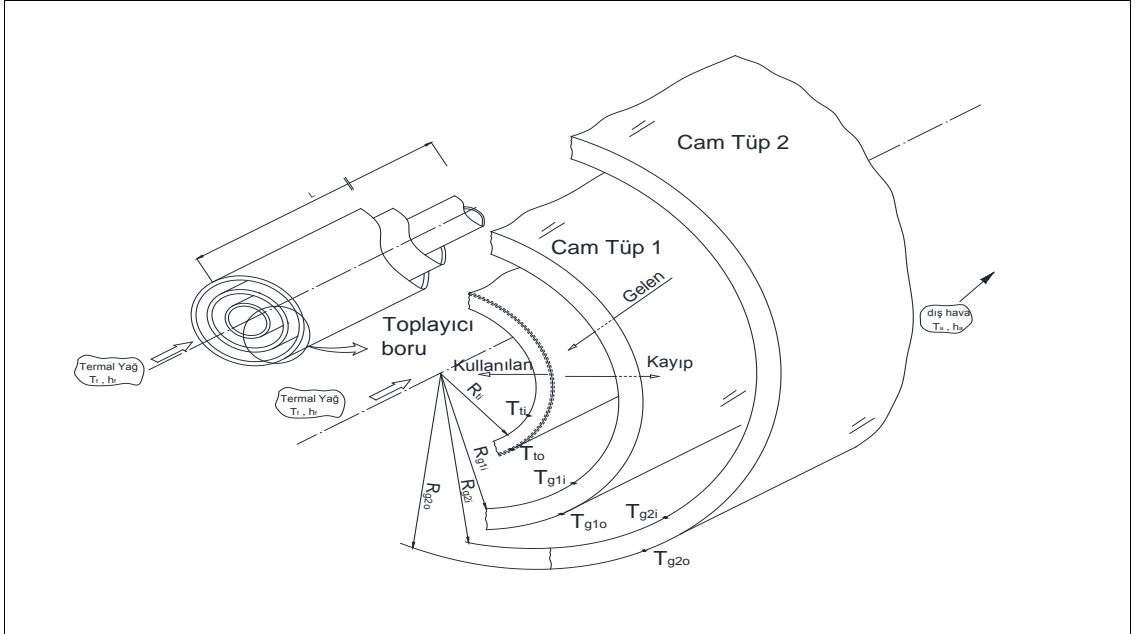
2.3.1. Çift Saydam Örtülü Parabolik Oluk Kollektörü Enerji Denklemleri

Parabolik güneş kollektörüne gelen güneş ışınlarının çift saydam örtülü kollektör yapısındaki durumu şekil 2.10 daki duruma benzer şekilde olduğu gibi kabul edilirse:

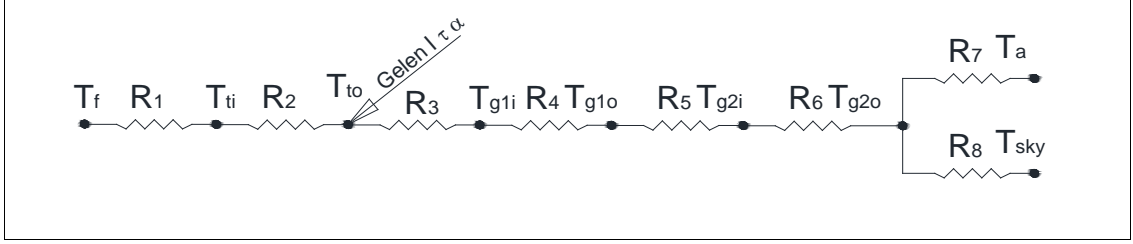


Şekil 2.14 Parabolik güneş kolektörüne gelen güneş ışınlarının çift saydam örtülü kolektör yapısındaki durumu

Gelen güneş ışığının açık tüpe doğrudan ulaştığı varsayımı ile ısı direnci diyagramı şu şekilde olur;



Şekil 2.15 Çift saydam örtülü birbirine paralel silindirik duvarlardan akışkana ısı geçişi



Şekil 2.16 Çift saydam örtülü birbirine paralel silindirik duvarlardan akışkana ısı geçişi eşdeğer ısıl devre

Burada gösterilen simgeler;

L : Boru boyunu

T_f : Akışkan termal yağın sıcaklığını

h_f : Termal yağın ısı taşınım katsayısını

R_1 toplayıcı borudan termal yağa ısı taşınım direncini ifade eder ve aşağıdaki gibi gösterilir:

$$R_1 = \frac{1}{2\pi r_{ii} L h_f} \quad (2.46)$$

T_{ii} : Toplayıcı borunun iç yüzey sıcaklığını

R_2 toplayıcı borunun ısı iletim direncini ifade eder ve aşağıdaki gibi gösterilir:

$$R_2 = \frac{1}{2\pi L k_t} \ln\left(\frac{r_{to}}{r_{ii}}\right) \quad (2.47)$$

T_{to} : Toplayıcı boru dış yüzey sıcaklığını

R_3 toplayıcı borunun dış yüzeyi ile 1, cam tüp arasındaki vakumlu boşluğun ışınlama ısı direncini ifade eder ve aşağıdaki gibi gösterilir:

$$R_3 = \frac{\left[\frac{1}{\varepsilon_i} + \frac{1 - \varepsilon_g}{\varepsilon_g} \cdot \left(\frac{r_{to}}{r_{gli}} \right) \right]}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot \sigma \cdot r_{to} \cdot \left[(T_{to}^2 + T_{gli}^2) \cdot (T_{to} + T_{gli}) \right]} \quad (2.48)$$

T_{gi} : Cam tüpün iç yüzey sıcaklığını

R_4 1. cam tüpün ısı iletim direncini ifade eder ve aşağıdaki gibi gösterilir:

$$R_4 = \frac{1}{2 \pi L k_{g1}} \ln \left(\frac{r_{g1o}}{r_{g1i}} \right) \quad (2.49)$$

T_{g1o} : 1. cam tüpün dış yüzey sıcaklığını

R_5 1. cam tüpün 2. cam tüp ile arasındaki vakumlu boşluğun ışınlama ısı direncini ifade eder ve aşağıdaki gibi gösterilir:

$$R_5 = \frac{\left[\frac{1}{\varepsilon_{g1}} + \frac{1 - \varepsilon_{g2}}{\varepsilon_{g2}} \left(\frac{r_{g1o}}{r_{g2i}} \right) \right]}{2 \pi L \sigma r_{g1o} \left[(T_{g1o}^2 + T_{g2i}^2) (T_{g1o} + T_{g2i}) \right]} \quad (2.50)$$

R_6 2. cam tüpün ısı iletim direncini ifade eder ve aşağıdaki gösterilir:

$$R_6 = \frac{1}{2 \pi L k_{g2}} \ln \left(\frac{r_{g2o}}{r_{g2i}} \right) \quad (2.51)$$

T_{g2o} : 2. cam tüpün dış yüzey sıcaklığını

R_7 2. cam tüpün dış hava ile yaptığı ısı geçişinin direncini ifade eder ve aşağıdaki gösterilir:

$$R_7 = \frac{1}{2\pi r_{g2o} L h_a} \quad (2.52)$$

T_a : Dış hava sıcaklığını;

R_8 2. cam tüpün ışınım ile ısı kaybı direncini ifade eder ve aşağıdaki gösterilir:

$$R_8 = \frac{1}{2\pi \varepsilon \sigma r_{g2o} L \left[(T_{g2o}^2 + T_{sky}^2) (T_{sky} + T_{g2o}) \right]} \quad (2.53)$$

T_{sky} : Dış yüzeylerin sıcaklığını göstermektedir.

Şekil 2.16' dan yola çıkılarak enerji dengesi uygulanırsa;

$$E_{gelen} = E_{akışkana\ geçen} + E_{kayıp} \quad (2.54)$$

Yüzeğe gelen ışınımın bir kısmı akışkana geçerken bir kısmı yüzeyden çeşitli nedenlerle akışkana geçemez (kayıp). Şekil 2.16 dan faydalanılarak enerji ifadeleri şöyle yazılabilir:

Toplayıcı boru yüzeyine gelen ışınım:

$$E_{gelen} = I \alpha \tau A_{to} \quad (2.55)$$

Burada I yüzeğe gelen ışınım miktarı, α toplayıcı borunun yutma katsayısı, τ saydam örtünün geçirme oranı, A_{to} absorban borunu yüzey alanıdır.

Akışkana geçen enerji;

$$E_{akışkana\ geçen} = \frac{\Delta T}{R_{toplama}} = \frac{T_{to} - T_f}{R_1 + R_2} \quad (2.56)$$

Akışkana geçemeyip yüzeyden taşınım veya ışınlımla kayıp enerji aşağıdaki gibi olur;

$$E_{kayıp} = \frac{\Delta T}{R_{toplam}} = \frac{T_{to} - T_{sky}}{R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + (R_7^{-1} + R_8^{-1})^{-1}} \quad (2.57)$$

Denklem 2.55, denklem 2.56, denklem 2.57 birim uzunluk için 2.54 nolu denklemde yerine yazılırsa enerji dengesi aşağıdaki gibi olur:

$$l \alpha \tau \pi d_{to} = \frac{T_{to} - T_f}{R_1 + R_2} + \frac{T_{to} - T_{sky}}{R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + (R_7^{-1} + R_8^{-1})^{-1}} \quad (2.58)$$

Bu ifade yoğunlaştırıcı parabolik kollektörde enerji dengesi olmakla beraber, yararlı enerji toplayıcı borudan boru boyunca akışkana taşınım ile geçen enerjidir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Hesaplama Şekli ve Adımları

Bu çalışmada tek eksenle güneşi takip eden parabolik oluk kollektörünün zamandan bağımsız, ışınlam miktarı değişmediği halde akışkanın sıcaklık değişimleri hesaplanacaktır. Bu hesaplamalarda toplayıcı borudan ısı kaybını azaltan saydam örtünün ölçülerinin ve sayısının değişimlerinin akışkan sıcaklığındaki değişimi nasıl etkilediğini izleyeceğiz. Bunun için toplayıcı borunun üzerinde tek ve çift katmanda farklı çaplarda saydam örtü için toplayıcı boru yüzey sıcaklığı, akışkan sıcaklığı ve saydam örtü sıcaklıkları hesaplanacaktır.

Hesaplamalar için giriş bölümünde temelleri verilen matematik modelinden yola çıkarak tek saydam örtü için akışkan sıcaklığı, alıcı yüzey sıcaklığı ve saydam örtü sıcaklığı hesabında kullanılan denklemler ve çift katlı saydam örtünün olduğu kollektör için akışkan sıcaklığı, alıcı yüzey sıcaklığı ve saydam örtülerin sıcaklığı hesabında kullanılan denklemler belirlenecektir. Belirli fiziksel özellikler için hesaplar yapılacak ve grafikler hazırlanacaktır. Sonuç bölümünde bu grafiklerden çift katlı saydam örtünün tek katlı saydam örtüye göre durumu yorumlanacaktır.

$$\dot{m} c_p \frac{dT_f}{dx} = \frac{T_{to} - T_f}{R_1 + R_2}$$

şeklinde diferansiyel bir denklemdir. Burada R_2 iletim direnci toplayıcı borunun iletim direnci olup diğer dirençler yanında çok küçüktür. Bu nedenle bu direnç ihmal edilirse;

$$\dot{m} c_p \frac{dT_f}{dx} = \frac{T_{to} - T_f}{R_1} \quad (3.1)$$

şeklini alır. Denklem Fourier Açılımı aşağıdaki gibi olur:

$$\dot{m} c_p \frac{T_{f,i+1} - T_{f,i}}{\Delta x} = \frac{T_{t,i} - T_{f,i}}{R_1} \quad (3.2)$$

Bu denklemle toplayıcı borunun yüzeyinden sabit ısı akısı düşünülerek, başlangıç koşulları bilinen akışkanın boru içerisindeki akışla sıcaklığının değişimi hesaplanabilir.

$$T_{f,i+1} = \frac{T_{t,i} - T_{f,i}}{R_1} \times \frac{\Delta x}{\dot{m} c_p} + T_{f,i} \quad (3.3)$$

Ancak, burada diğer bir bilinmeyen olan yüzey sıcaklığının hesaplanması gereklidir. Bunun için denklem 2.37' den faydalanabiliriz;

$$1/\alpha \tau \pi d_{to} = \frac{T_{to} - T_f}{R_1 + R_2} + \frac{T_{to} - T_{sky}}{R_3 + R_4 + (R_5^{-1} + R_6^{-1})^{-1}}$$

Yukarıda bahsedildiği gibi iletim dirençleri diğer dirençlere göre çok küçük olduğu düşünerek R_2 ve R_4 ihmal edilirse, aşağıdaki gibi olur;

$$|\alpha \tau \pi d_{to} = \frac{T_{to} - T_f}{R_1} + \frac{T_{to} - T_{sky}}{R_3 + (R_5^{-1} + R_6^{-1})^{-1}} \quad (3.4)$$

Burada toplayıcı borunun yüzey sıcaklığı R_3 direnci içerisinde de bulunmakta olup denklemin çözümü için iterasyon kullanılabilir. $T_{to} = f(T_{to})$ şeklinde iterasyon denklemini 3.4 nolu denklemden;

$$T_{to} = \left[|\alpha \tau \pi d_{to} - \frac{T_{to} - T_{sky}}{R_3 + (R_5^{-1} + R_6^{-1})^{-1}} \right] R_1 + T_f \quad (3.5)$$

şeklinde yazılır. Bu denklemde diğer bir bilinmeyen olan saydam örtü sıcaklığı benzer şekilde iterasyon ile hesaplanır ve iterasyon denklemini, denklem 2.36 dikkate alınarak aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$E_{kayip} = \frac{\Delta T}{R_{toplam}} = \frac{T_{to} - T_{sky}}{R_3 + R_4 + (R_5^{-1} + R_6^{-1})^{-1}}$$

Şekil 2.12' de direnç diyagramından kayıp enerji

$$E_{kayip} = \frac{\Delta T}{R_{toplam}} = \frac{T_{to} - T_{sky}}{R_3 + R_4 + (R_5^{-1} + R_6^{-1})^{-1}} = \frac{T_{to} - T_{gi}}{R_3} \quad (3.6)$$

ve iletim dirençleri ihmal edilirse;

$$E_{kayip} = \frac{T_{to} - T_{sky}}{R_3 + (R_5^{-1} + R_6^{-1})^{-1}} = \frac{T_{to} - T_{gi}}{R_3} \quad (3.7)$$

iletim direnci çok küçük olduğundan saydam örtünün iç ve dış yüzey sıcaklığı eşit kabul edilebilir. Bu durumda;

$$T_{gi} = T_{go} = T_g$$

kabul edilerek saydam örtü yüzey sıcaklıkları yeniden düzenlenirse R_3 ve R_6 dirençleri;

$$R_3 = \frac{\left[\frac{1}{\varepsilon_t} + \frac{1-\varepsilon_g}{\varepsilon_g} \left(\frac{r_{to}}{r_{gi}} \right) \right]}{2\pi L \sigma r_{to} \left[\left(T_{to}^2 + T_g^2 \right) \left(T_{to} + T_g \right) \right]} \quad (3.8)$$

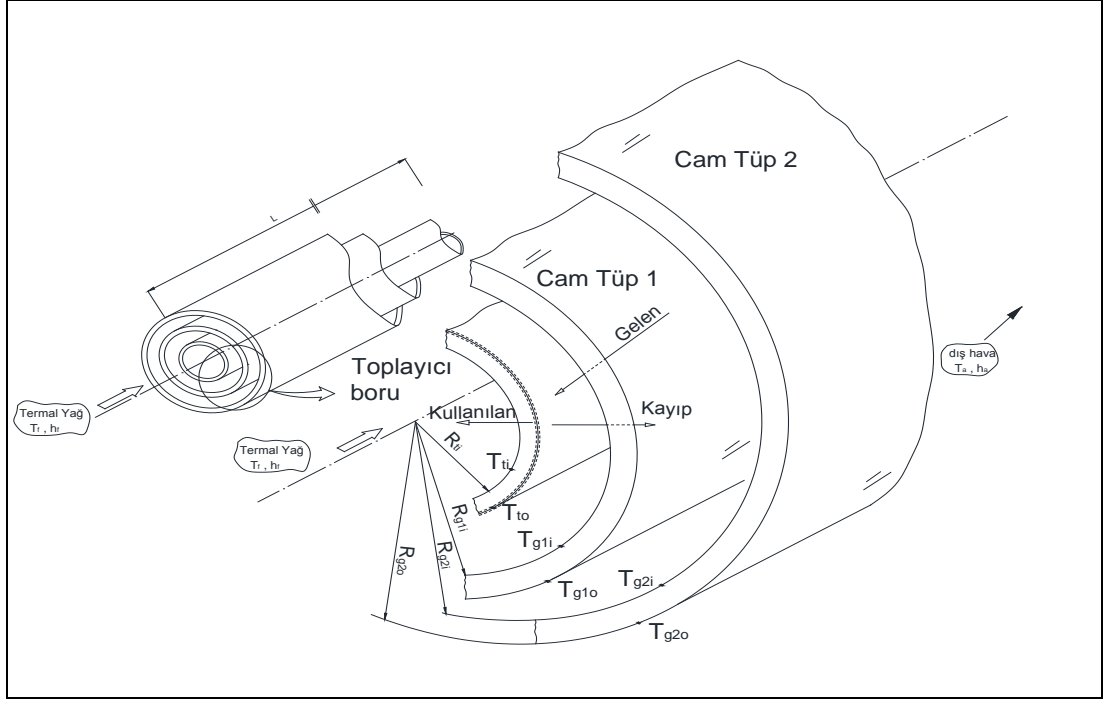
$$R_6 = \frac{1}{2\pi \varepsilon \sigma r_{go} L \left[\left(T_g^2 + T_{sky}^2 \right) \left(T_{sky} + T_g \right) \right]} \quad (3.9)$$

şeklinde olur ve denklem 3.7' den;

$$T_g = T_{to} - \left[\frac{T_{to} - T_{sky}}{R_3 + \left(R_5^{-1} + R_6^{-1} \right)^{-1}} \right] R_3 \quad (3.10)$$

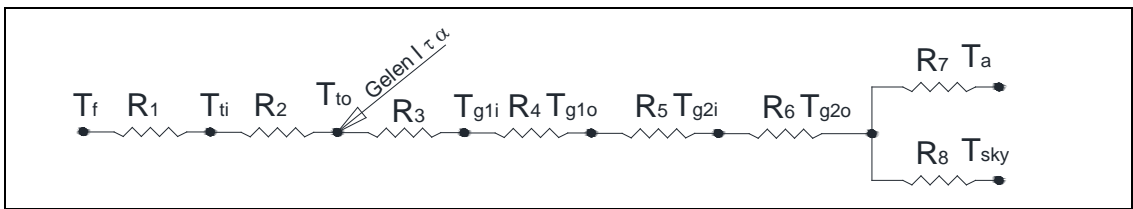
şeklinde iterasyon denklemi yazılır.

3.3. Çift Saydam Örtü İçin Isı Geçişi ve Verim Hesaplamaları



Şekil 3.3 Çift saydam örtülü parabolik oluk kollektörün toplayıcı boru ve saydam örtü ile temel yapısı ve bileşenleri

Çift saydam örtülü parabolik kollektörün ısı direnç diyagramı aşağıdaki gibidir:



Şekil 3.4 Çift saydam örtülü parabolik kollektörün ısı direnç diyagramı

Tek saydam örtülü parabolik kollektörün ısı hesaplarına benzer şekilde hesaplanır: verim değerini hesaplamak için termal yağın ve toplayıcı borunun giriş ve çıkış sıcaklıkları hesaplanmalıdır. Bunun için tek saydam borulu kollektörde yapıldığı gibi uzunluğa bağlı Fourier Açılımı yapılabilir (bkz, Denklem 2.58, denklem 2.59, denklem 2.60).

$$T_{f,i+1} = \frac{T_{t,i} - T_{f,i}}{R_1} \times \frac{\Delta x}{\dot{m}c_p} + T_{f,i}$$

Görüleceği gibi kazanç tek saydam borulu kollektörde olduğu gibidir. Ancak kayıplarda durum farklıdır. Denklem 2.57' den;

$$|\alpha \tau \pi d_{to} = \frac{T_{to} - T_f}{R_1 + R_2} + \frac{T_{to} - T_{sky}}{R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + (R_7^{-1} + R_8^{-1})^{-1}} \quad (3.11)$$

Enerji dengesi ifadesinde R_2 , R_4 ve R_6 nolu iletim dirençlerinin diğer dirençlere göre çok küçük olduğu düşünülerek hesapları basitleştirmek için bu dirençler ihmal edilir ve enerji dengesi ifadesi yeniden yazılırsa;

$$|\alpha \tau \pi d_{to} = \frac{T_{to} - T_f}{R_1} + \frac{T_{to} - T_{sky}}{R_3 + R_5 + (R_7^{-1} + R_8^{-1})^{-1}} \quad (3.12)$$

Burada bilinmeyen yüzey sıcaklığını bulabilmek için $T_{to} = f(T_{to})$ şeklinde denklem oluşturulmalıdır;

$$T_{to} = \left[|\alpha \tau \pi d_{to} - \frac{T_{to} - T_{sky}}{R_3 + R_5 + (R_7^{-1} + R_8^{-1})^{-1}} \right] R_1 + T_f \quad (3.13)$$

iterasyon denklemi şeklinde yazılır. Bu denklemde diğer bir bilinmeyen olan saydam örtü sıcaklığı başlangıç için kabul ile yapılabilirken diğer aşamalarda hesaplama yapılır. Yüzey sıcaklığının hesabına benzer şekilde iterasyon ile hesaplanır ve iterasyon denklemi, denklem 2.57 dikkate alınarak aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$E_{kayip} = \frac{\Delta T}{R_{toplam}} = \frac{T_{to} - T_{sky}}{R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + (R_7^{-1} + R_8^{-1})^{-1}}$$

Burada iletim dirençleri ihmal edilirse;

$$E_{kayip} = \frac{\Delta T}{R_{toplam}} = \frac{T_{to} - T_{sky}}{R_3 + R_5 + (R_7^{-1} + R_8^{-1})^{-1}} \quad (3.14)$$

şeklinde yazılabilir. Direnç diyagramından bu kayıp enerji aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$E_{kayip} = \frac{\Delta T}{R_{toplam}} = \frac{T_{to} - T_{sky}}{R_3 + R_5 + (R_7^{-1} + R_8^{-1})^{-1}} = \frac{T_{to} - T_{gli}}{R_3} \quad (3.15)$$

Kayıp enerji denklem 3.12' de yerine yazılırsa;

$$| \alpha \tau \pi d_{to} = \frac{T_{to} - T_f}{R_1} + \frac{T_{to} - T_{gli}}{R_3} \quad (3.16)$$

Bu ifadeden iterasyon denklemi;

$$T_{gli} = T_{to} - \left[| \alpha \tau \pi d_{to} - \frac{T_{to} - T_f}{R_1} \right] R_3 \quad (3.17)$$

şeklinde yazılabilir. Burada saydam örtünün iletim direncinin çok küçük olmasından dolayı cam yüzey sıcaklıklarının birbirine eşit olduğu kabul edilebilir. Bu durumda;

$$T_{gli} = T_{glo} = T_{g1}$$

olup ikinci saydam örtünün yüzey sıcaklığının hesabında kullanılacaktır. İlk örtünün yüzey sıcaklığının hesabına benzer şekilde denklem 2.57 ve direnç diyagramından kayıp enerji;

$$E_{kayip} = \frac{\Delta T}{R_{toplam}} = \frac{T_{to} - T_{sky}}{R_3 + R_5 + (R_7^{-1} + R_8^{-1})^{-1}} = \frac{T_{to} - T_{g2i}}{R_3 + R_5} \quad (3.18)$$

Denklem 3.12' de yerine yazılırsa;

$$I \alpha \tau \pi d_{to} = \frac{T_{to} - T_f}{R_1} + \frac{T_{to} - T_{g2i}}{R_3 + R_5} \quad (3.19)$$

Bu ifadeden iterasyon denklemi;

$$T_{g2i} = T_{to} - \left[I \alpha \tau \pi d_{to} - \frac{T_{to} - T_f}{R_1} \right] (R_3 + R_5) \quad (3.20)$$

şeklinde yazılır.

İç ve dış akışta ısı transfer etkinliğinin hesaplanması için, boru içerisinde türbülanslı akışta ısı transfer oranını Dittlus – Boelter korelasyonu verir;

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{\frac{1}{3}} \quad (3.21)$$

Burada;

$$Nu = h \frac{d_p}{k_f} \quad (3.22)$$

$$Re = \frac{4m}{\mu d \pi} \quad (3.23)$$

şeklindedir.

Churchill ve Bernstein [12], tüm Re_D ve Pr sayıları aralığını kapsayan bağıntısı ile camın dış yüzeyi ile açık hava arasındaki ısı taşınımı etkinliği aşağıdaki eşitlikle hesaplanır:

$$\overline{Nu}_D = 0,3 + \frac{0,62 Re_D^{1/2} Pr^{1/3}}{\left[1 + (0,4 / Pr)^{2/3} \right]^{1/4}} \left[1 + \left(\frac{Re_D}{282000} \right)^{5/8} \right]^{4/5} \quad (3.24)$$

$$\bar{h} = \overline{Nu}_D \frac{k}{D} \quad (3.25)$$

$$h_a = 0,0191 + 0,006608 V_{wind} \quad (3.26)$$

Burada V_{wind} hızı [m/s] ve h_a [W/m².K]' dir.

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{c_p \mu}{k} = \frac{\text{viskoz yayılım hızı}}{\text{ısı yayılım hızı}} \quad (3.27)$$

3.4. İncelenen Sistemin Fiziksel Özellikleri

Bu çalışmada, tek ekseninde güneşi takip eden parabolik oluk kollektörü incelenmiş, genel boyut ve malzeme özelliklerine sahip örnek bir güneş toplayıcısı düşünülmüştür. Toplayıcı borusu çelik yada bakırdan genellikle imal edilen toplayıcı için bakır tercih edilmiştir.

Çizelge 3.1' de, bu çalışmada incelenen sistem elemanlarının temel termofiziksel ve optik özellikleri verilmiştir;

Çizelge 3.1 Toplayıcının termofiziksel ve optik özellikleri

Yansıtıcı Yüzey	
Odak uzaklığı (F)	0,8 m
Toplayıcı uzunluğu (L)	500 m
Açıklık uzunluğu (a)	1 m
Yansıtıcı yüzey yansıtma oranı (ρ)	0,9
Toplayıcı kesişme oranı (γ)	0,95
Toplayıcı boru	
Malzeme	Siyah nikel seçici yüzey ile kaplı çelik
Boru dış çapı (D_t)	50 mm
Et kalınlığı	2 mm
Özgül ısı (c_t)	500 J/kg K
Isı iletim katsayısı (k_t)	54 W/mK
Güneş ışınımı yutma oranı (α_t)	0,94
Yayma oranı (ε_t)	0,08
Saydam Örtü Boru	
Malzeme	Su beyazı cam
Boru dış çapı (d_g)	10 mm, 15 mm, 20 mm, 25 mm, 30 mm
Et kalınlığı	2 mm
Kırılma indisi (N)	1,5
Işınımı azaltma katsayısı (β)	4 m ⁻¹
Camın yayma oranı (ε_g)	0,09
Özgül ısı (c_g)	750 J/kgK
Isı iletim katsayısı (k_g)	1,14 W/mK
Güneş ışınımı yutma oranı (α_g)	0,08

Çizelge 3.2' de, bu çalışmanın yapıldığı alandaki havanın özellikleri verilmiştir,

Çizelge 3.2 Çalışmanın yapıldığı alandaki havanın özellikleri

Havanın özellikleri	
Kırılma indisi (N)	1
Çevre sıcaklığı (T_{cev})	303,15 K
Hava hızı	3 m/s
Hava ısı taşınım katsayısı (h_a)	0,217

Sistem içerisinde dolaşan ısı taşıyıcı akışkan olarak Dow Kimyasal Firmasına ait DOWNTHERM A marka termal yağ düşünülmüştür. Çizelge 3.3 ve 3.5' de üretici firma katalogundan alınan fiziksel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.3 Sıvı halde DOWTHERM A fiziksel özellikleri [11]

ÖZELLİK	BİRİM
Atmosferik kaynama noktası	257,1 °C
Donma noktası	12,0 °C
Yoğunluk (25°C' te)	1056 kg/m ³
Kritik Sıcaklık	497 °C
Kritik Basınç	31,34 bar
Kritik Hacim	3,17 l/kg
Yanma Isısı	36,053 kJ/kg
Moleküler Ağırlık (Avagadro)	166,0

Çizelge 3.4 de bu çalışmada incelenen sistemin hesaplanan ve kabul edilen fiziksel değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.4 Sistemin hesaplanan ve kabul edilen fiziksel değerleri

Hesaplanan fiziksel değerler	
Yansıyan ışınım miktarı (r)	0,04
Işınım geçirme miktarı (t)	0,992032
Tek cam için yutma oranı (α)	0,007965
Tek cam için yansıtma oranı (ρ)	0,076336
Tek cam için geçirme oranı (τ)	0,915698
Tek cam için toplam yutma geçirme	0,869364
Çift cam için yutma oranı (α)	0,015862
Çift cam için yansıtma oranı (ρ)	0,140719
Çift cam için geçirme oranı (τ)	0,841438
Çift cam için toplam yutma geçirme	0,800741
Camın başlangıç sıcaklığı	303,15 K

Çizelge 3.5 Doymuş sıvı halde DOWTHERM A özellikleri [11]

SICAKLIK [°C]	BUHAR BASINCI [Bar]	VİSKOZİTE [mPa s]	ÖZGÜL ISI [kJ/kg K]	ISI İLETİM KATSAYISI [W/mK]	YOĞUNLUK [kg/m ³]
12	0,00	5,52	1,550	0,1400	1065,9
15	0,00	5,00	1,558	0,1395	1063,5
20	0,00	4,29	1,573	0,1387	1059,6
25	0,00	3,71	1,587	0,1379	1055,7
30	0,00	3,25	1,601	0,1371	1051,7
35	0,00	2,87	1,616	0,1363	1047,8
40	0,00	2,56	1,630	0,1355	1043,8
45	0,00	2,30	1,644	0,1347	1039,8
50	0,00	2,07	1,658	0,1339	1035,8
55	0,00	1,88	1,673	0,1331	1031,8
60	0,00	1,72	1,687	0,1323	1027,8
65	0,00	1,58	1,701	0,1315	1023,7
70	0,00	1,46	1,715	0,1307	1019,7
75	0,00	1,35	1,729	0,1299	1015,6
80	0,00	1,25	1,744	0,1291	1011,5
85	0,00	1,17	1,758	0,1283	1007,4
90	0,00	1,09	1,772	0,1275	1003,2
95	0,00	1,03	1,786	0,1267	999,1
100	0,01	0,97	1,800	0,1259	994,9
105	0,01	0,91	1,814	0,1251	990,7
110	0,01	0,86	1,828	0,1243	986,5
115	0,01	0,82	1,842	0,1235	982,3
120	0,01	0,77	1,856	0,1227	978,1
125	0,02	0,73	1,870	0,1219	973,8
130	0,02	0,70	1,884	0,1211	969,5
135	0,03	0,67	1,898	0,120	965,2
140	0,03	0,64	1,912	0,1195	960,9
145	0,04	0,61	1,926	0,1187	956,6
150	0,05	0,58	1,940	0,1179	952,2
155	0,06	0,56	1,954	0,1171	947,8
160	0,07	0,53	1,968	0,1163	943,4
165	0,08	0,51	1,982	0,1155	938,9
170	0,09	0,49	1,996	0,1147	934,5
175	0,11	0,47	2,010	0,1139	930,0
180	0,13	0,46	2,023	0,1131	925,5
185	0,15	0,44	2,037	0,1123	920,9
190	0,18	0,42	2,051	0,1115	916,4
195	0,21	0,41	2,065	0,1107	911,8
200	0,24	0,39	2,079	0,1099	907,1
205	0,28	0,38	2,093	0,1091	902,5
210	0,32	0,37	2,107	0,1083	897,8
215	0,37	0,35	2,120	0,1075	893,1
220	0,42	0,34	2,134	0,1067	888,3

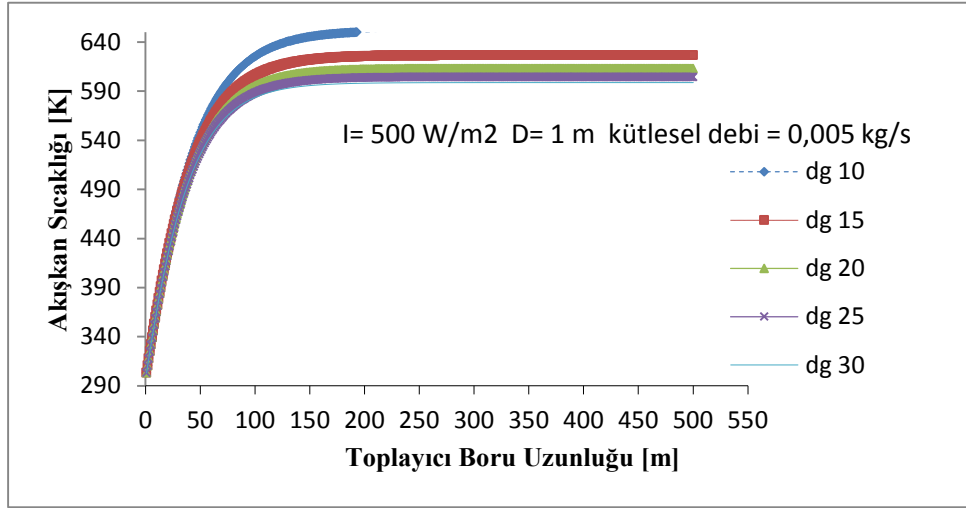
Çizelge 3.5 Doymuş sıvı halde DOWTHERM A Özellikleri TABLO DEVAMI [11]

SICAKLIK [°C]	BUHAR BASINCI[Bar]	VİSKOZİTE [mPa s]	ÖZGÜL ISI [kJ/kg K]	ISI İLETİM KATSAYISI [W/mK]	YOĞUNLUK [kg/m ³]
225	0,48	0,33	2,148	0,1059	883,5
230	0,54	0,32	2,162	0,1051	878,7
235	0,61	0,31	2,176	0,1043	873,8
240	0,69	0,30	2,190	0,1035	868,9
245	0,77	0,29	2,204	0,1027	864,0
250	0,87	0,28	2,218	0,1019	859,0
255	0,97	0,27	2,231	0,1011	854,0
257,1	1,01	0,27	2,237	0,1008	851,9
260	1,08	0,27	2,245	0,1003	849,0
265	1,20	0,26	2,259	0,0995	843,9
270	1,33	0,25	2,273	0,0987	838,7
275	1,48	0,24	2,288	0,0979	833,6
280	1,63	0,24	2,302	0,0971	828,3
285	1,80	0,23	2,316	0,0963	823,0
290	1,98	0,22	2,330	0,0955	817,7
295	2,17	0,22	2,344	0,0947	812,3
300	2,38	0,21	2,359	0,0939	806,8
305	2,60	0,20	2,373	0,0931	801,3
310	2,84	0,20	2,388	0,0923	795,8
315	3,10	0,19	2,403	0,0915	790,1
320	3,37	0,19	2,417	0,0907	784,4
325	3,66	0,18	2,432	0,0899	778,6
330	3,96	0,18	2,448	0,0891	772,8
335	4,29	0,17	2,463	0,0883	766,9
340	4,64	0,17	2,479	0,0875	760,9
345	5,00	0,17	2,494	0,0867	754,8
350	5,39	0,16	2,511	0,0859	748,6
355	5,80	0,16	2,527	0,0851	742,3
360	6,24	0,15	2,544	0,0843	735,9
365	6,69	0,15	2,561	0,0835	729,4
370	7,18	0,15	2,579	0,0827	722,8
375	7,68	0,14	2,597	0,0819	716,1
380	8,22	0,14	2,616	0,0811	709,2
385	8,78	0,14	2,636	0,0803	702,2
390	9,37	0,13	2,657	0,0795	695,0
395	9,99	0,13	2,678	0,0787	687,7
400	10,64	0,13	2,701	0,0779	680,2
405	11,32	0,12	2,725	0,0771	672,5
410	12,03	0,12	2,751	0,0763	664,6
415	12,78	0,12	2,779	0,0755	656,5
420	13,56	0,11	2,809	0,0747	648,1
425	14,38	0,11	2,842	0,0739	639,4

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

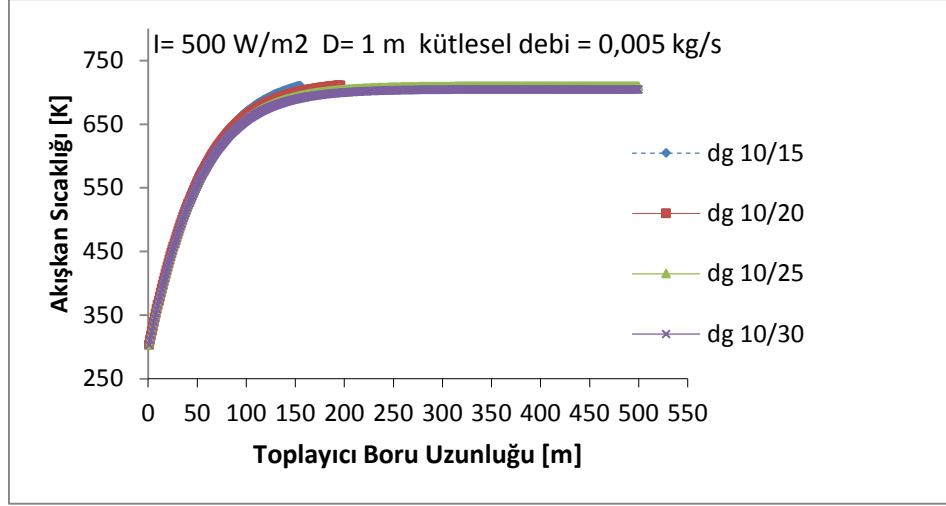
4.1. Hesaplanan Değerlerin Grafiğe Aktarımı

Kuramsal temellerde bahsedilen iterasyon denklemleri ile yapılan hesapların sonuçları grafik halinde aşağıda verilmiştir.



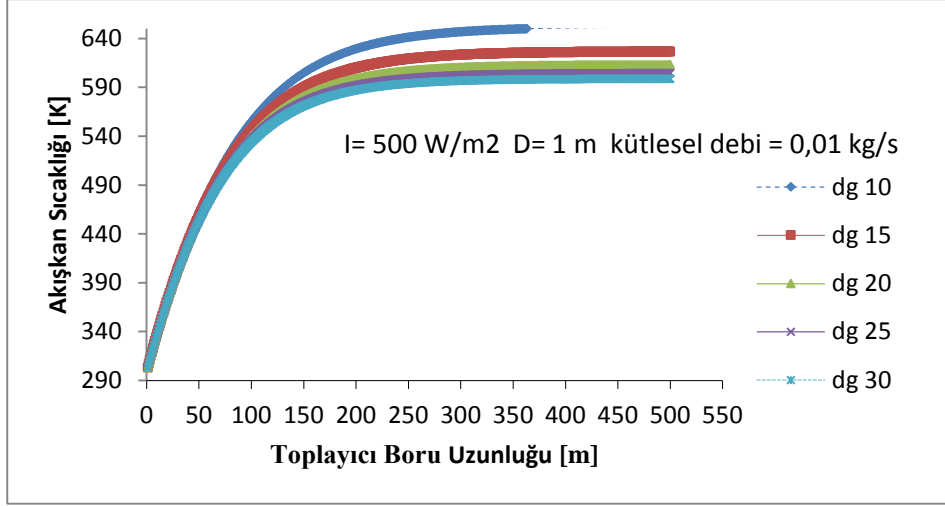
Şekil 4.1 Tek katlı saydam örtüde farklı çaplar için 0,005 kg/s kütleli debide toplayıcı boru uzunluğuna göre akışkan sıcaklığı

Bu grafikte yaklaşık olarak 500 K değerine kadar bütün çapların aynı eğimde olduğunu, bu sıcaklığın üzerinde ise saydam örtünün çapının büyümesinin fayda sağlamadığını görülmektedir. 10 cm çaplı saydam örtünün trendi daha uzun sürdürerek daha yüksek sıcaklığa ulaşabildiği görülmektedir. Başka bir tespit ise 150 metrenin üzerindeki toplayıcı boru uzunluğunun bu şartlarda fayda sağlamadığı görülmektedir. Bu uzunluktan sonra akışkan sıcaklığının yükselmediği ve yaklaşık sabit kaldığı görülmektedir.



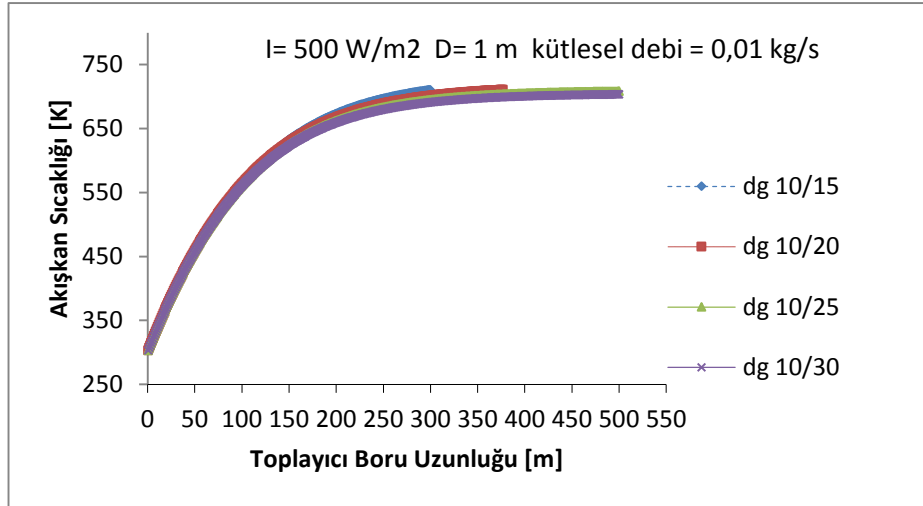
Şekil 4.2 Çift katmanlı saydam örtüde, iç saydam örtü çapı 10 cm olmak üzere dış saydam örtünün farklı çap değerleriyle toplayıcı boru uzunluğuna göre akışkan sıcaklığı

Yukarıdaki şekilde ise eğimin ortak olarak 550 K değerine kadar gidebildiği görülmektedir. Şekil 4.1 ile birlikte yorumladığımızda iki katmanlı saydam örtünün daha yüksek sıcaklığa çıktığı görülmektedir. Tek katmanda en yüksek sıcaklığın 10 cm dış çapta en fazla 652 K ya ulaştığını halde, iki katmanlı saydam örtüde en başarısız ölçü olan 30 cm ikinci dış örtüde bile 704 K değeri görülmektedir. İkinci saydam örtü katmanlarının diğer ölçülerinde 700 K değerlerine 150 metre toplayıcı boru uzunluğunda ulaşılmıştır. Bu değer üzerinde kesik görülen grafikler ise termal yağın maksimum ısı taşıma kapasitesine ulaşmış olmasından ileri gelmektedir. Bu sıcaklık yağın kritik sıcaklığıydı. Diğer şekildeki gibi aynı debide 150 m sonrasında toplayıcı boru uzunluklarında sıcaklık yükselmesi gözlenmemiştir.



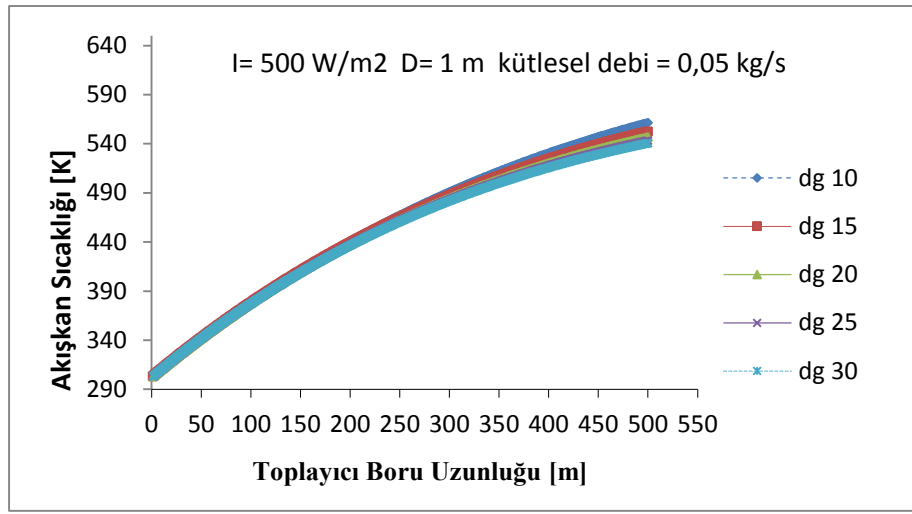
Şekil 4.3 Tek katlı saydam örtüde farklı çaplar için 0,01 kg/s kütleli debide toplayıcı boru uzunluğuna göre akışkan sıcaklığı

Şekil 4.1’ de 0,005 kg/s olan kütleli debinin iki kat artırılmasıyla 0,01 kg/s debide tek katmanlı saydam örtünün etkisine bakıyoruz. Şekil 4.1’ e benzer olarak eğimin belirli bir sıcaklığa kadar aynı olduğunu, bu sıcaklığın üzerinde daha küçük çapların daha yüksek sıcaklıklara ulaşabildiğini görülmektedir. Eğimin aynı olduğu sıcaklık ilk şekle göre daha düşük.



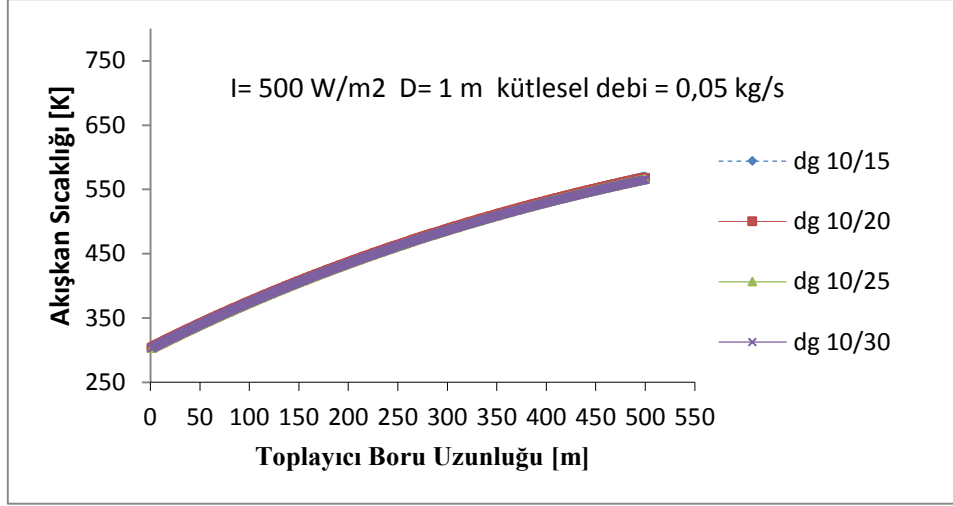
Şekil 4.4 Çift katmanlı saydam örtüde 0,01 kg/s kütleli debi iç saydam örtü çapı 10 cm olmak üzere dış saydam örtünün farklı değerleriyle toplayıcı boru uzunluğuna göre akışkan sıcaklığı

Şekil 4.2' de 0,005 kg/s olan kütleli debinin iki kat artırılmasıyla 0,01 kg/s debide çift katmanlı saydam örtünün etkisine bakıyoruz. Şekil 4.2' e benzer olarak eğimin belirli bir sıcaklığa kadar aynı olduğunu, bu sıcaklığın üzerinde daha küçük ikinci katman çaplarının daha yüksek sıcaklıklara ulaşabildiğini görülmektedir. Eğimin aynı olduğu sıcaklık ilk şekle göre daha düşük. Kritik sıcaklıklara daha kısa toplayıcı boru uzunluklarında ulaşılabilmiştir.



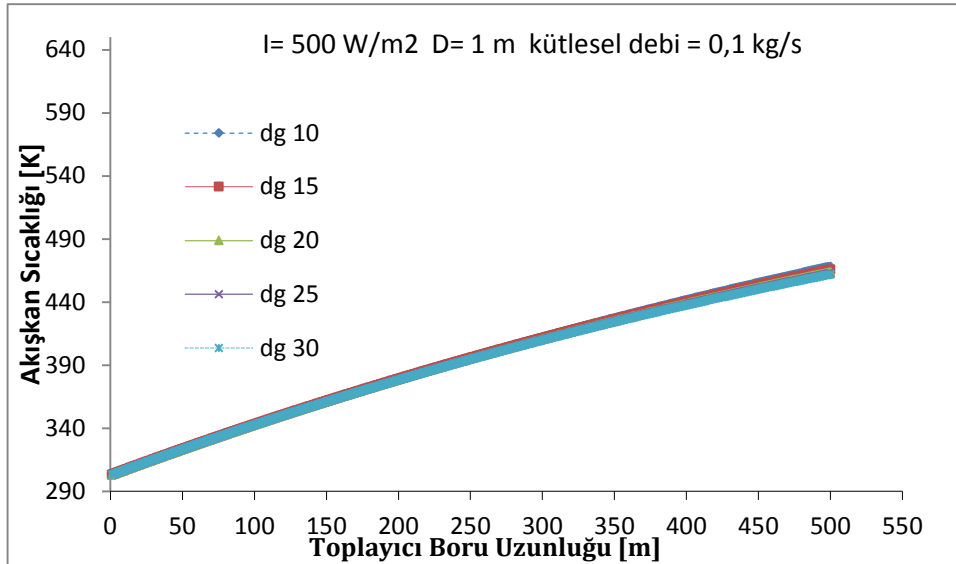
Şekil 4.5 Tek katlı saydam örtüde farklı çaplar için 0,05 kg/s kütleli debide toplayıcı boru uzunluğuna göre akışkan sıcaklığı

Akışkan debisinin 0,05 kg/s olduğu tek katmanlı saydam örtünün etkisiyle akışkan sıcaklığının değişiminin toplayıcı boru uzunluğuna göre değişimini izlendiğinde belirli bir sıcaklığa kadar eğimin aynı olduğu görülmektedir. Bu sıcaklıktan sonra değişimin ilk şekillere göre daha yavaş olduğu görülmektedir. En yüksek sıcaklığın 10 cm çapındaki saydam örtünün olduğu toplayıcı boruda 561 K değerinde hesaplanmıştır.



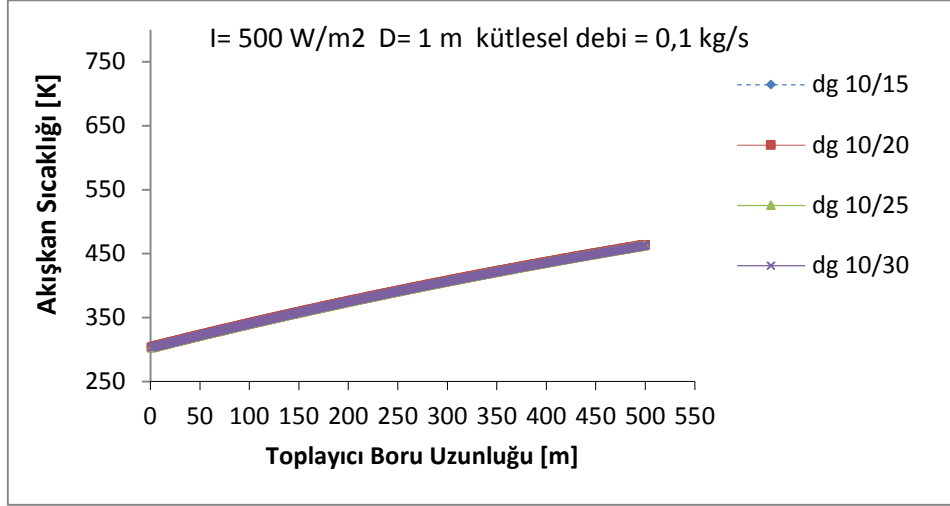
Şekil 4.6 Çift katmanlı saydam örtüde $0,05 \text{ kg/s}$ kütleli debi iç saydam örtü çapı 10 cm olmak üzere dış saydam örtünün farklı değerleriyle toplayıcı boru uzunluğuna göre akışkan sıcaklığı

Şekil 4.5 ile aynı debideki akışkan için iki katmanlı saydam örtünün bütün çaplarının eğimlerinin aynı olduğu görülmektedir. Tek katmanlı saydam örtüde ulaşılan en yüksek sıcaklık 561 K değeri iken, çift katmanlı sistemde biraz daha iyi sonuçlar alınarak, 565 ile 570 K değerlerine ulaşılmıştır.



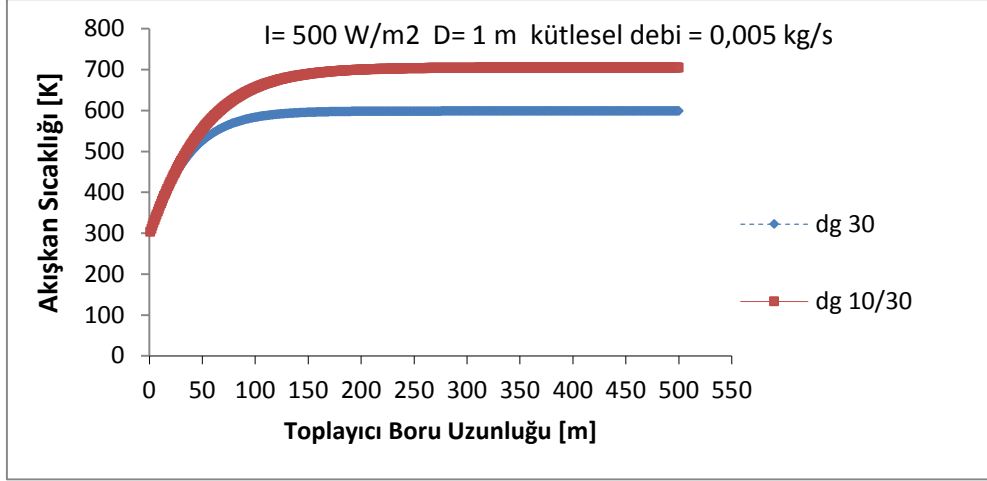
Şekil 4.7 Tek katlı saydam örtüde farklı çaplar için $0,1 \text{ kg/s}$ kütleli debide toplayıcı boru uzunluğuna göre akışkan sıcaklığı

Bu şekilde debinin artmasıyla eğimin azaldığı görülmektedir. Ulaşılan en yüksek sıcaklık 468 K değeridir. Diğer şekillerde olduğu gibi daha küçük çaptaki saydam örtü daha yüksek sıcaklığa ulaşmıştır. 30 cm çapındaki saydam örtüyle ulaşılan sıcaklık ise 462 K hesaplanmıştır.



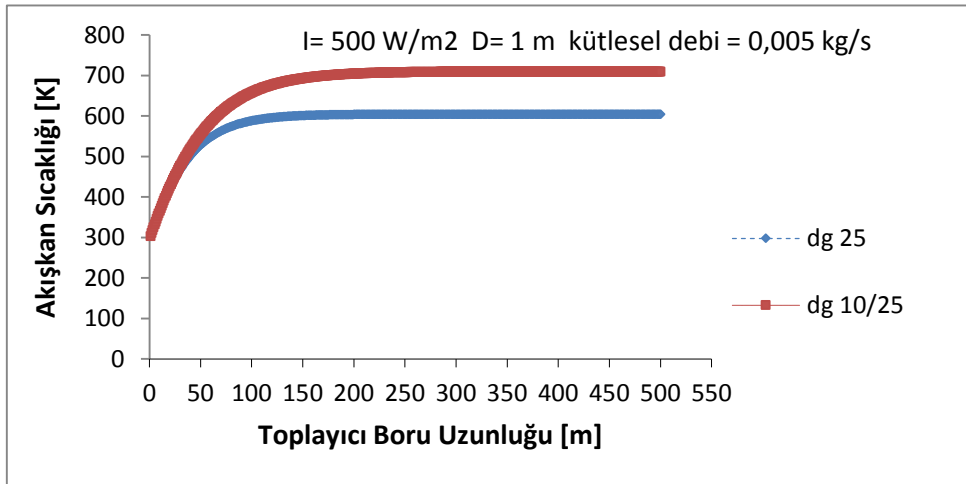
Şekil 4.8 Çift katmanlı saydam örtüde 0,1 kg/s kütleli debi iç saydam örtü çapı 10 cm olmak üzere dış saydam örtünün farklı değerleriyle toplayıcı boru uzunluğuna göre akışkan sıcaklığı

Debinin 0,1 kg/s olduğu bu şekilde ulaşılan en yüksek sıcaklık ise 463 K hesaplanmıştır. Buradaki grafikte diğerlerinden farklı olarak tek katmanlı saydam örtüye göre daha düşük sıcaklık değerlerine ulaşılmıştır.



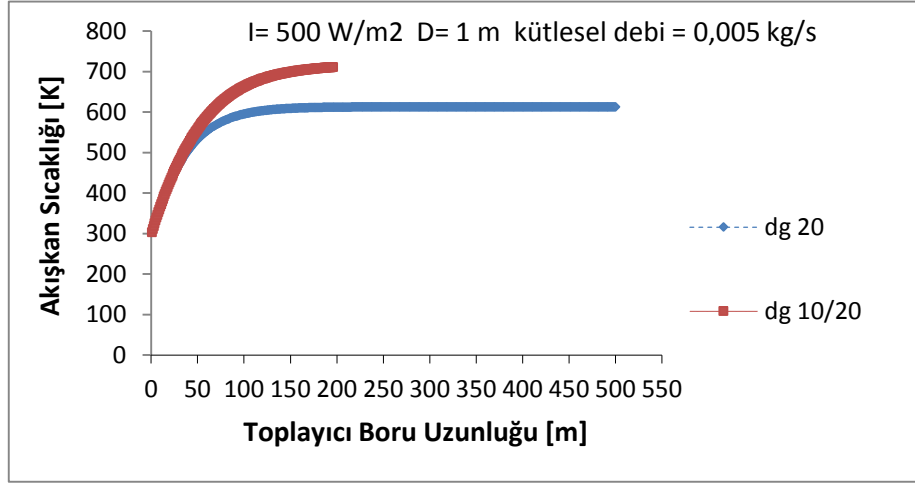
Şekil 4.9 Aynı dış çapta tek ve iki katlı saydam örtüde 0,005 kg/s kütleli debide toplayıcı boru uzunluğuna göre akışkan sıcaklığı

Bu şekilde dış çapı 30 cm olan tek katlı saydam örtüyle toplayıcı boru arasına bir ara katman konulmasıyla nasıl sonuç aldığı izlenebilmektedir. Görüldüğü gibi tek katmanda 598 K sıcaklığa ulaşılabilirken, iki katmanlı toplayıcı borunun 704 K değerine ulaşabildiği hesaplanmıştır.



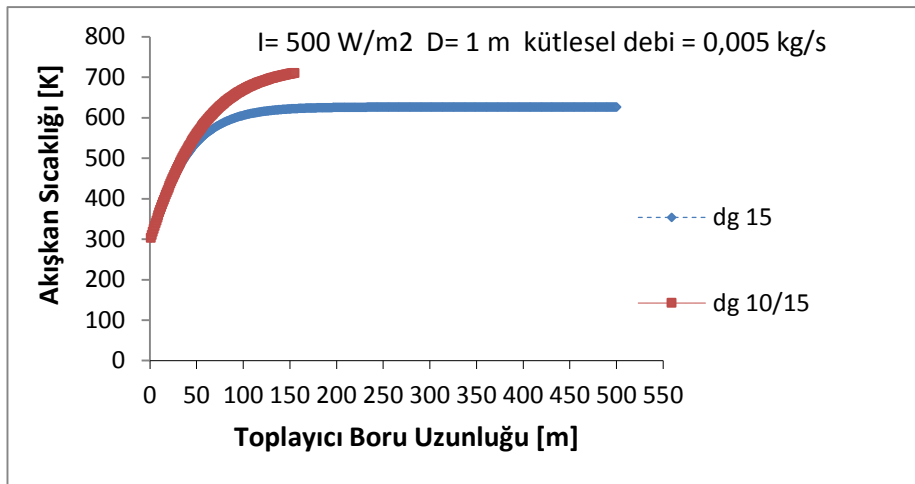
Şekil 4.10 Aynı dış çapta tek ve iki katlı saydam örtüde 0,005 kg/s kütleli debide toplayıcı boru uzunluğuna göre akışkan sıcaklığı

Dış katmanı 25 cm olan saydam örtüyle toplayıcı boru arasına konulan ikinci saydam örtü aynı debide benzer sonucu vermektedir. Tek katmanda 604 K, iki katmanda 709 K sıcaklıklarına ulaşabildiği hesaplanmıştır.



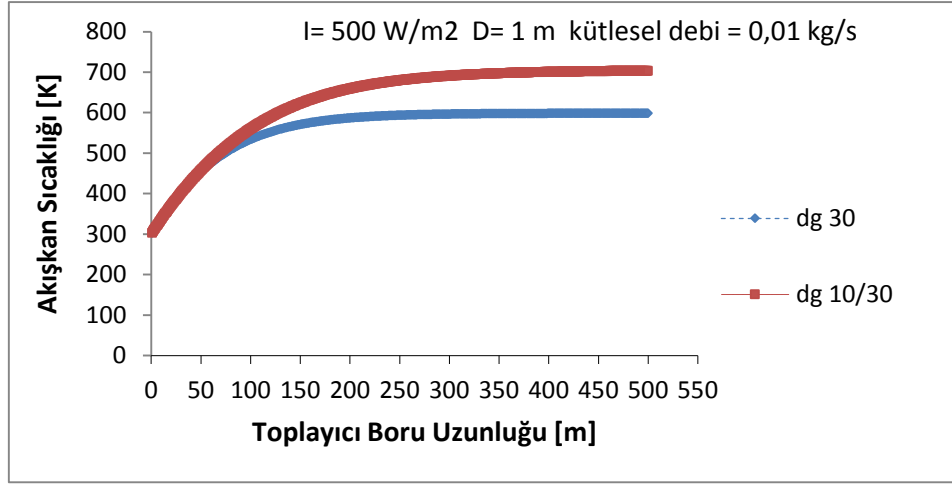
Şekil 4.11 Aynı dış çapta tek ve iki katlı saydam örtüde 0,005 kg/s kütleli debide toplayıcı boru uzunluğuna göre akışkan sıcaklığı

Dış çapın 20 cm olduğu saydam örtü ile akışkan sıcaklığı 613 K, en dıştaki çap 20 cm olmak üzere iki katmanlı saydam örtü ile akışkan sıcaklığı 710 K ya ulaştığı hesaplanmıştır.



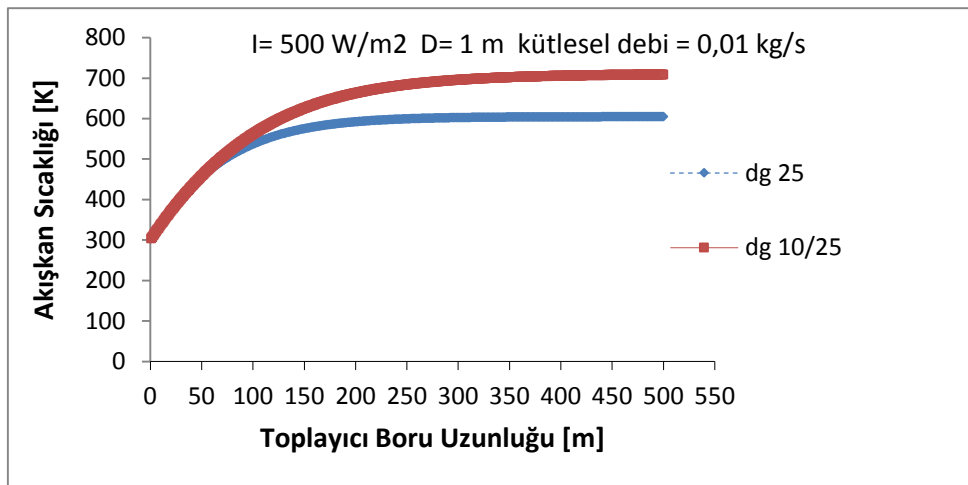
Şekil 4.12 Aynı dış çapta tek ve iki katlı saydam örtüde 0,005 kg/s kütleli debide toplayıcı boru uzunluğuna göre akışkan sıcaklığı

Dış çapın 15 cm olduğu saydam örtü ile akışkan sıcaklığı 626 K, en dıştaki çap 15 cm olmak üzere iki katmanlı saydam örtü ile akışkan sıcaklığı 710 K ya ulaştığı hesaplanmıştır.



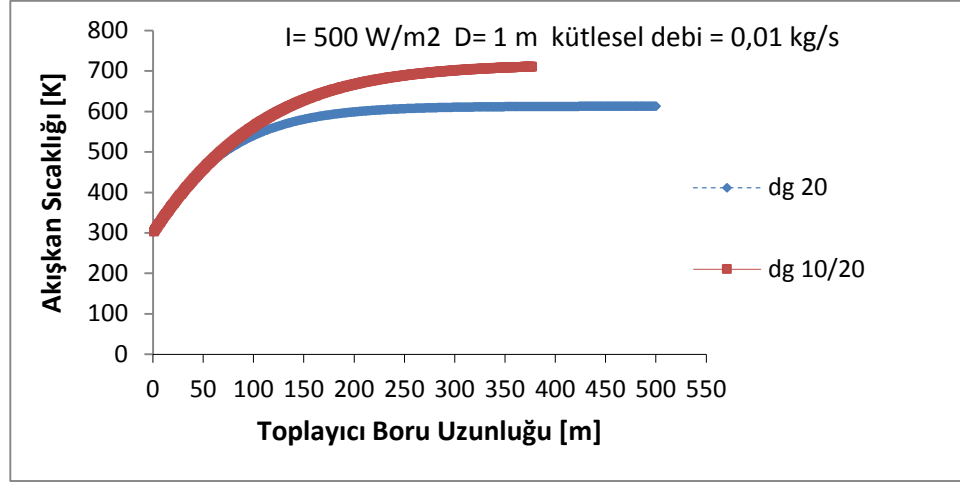
Şekil 4.13 Aynı dış çapta tek ve iki katlı saydam örtüde 0,01 kg/s kütleli debide toplayıcı boru uzunluğuna göre akışkan sıcaklığı

Şekil 4.9' a benzer şekilde olan bu grafikte tek katmanda 598 K sıcaklığa ulaşılmışken, çift katmanda 703 K sıcaklık hesaplanmıştır.



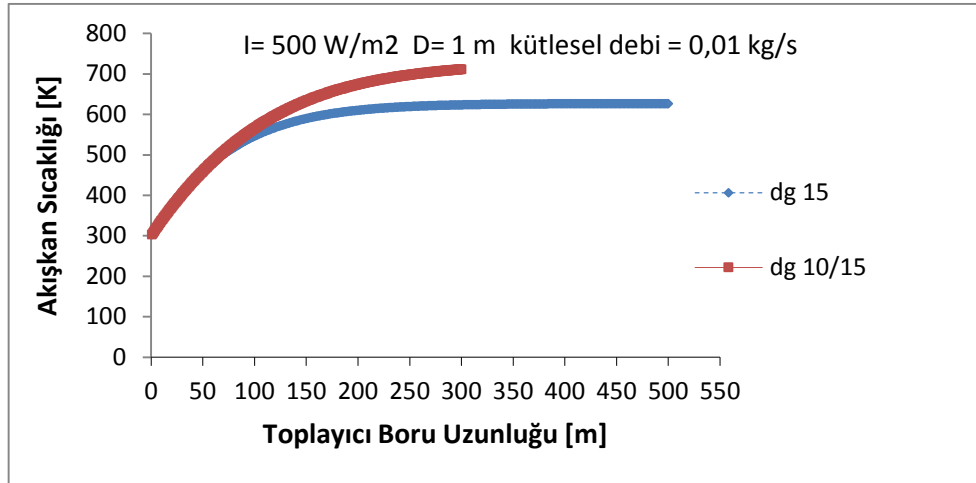
Şekil 4.14 Aynı dış çapta tek ve iki katlı saydam örtüde 0,01 kg/s kütleli debide toplayıcı boru uzunluğuna göre akışkan sıcaklığı

Şekil 4.9 ve 4.13 benzer şekilde tek katmanda 604K ya ulaşılmışken, 709 K çift katmanda hesaplanmıştır.



Şekil 4.15 Aynı dış çapta tek ve iki katlı saydam örtüde 0,01 kg/s kütleli debide toplayıcı boru uzunluğuna göre akışkan sıcaklığı

Çift katmanda kritik sıcaklığa ulaşılmışken, tek katmanda 612 K değeri hesaplanmıştır.



Şekil 4.16 Aynı dış çapta tek ve iki katlı saydam örtüde 0,01 kg/s kütleli debide toplayıcı boru uzunluğuna göre akışkan sıcaklığı

Benzer şekilde çift katmanda kritik sıcaklığa ulaşılmışken, tek katmanda 626 K değerine ulaşılmıştır.

4.2. Sonuç

Şekil 4.1 – Şekil 4.16 yorumlarından düşük sıcaklıklarda çift katmanlı saydam örtünün tek katmanlı saydam örtülere göre verimi artırmakta etkili olmadığı ancak tek katmanlı saydam örtülerde ulaşılan üst sıcaklıkları geçebilmek için çift katmanlı saydam örtünün gerekli olduğu görülmüştür.

Debi [kg/s]	Toplayıcı boru uzunluğu [m]	Çift katman iç saydam çap/dış saydam çap [cm/cm]				Tek katman dış saydam çap [cm]				
		10/15	10/20	10/25	10/30	10	15	20	25	30
		Sıcaklıklar [K]								
0.005	155	710.8	700.9	694.9	690.7	646.3	622.6	609.8	601.7	596.2
0.01	300	710.8	701.2	695.2	691.1	646.9	623.3	610.4	602.3	596.8
0.05	500	570.3	567.9	566.3	565.2	561.6	552.4	547.0	543.4	540.8
0.1	500	463.9	463.3	462.8	462.6	468.5	465.7	464.0	462.9	462.0

Şekil 4.17 İki katmanlı ve tek katmanlı sistemlerin karşılaştırma tablosu.

Şekil 4.17 irdelendiğinde; yüksek yoğunlaştırma oranında ve yüksek sıcaklıklara ulaşmak için çift katmanlı sistemin daha kısa mesafede sonuç verdiği görülmektedir. Örneğin; çift katmanlı sistem ile 0,005 kg/s debide en yüksek sıcaklığa yani 710 K' e 155. metrede ulaşılırken, tek katmanlı sistemde bu toplayıcı boru uzunluğunda daha düşük sıcaklık olan 646,3 K' e ulaşılmaktadır. Benzer şekilde debi 0,01 kg/s olduğunda çift katmanlı sistemde 300. metrede 710 K sıcaklığa ulaşılmakta, tek katmanlı sistemde aynı şartlar altında 646,9 K' e ulaşılmaktadır. Diğer bir ifadeyle, iki sistem arasında aynı şartlarda çift katmanlı sistem maksimum sıcaklığa tek katmanlı sistemden daha önce ulaşarak tek katmanlı sisteme göre verimi daha iyi olacağı görülmektedir.

Benzer şekilde 0,05 kg/s debi ile 500 metre toplayıcı boru uzunluğunda çift katmanlı sistemin daha yüksek sıcaklığa yani 570 K' e ulaştığı, tek katmanlıda ise aynı şartlarda 561,6 K' e ulaşabildiği, böylece çift katmanlı sistemin bu durumda da veriminin daha iyi olacağı görülmektedir.

Ancak düşük sıcaklıkta çalışılması gereken durumlarda yada yüksek debiyle orta sıcaklık (500 Kelvin'den küçük sıcaklıklar) değerlerinde tek katmanlı sistemin daha verimli olduğu Şekil 4.17' de görülebilmektedir. Örneğin; 0,1 kg/s debide çift katmanlı sistemde 500 metre toplayıcı boru uzunluğunda ulaşılan sıcaklık 463,9 K iken, tek katmanlı sistemde aynı toplayıcı boru uzunluğunda ulaşılan sıcaklık 468,5 K olduğu görülmektedir. Bu haliyle tek katmanlı sistemin çift katmanlı sistemden daha verimli olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak; 0–500 K arasındaki düşük akışkan sıcaklıklarında ikinci katmanın bir katmanlı sisteme göre daha verimli olmadığı, 500–700 K arasındaki orta akışkan sıcaklıklarında ise çift katmanlı sistemin veriminin daha yüksek olduğu görülmektedir.

5. KAYNAKLAR

- [1] J.A. Duffy ve W.A. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*, Wiley, New York, 1991, 3- 657.
- [2] M. Yerebakan, *Güneş Kollektörü Uygulamaları*, İTO Yayınları, İstanbul, 2010, 21-124.
- [3] Fatih Akarsu, *Faz Değiştiren Malzemeler Kullanılarak Güneş Enerjisinin Depolanması*, Yüksek lisans tezi, İnönü Üniversitesi Malatya, 2002, 3- 38.
- [4] A. Yigit, İ. Atmaca, *Güneş Enerjisi*, Alfa-Aktüel, Bursa, 2010, 1- 216.
- [5] A. Kılıç, A. Öztürk, *Güneş Enerjisi*, Kiptaş Dağıtımçılık, Türkiye, 1983, 1- 277.
- [6] İ. Akova, *Yenilenebilir Enerji Kaynakları*, Nobel, Ankara, 2008, 2- 74.
- [7] Kamil B. Varınca ve M. Talha Gönüllü, Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma UGHEK’2006: I. Ulusal Güneş Ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, ESOGÜ, Eskişehir, 21-23 Haziran 2006, sayfa 270-271.
- [8] L. Çolak, *Güneşi Takip Eden Parabolik Oluk Tipi Güneş Kollektörlerinin Matematiksel Modellemesi, Tasarımı Ve Teknik Optimizasyonu*, Gazi Üniversitesi, Ankara, 268
- [9] M. D. Espana, and Luis Rodriguez, *Approximate Steady-State Modeling of Solar Trough Collectors*, *Solar Energy*, Vol, 38, No 6, 1987, pp. 447-454.
- [10] Frank P. Incropera, David P. Dewitt, *Isı Ve Kütle Geçişinin Temelleri*, vol. 8, Indiana, 2001, pp. 463- 465.
- [11] Anonymous. (2017). <https://tr.scribd.com/document/59307837/Dowtherm-a-Properties> (on- line access on 18 June, 2017)
- [12] S. W. Churchill, ve M. J. Bernstein, *Heat Transfer*, 1977, pp. 99- 300.
- [13] Anonymous. (2015). http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx (on-line access on 19 Oct, 2015).
- [14] Anonymous. (2015). <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Four-solaire-odeillo-02.jpg> (on-line access on 19 Oct, 2015).
- [15] Anonymous. (2015). <http://www.solarmillennium.de/english/archives/technology/parabolic-trough-power-plants/solar-field/index.html> (on-line access on 19 Oct, 2015).
- [16] S. Candeniz, Silindirik Parabolik Güneş Toplayıcılarının Termodinamik Değerlendirmesi VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve sergisi – TESKON 2007, 2007, pp. 157-172.

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Lütfl BURUNTEKİN; 1978 Malatya doğumlu olup, 1998 yılında Malatya Hacı Ahmet Akıncı Lisesi'nden, 2003 yılında İnönü Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2006 yılında Dicle Üniversitesinde Kamu görevine başladı. 2010 yılında İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitime başladı.