



**GÜNEŞ TERMİK SANTRALLERİNDE KULLANILAN BİR PARABOLİK  
GÜNEŞ KOLEKTÖRÜNÜN TERMAL HİDROLİK ANALİZİ**

**Mustafa DEMİRCİ**

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

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ARALIK 2015**

Mustafa DEMİRCİ tarafından hazırlanan “GÜNEŞ TERMİK SANTRALLERİNDE KULLANILAN BİR PARABOLİK GÜNEŞ KOLEKTÖRÜNÜN TERMAL HİDROLİK ANALİZİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Prof. Dr. H. Mehmet ŞAHİN

Enerji Sistemleri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

**Başkan :** Prof. Dr. Mustafa İLBAŞ

Enerji Sistemleri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

**Üye :** Prof. Dr. Adem ACIR

Enerji Sistemleri Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

**Üye :** Prof. Dr. Erol KURT

Elektrik Elektronik Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

**Üye :** Yrd. Doç. Dr. Özgür EROL

Makine Mühendisliği, Başkent Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: ...../...../.....

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Metin GÜRÜ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
  - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
  - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
  - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
  - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Mustafa DEMİRCİ

# GÜNEŞ TERMİK SANTRALLERİNDE KULLANILAN BİR PARABOLİK GÜNEŞ KOLEKTÖRÜNÜN TERMAL HİDROLİK ANALİZİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Mustafa DEMİRCİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2015

## ÖZET

Bu çalışmada güneş termik santrallerinde kullanılan bir parabolik güneş kolektörünün hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) ile termal hidrolik analizi yapılmıştır. Kızgın buhar kullanılan parabolik kolektörün Reynolds Sayısı ( $Re$ )'na bağlı basınç kaybı  $\Delta P$ , sıcaklık dağılımı  $T$  ve sürtünme faktörü  $f$  etkileri araştırılmıştır. Bu inceleme için bir HAD yazılım programı olan ANSYS-FLUENT kullanılmıştır. Yapılan hesaplamalarda RNG türbülans modelinin Non-equilibrium Wall Function duvar dibi yaklaşımı seçilmiş ve sayısal ağdan bağımsızlığı ispatlanmıştır. Deneysel veriler İspanya'nın Almeria şehrinde kurulu bulunan Platforma Solar Elektrik Santrali'nden alınmıştır. Bu çalışmada kurulmuş olan sayısal modelin sonuçları, 240,4 °C sıcaklık ve 3,21 MPa basınçta yapılan deneysel sonuçlarla uyumlu çıkmıştır. Sonuçların uyumlu çıkması ile 240,4 °C sıcaklık ve 3,21 MPa basınçta 0,499; 0,55; 0,6; 0,65; 0,7 ve 0,8 kg/s kütleli debilerde ve 500 °C sıcaklıkta ve 10 MPa basınçta 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5 ve 1,6 kg/s kütleli debilerde çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca 300 °C sıcaklık ve 1 kg/s kütleli debide 1; 2; 3; 4 ve 5 MPa basınçlar için basıncın akışa etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak  $Re$ 'nin, sürtünme faktörüyle ters orantılı, basınç kaybıyla da doğru orantılı olduğu, basıncın da sürtünme faktörü ve basınç kaybı ile ters orantılı olduğu bulunarak  $Re$ 'ye bağlı korelasyonlar elde edilmiştir. Ayrıca bu çalışmada kütleli debi ve basıncın sıcaklık dağılımına etkisi de incelenmiştir.

Bilim Kodu : 92802

Anahtar Kelimeler : HAD modeli, parabolik güneş kolektörü, sürtünme faktörü, termal hidrolik analiz

Sayfa Adedi : 75

Danışman : Prof. Dr. H. Mehmet ŞAHİN

THERMO HYDRAULIC ANALYSIS OF A PARABOLIC TROUGH SOLAR  
COLLECTOR USING IN SOLAR THERMAL POWER PLANTS

(M. Sc. Thesis)

Mustafa DEMİRCİ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

December 2015

ABSTRACT

In this study, thermo hydraulic analysis of a parabolic trough collector used in solar thermal power plants has been investigated on a computational fluid dynamics (CFD). In that respect, the pressure drop  $\Delta P$ , friction factor  $f$  and temperature distribution  $T$  of dependence Reynolds Number (Re) of the superheated steam flow as heat-transfer fluid in the absorber tubes of the parabolic-trough solar collector have been analyzed effects, numerically. The numerical model has been designed and developed by the CFD package ANSYS-FLUENT with RNG Non-Equilibrium wall function turbulence model. The optimized mesh structures have been constructed and then data of numerical model was matching by the experimental data at 240,4 °C temperature and 3,21 MPa pressure of the solar test facility located at the Plataforma Solar de Almería, Spain. After the results have been compatible, the study has been performed at 0,499; 0,55; 0,6; 0,65; 0,7 ve 0,8 kg/s mass flows in the cases of 240,4 °C temperature and 3,21 MPa pressure and at 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5 ve 1,6 kg/s mass flows in the cases of 500 °C temperature and 10 MPa pressure. In addition, the some other CFD studies have been realized influence of pressure for the fluid for 1; 2; 3; 4 and 5 MPa pressures, 1 kg/ mass flow and 300 °C temperature. Consequently, decided that Re is directly proportional to the pressure drop, inversely proportional to the friction factor and also pressure is inversely proportional to the pressure drop. In addition to these, correlations of related Re were achieved. Furthermore, effects of mass flow and pressure have been examined to temperature distribution in this study.

Science Code : 92802

Key Words : CFD modeling, Parabolic-trough solar collector, friction factor, thermo hydraulic analysis

Page Number : 75

Supervisor : Prof. Dr. H. Mehmet ŞAHİN

## TEŞEKKÜR

Çalışmam boyunca yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren saygı değer hocam Prof. Dr. H. Mehmet ŞAHİN'e, her zaman kıymetli tecrübelerinden faydalandığım değerli hocam Prof. Dr. Erol KURT'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca yardımlarını ve bilgilerini esirgemeyen Ar. Gör. Serhat KARYEYEN'e teşekkürü borç bilirim. Platforma Solar de Almeria'nın Ar-ge müdürü Dr. Eduardo ZARZA ve arkadaşlarına deneysel verileri bizimle paylaştığı için teşekkürlerimi sunarım.

Tüm hayatım boyunca maddi manevi desteklerini esirgemeyen canım anneme ve babama, hayatıma güzellikler katan ve beni daha iyi bir insan yapan saygıdeğer, sevgili eşim H. Dilara DEMİRCİ'ye ve ailesine, onunla vakit geçirebildiğim sürede bütün yorgunluğumu unutturan biricik oğlum A. Furkan'a çok teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	v
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	viii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
3. GÜNEŞ ENERJİSİ .....	11
3.1. Güneş Enerjisine Genel Bakış.....	11
3.2. Türkiye'nin Güneş Potansiyeli.....	12
4. GÜNEŞ ENERJİSİ UYGULAMA ALANLARI.....	15
4.1. Fotovoltaik Uygulamaları .....	16
4.2. Termal Uygulamaları .....	19
4.2.1. Sıcak su üretimi.....	20
4.2.2. Elektrik üretimi .....	21
4.2.3. Isıl enerji depoları .....	28
5. SİSTEMİN TANITIMI ve HAD İLE MODELLENMESİ.....	31
5.1. Güneş Enerji Sistemi.....	31
5.2. Deneysel Verilerin Ölçülmesi .....	31
5.3. Kolektörün HAD ile Modellenmesi .....	32
5.3.1. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği .....	32

	<b>Sayfa</b>
5.3.2. Geometrinin çizilmesi .....	35
5.3.3. Sayısal ağın (mesh) kurulması ve seçimi .....	36
5.3.4. Sayısal modelin sınır koşullarının belirlenmesi ve modelin kurulması ....	42
6. SONUÇLAR ve TARTIŞMA .....	49
7. SONUÇ ve ÖNERİLER .....	67
KAYNAKLAR .....	69
EKLER.....	73
EK-1. ECRES 2015 Antalya Konferans Makalesi Sunumu “NUMERICAL ANALYSES OF CONCENTRATED SOLAR RECEIVER PIPES WITH SUPERHEATED STEAM” .....	74
ÖZGEÇMİŞ .....	75

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Aylara ve bölgelere göre Türkiye'nin yıllık güneşlenme süresi.....	13
Çizelge 5.1. 330 058, 2 313 652, 3 427 024 ve 4 264 414 eleman sayılı model ve deneysel sonuçlar .....	40
Çizelge 5.2. Basıncı 3,21 MPa, sıcaklığı 240,4 °C olan kızgın buharın özellikleri.....	43
Çizelge 5.3. 500 °C sıcaklık ve 10 MPa basınçta kızgın su buharı özellikleri .....	47
Çizelge 5.4. 300 °C ve 1; 2; 3; 4 ve 5 MPa basınçtaki kızgın buhar özellikleri .....	48
Çizelge 6.1. Referans noktadaki 240,4 °C sıcaklık ve 3,21 MPa basınçtaki sayısal modelin ve deneyin sıcaklıklarının karşılaştırılması.....	54

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Avrupa'nın güneş haritası.....	12
Şekil 3.2. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyel atlası (GEPA) .....	13
Şekil 4.1. Fotovoltaik pilin yapısı ve elektrik üretimi .....	17
Şekil 4.2. Basit Bir Fotovoltaik Sistemin Şematik Gösterimi .....	18
Şekil 4.3. Çanak/motor sistemleri.....	22
Şekil 4.4. Stirling motoru uygulaması ve çalışma prensibi .....	23
Şekil 4.5. Güneş kulesi santralleri.....	24
Şekil 4.6. Parabolik güneş kolektör sistemleri.....	26
Şekil 4.7. Doğalgazla hibritlenmiş PGK güç santrali .....	27
Şekil 4.8. Isıl enerji depolu PGK santrallerinin şematik gösterimi.....	29
Şekil 4.9. Isıl depolu bir YGS'nin bir günlük çalışma çizelgesi.....	30
Şekil 5.1. İspanya'da bulunan Plataforma Solar de Almeria PGK elektrik santralinin şematik gösterimi .....	31
Şekil 5.2. Ölçüm yapılan referans noktalarının gösterimi .....	32
Şekil 5.3. Kullanılan geometri .....	36
Şekil 5.4. 330 058 ve 3 427 024 eleman sayılarına sahip modellerin inlet yüzeyinin Z koordinatına dik sayısal ağ görüntüsü.....	38
Şekil 5.5. 330 058, 2 313 652, 3 427 024 ve 4 264 414 eleman sayılı model sonuçlarının deneysel sonuçlarla karşılaştırılması.....	39
Şekil 5.6. Referans E noktası için $T_{ölçülen}/T_{deneysel}$ (fark) değerlerinin farklı eleman sayıları için grafikte gösterimi .....	40
Şekil 5.7. 4 264 414 eleman sayılı modelin inlet yüzeyinin Z koordinatına dik sayısal ağ görüntüsü.....	42
Şekil 5.8. Absorban borunun dış yüzeyi üzerindeki ısı akısı dağılım fonksiyonu.....	45
Şekil 5.9. Boru dış yüzeyine sınır koşulu olarak tanımlanmış ısı akısının grafiği.....	46

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 6.1. 240,4 °C sıcaklık ve 3,21 MPa basınçtaki sayısal modelin kalıntı değerlerinin iterasyonlara bağlı değişim grafiği .....	49
Şekil 6.2. 240,4 °C sıcaklık ve 3,21 MPa basınçtaki sayısal modelin çıkış sıcaklığının dağılımı .....	50
Şekil 6.3. 240,4 °C sıcaklık ve 3,21 MPa basınçtaki sayısal modeldeki iç akışın orta yüzeyindeki toplam basınç dağılımı .....	51
Şekil 6.4. 240,4 °C sıcaklık ve 3,21 MPa basınçtaki sayısal modeldeki iç akışın orta yüzeyindeki hız dağılımı.....	52
Şekil 6.5. Referans noktadaki 240,4 °C sıcaklık ve 3,21 MPa basınçtaki sayısal modelin sıcaklık dağılımının deneyden ölçülen sıcaklık dağılımıyla karşılaştırılması .....	53
Şekil 6.6. 240,4 °C sıcaklık ve 3,21 MPa basınç için Re'ye bağlı sürtünme faktörü grafiği ve korelasyonu.....	55
Şekil 6.7. 240,4 °C sıcaklık ve 3,21 MPa basınç için Re'ye bağlı basınç kaybı grafiği ve korelasyonu .....	56
Şekil 6.8. 240,4 °C sıcaklık ve 3,21 MPa basınçta 0,499; 0,55; 0,6; 0,65; 0,7 ve 0,8 kg/s kütleli debilerde sıcaklık dağılım grafiği .....	57
Şekil 6.9. E referans noktası için 240,4 °C sıcaklık ve 3,21 MPa basınçta 0,499; 0,55; 0,6; 0,65; 0,7 ve 0,8 kg/s kütleli debilerde sıcaklık değişimi grafiği.....	58
Şekil 6.10. 10 MPa basınç ve 500 °C sıcaklıkta 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5 ve 1,6 kg/s kütleli debiler için Re'ye bağlı sürtünme faktörü grafiği .....	59
Şekil 6.11. 10 MPa basınç ve 500 °C sıcaklıkta 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5 ve 1,6 kg/s kütleli debiler için Re'ye bağlı basınç kaybı grafiği.....	60
Şekil 6.12. 10 MPa basınç ve 500 °C sıcaklıkta 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5 ve 1,6 kg/s kütleli debiler için çıkış sıcaklığı dağılım grafiği .....	61
Şekil 6.13. E referans noktası için 10 MPa basınç ve 500 °C sıcaklıkta 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5 ve 1,6 kg/s kütleli debiler için çıkış sıcaklığı değişimi.....	62
Şekil 6.14. 300 °C sıcaklık ve 1 kg/s kütleli debide 1; 2; 3; 4 ve 5 MPa basınçta giriş basıncına bağlı sürtünme faktörü grafiği ve korelasyonu .....	63
Şekil 6.15. 300 °C sıcaklık ve 1 kg/s kütleli debide 1; 2; 3; 4 ve 5 MPa basınçlarda, giriş basıncına bağlı basınç kaybı grafiği ve korelasyonu .....	64
Şekil 6.16. 300 °C sıcaklık ve 1 kg/s kütleli debide 1; 2; 3; 4 ve 5 MPa basınçta sıcaklık dağılım grafiği .....	65

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

### Simgeler

### Açıklamalar

<b>a</b>	Alan, m <sup>2</sup>
<b>e</b>	Enerji, J
<b>f</b>	Sürtünme faktörü
<b>k</b>	Isı iletim katsayısı, W/mK
<b>ṁ</b>	Kütleli debi, kg/s
<b>p</b>	Basınç, Pa
<b>r</b>	Yarıçap, m
<b>re</b>	Reynolds sayısı
<b>t</b>	Sıcaklık, K veya °C
<b>u</b>	X ekseninde hız bileşeni, m/s
<b>v</b>	Y ekseninde hız bileşeni, m/s
<b>q</b>	Isı Transferi, J
<b>w</b>	İş, J
<b>z</b>	Z ekseninde hız bileşeni, m/s
<b>ρ</b>	Yoğunluk, kg/m <sup>3</sup>

### Kısaltmalar

### Açıklamalar

<b>DYS</b>	Doğrusal yoğunlaştırıcı sistemler
<b>GEPA</b>	Güneş enerjisi potansiyel atlası
<b>GES</b>	Güneş enerji sistemi
<b>HAD</b>	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
<b>HGA</b>	Hacimsel güneş alıcıları
<b>NYS</b>	Noktasal yoğunlaştırıcı sistemler
<b>PGK</b>	Parabolik güneş kolektörleri
<b>PSES</b>	Platforma Solar Elektrik Santrali

**Kısaltmalar**

**Açıklamalar**

**YGE**

Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi

**YGS**

Yoğunlaştırıcı güneş santralleri

## 1. GİRİŞ

Canlıların temel yaşam kaynağı olan enerji, Sanayi Devrimi ile tüm dünyada daha da önemli bir konuma gelmiş olup, ülkelerin ve endüstrilerin gelişmişlik düzeylerini belirleyen en önemli göstergelerden birisi haline gelmiştir. Sanayi Devrimi'nden günümüze gelen süreçte sürekli artış gösteren enerji talebinin büyük bir miktarı fosil kaynaklı yakıtlardan karşılanmaktadır.

Fosil yakıtların rezervlerinin dünyada sınırlı ve karbon gazı emisyonlarının yüksek olmasının yanında, çevreye verdiği zararların geri dönüşünün olmaması nedeniyle günümüzde alternatif enerji kaynakları aranmaya başlanmıştır. Ayrıca alternatif enerji kaynaklı sistemlerin geliştirilmesi çok önemli bir hal almıştır. Enerji üretirken çevreye de en az zararı verebilmek için yenilenebilir enerji kaynaklarına ve bu kaynakları kullanabilecek teknolojilere yönelim günümüzde oldukça önem kazanmıştır. Bu yenilenebilir enerji kaynaklarından bir tanesi ve belki de en önemlisi insanlığın doğuşundan günümüze kadar olan süreçte insanoğlunun ısı, ışık gibi çeşitli şekillerde kullandığı güneş enerjisidir.

Güneş enerjisi bilinen en eski enerji kaynağı olup günümüzün de en önemli yenilenebilir enerji kaynakları arasındadır. Güneş enerjisinden elektrik üretebilmek için yapılan teknolojik çalışmalar hızlanmıştır. Bunların başlıcaları, küçük kapasiteler de dahi kurulabilen ve güneş ışığından doğrudan elektrik üretmek amacıyla kullanılan fotovoltaik güneş pilleri ve akışkanı yüksek sıcaklıklara çıkararak geleneksel sistemlerle elektrik üretebilmek amacıyla kullanılan yoğunlaştırıcı güneş sistemleridir. Bu yoğunlaştırıcı sistemlerin verimleri ve elektrik üretim kapasiteleri fotovoltaik sistemlere göre daha yüksektir. Parabolik güneş kolektörleri (PGK), yoğunlaştırıcı güneş sistemleri arasında en yaygın kullanılanıdır.

Bu tezin amacı PGK teknolojisine katkı sağlayabilmektir. Bu nedenle de güneş termik santrallerinde kullanılan 4 metrelik bir kolektörün, sonlu hacimler yöntemi ile hesaplama yapan hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) paket programı olan Fluent'te sayısal modelini kurup, İspanya'nın Almeria şehrinde kurulu bulunan

Platforma Solar Elektrik Santralinden (PSES) alınan sonuçlarla karşılaştırarak performans analizi yapılmıştır. Bu tezdeki hedef de kurulan modelden alınan sonuçların santralden alınan sonuçlarla uyumlu çıkmasıdır.

PSES'ten alınan verilerden kızgın buhar bölgesinde sıcaklığı 240,4 °C ve basıncı 3,21 MPa olan bölge seçilmiş ve sonuçlar uyumlu çıkmıştır. Daha sonra bu sıcaklık ve basınçta 0,499; 0,55; 0,6; 0,65; 0,7 ve 0,8 kg/s kütleli debilerde Re'ye bağlı sürtünme faktörü, basınç kaybı ve sıcaklık dağılımı analizi yapılmıştır. Ayrıca hedef olarak günümüzde direk buhar türbinli sistemlerde uygulanmaya çalışılan 500 °C sıcaklık ve 10 MPa basınçta 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5 ve 1,6 kg/s kütleli debilerde kızgın buharın sürtünme faktörü, basınç kaybı ve sıcaklık dağılımının Re'ye göre değişimi incelenmiştir. Son çalışma olarak da basıncın sıcaklık dağılımı üzerine etkisini inceleyebilmek amacıyla 300 °C sıcaklık da sırasıyla 1; 2; 3; 4 ve 5 MPa basınçta 1 kg/s kütleli debide akışkanın basınç değişimine göre sürtünme faktörü, basınç kaybı ve sıcaklık dağılımı incelenmiştir.

Bir sonraki bölümde, literatürde PGK santralleri üzerine yapılan çalışmalardan kısaca bahsedilmiştir. Daha sonraki bölümlerde de güneş enerjisi, Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli, güneş enerjisi uygulama alanları ve güneş enerjisinden elektrik üretim teknikleri, deneysel verilerin alındığı Platforma Solar Elektrik Santrali, modelin kurulduğu ANSYS-FLUENT programı, kurulan model, modelde hesaplanan sonuçlar hakkında bilgiler verilmiştir. Son olarak bulunan sonuçlar değerlendirilmiş ve bu sonuçlar hakkında yorumlar yapılmıştır.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Valden, Valenzuela ve Zarza PGK'de kullanılan çelik borunun, akışkan olarak kızgın buhar kullanıldığında ısı gerilmelerini incelemişlerdir. Kızgın su buharının ısı iletimi suya göre çok daha düşük olduğundan ve sıcaklıklarının çok daha yüksek olması dolayısıyla kolektör borularının üzerindeki ısı gerilmeler daha kritik bir hal alacaktır. Bu incelemeyi yapabilmek için PGK'de kullanılan çelik borunun yüzeylerinde sıcaklık profili hesaplamışlar ve akışkan olarak kızgın su buharı seçip bir HAD modeli kurmuşlardır. Bu modelin analizini, temeli sonlu hacimler yöntemine dayanan ve paket yazılım programı olan ANSYS-FLUENT'te yapmışlardır. Valden ve arkadaşları bu çalışmalarında kurdukları modelde bulunan sonuçları, deneysel verilerle karşılaştırmışlar ve hata oranlarını hesaplayarak, bu hataların sebeplerini öngörmüşlerdir [1].

Valan Arasu ve Sornakumar sıcak su üretimi için ASHRAE standartı 93, 1986'ya göre 1 m<sup>2</sup>'lik alana sahip PGK sisteminin karakteristik performansını incelemiş ve sistemin verimini yaklaşık 0,6905 olarak hesaplamışlardır. PGK'nin sıcak su üretimi için ASHRAE standartı 93, 1986'ya uygun olduğunu görmüşlerdir. Deneyi yaptıkları koşullarda bu sistemin sürekli en yüksek verimde çalıştığı görüşüne ulaşmışlardır [2].

Alaydi deniz suyunu tuzdan arındırarak tatlı su üretebilmek amacı ile PGK optimizasyonunu yapmıştır. Optimizasyonu yapılan PGK verimlerini, geleneksel düz plakalı kolektör verimleriyle karşılaştırmıştır. Bu karşılaştırmanın sonucunda da PGK'nin daha verimli olduğunu gözlemlemiştir. Alaydi PGK'nin deniz suyunu tuzdan arındırma sistemlerinin maliyetlerini fosil kaynaklarla kıyaslandığında daha pahalı olduğunu gözlemlemiştir ve fosil yakıtların gerek fiyatlarının yükselmesi ve gerekse de çevreye verdikleri zarar göz önüne alındığında da iyi bir alternatif kaynak olduğu sonucuna varmıştır [3].

Brooks, Mills ve Harms Güney Afrika'ya göre PGK'nin ASHRAE 93-1986 standartlarını uygulayarak performansını incelemişlerdir. Güneş enerjisi araştırma programı içerisinde değişkenlerin testlerini yapabilmek için kolektör tasarımı yapıp

akışkan olarak da su kullanmışlardır. Vakumlu cam korumalı ve korumasız alıcıların testini yapmışlardır. Cam korumasız sistemin maksimum ısıl verimini %53,8 ve cam korumalı sistemin maksimum ısıl verimi de %55,2 gibi birbirine yakın değerler bulmuşlardır. Cam korumalı kolektörlerin rüzgardan daha fazla koruduğunu ve baştan başa ısı kaybına daha fazla engel olduğunu görmüşlerdir. Brooks ve arkadaşları ısı kaybının rüzgarın hızına ve ortamın sıcaklığına bağlı olması nedeniyle cam korumalı sistemlerin daha da kullanışlı olduğu sonucuna varmışlardır [4].

Lobon, Baglietto, Valenzuela ve Zarza sulu sistemli doğrudan buhar üretimli PGK'nin güneşten elektrik üretimi için yüksek megavat aralıklarına çıkmalarının veya endüstriyel alanlarda ısı temini için kullanılmalarının ekonomik açıdan cazip bir seçenek olduğunu belirtmişlerdir. Fakat güneş kolektöründeki boru içinde bulunan akışın tek faz ve çift faz olması yoğunlaştırıcı güneş teknolojilerinin simülasyonlarının yapılması ve süreç kontrol aşamalarının geliştirilmesi açısından zorluklar çıkardığını belirtmişlerdir. Bu nedenle de Lobon ve arkadaşları bu çalışmalarında doğrudan buhar üretimli PGK'de çoklu fazın davranışlarını inceleyebilmek için STAR-CCM+ adlı HAD paket programında sistemin simülasyonunu kurarak, buldukları sonuçları İspanya'nın Almeria şehrinde kurulmuş olan PSES'den ölçülen sonuçlarla karşılaştırmışlardır. HAD ve ölçülen sonuçlar karşılaştırıldığında hata payını maksimum sıcaklıklar için yaklaşık 3<sup>0</sup>C (≈ %2), basınç kaybını da yaklaşık 0,02 MPa (≈ %10) olarak bulmuşlardır. Sonuç olarak onlar kurdukları HAD modelinin PSES yerine farklı deneysel amaçlar içinde kullanılabileceğini söylemişlerdir [5].

Romero, Garcia, Arenas, Lopez ve Vazquez yüksek erime noktasına sahip metallere H13 isimli takım çelikleri ve AISI 316L isimli paslanmaz çeliklerle kaynak çalışması yapmak için yoğunlaştırılmış güneş enerjisi (YGE) kullanmışlardır. Argon gazı altında 60 mm boyunca 2 mm ve 5 mm kalınlığında farklı geometrik şekillerde çelik plakalara, boyuna kaynak çalışmaları yapmışlardır. Bu çalışma 2 kW termal güce sahip dikey eksenli parabolik yoğunlaştırıcı PROMES CNRS güneş tesisinde (Odeillo – Font – Romeu, Güneydoğu Fransa) yapılmıştır. Kaynak numunelerinin kesitlerini çeşitli şekillerde incelemiş ve bazı metalürjik dönüşümler gözlemlemişlerdir. Onlar bu iki malzeme içinde hatasız

kaynak yapabilmeyen, geometrik şeklin, güneş ışınının ve takip hızının optimizasyonun yapılması ile mümkün olabileceğini söylemişlerdir. Sonuç olarak da Romero ve arkadaşları güneş ışınları ile yapılan kaynağın, ekonomik açıdan imkansız olmasının yanında güneş ışınları ile yüksek sıcaklıklarda metalürjik işlemler yapabilmeyenin mümkün olduğunu belirtmişlerdir [6].

SethiE, Pandey ve Shukla günümüzde petrol kaynaklı, yakın gelecekte de su kaynaklı sorunlar yaşanacağını ön görerek yaptıkları çalışmada enerji kaynağı olarak güneşi, su kaynağı olarak da denizi seçmişlerdir. SethiE ve arkadaşları kojenerasyon sistemi kullanarak deniz suyunu damıtma sistemlerini YGE santralleri ile birleştirerek Ortadoğu'da ve Kuzey Afrika'da yeni taze kaynakların oluşturulabileceğini çalışmalarında göstermişlerdir [7].

Kuravi, Trahan, Goswami, Rahman ve Stefanakos YGE santralleri için ısı enerjisi depoları tasarlamaya çalışmışlardır. Kuravi ve arkadaşları bu santrallerin daha da geliştirilebilmesi için ısı enerjisi depolarının anahtar rolü olduğunu savunmuş ve depolama sistemleri üzerine bir sürü çalışma olmasına rağmen elektrik santralleri için enerji depolama sistemlerine ayrı bir odaklanma olmadığını tespit etmişlerdir. Onlar ısı enerjisi depolarının maliyet analizini de yaparak 5 ¢/kWh'ten 2020 yılında 1 ¢/kWh'e düşeceği öngörüsünde bulunmuşlardır [8].

Zemler, Bohl, Rios ve Boetcher yoğunlaştırıcı güneş santrallerinin (YGS) megavat seviyelerine çıkabildiğini ve daha ucuz ve daha hafif malzemeler kullanılarak geliştirildiğinde daha kullanışlı olacağını belirtmişlerdir. Zemler ve arkadaşları YGS'nin bu özelliklerine rağmen PGK'nin rüzgar kuvvetine dayanımı üzerine çalışmalar yapmışlardır. Bunun için farklı konumlarda farklı rüzgar hızları altında ve farklı parabol açıklıklarında nümerik modelini oluşturarak buldukları kuvvet ve tork verilerini makalelerinde yayınlamışlardır. Zemler ve arkadaşları son olarak oluşturdukları modelin birde rüzgar tüneli altında test edilmesini tavsiye etmişlerdir [9].

Hacimsel güneş alıcıları (HGA), güneş santrallerinde yoğunlaştırılmış güneş ışınımını yüksek sıcaklığa çevirerek termik motoru ısıyla çalıştırmak için kullanılır. Bu amaç için genellikle gözenekli yüksek sıcaklık malzemeleri kullanılır. Çünkü

sistemin verimi için yüzeyin gözenekli olması çok önemlidir ve bu konudaki yapılan bütün ar-ge çalışmaları bu niceliğin optimizasyonu üzerine yoğunlaşmıştır. Fend, Schwarzbözl, Smirnova, Schöllgen ve Jacob da çalışmalarını HGA'da ısı geçişi ve akış üzerine sayısal bir model kurarak yapmışlardır. Bu modeli, gözenekli yapıların geometrik yapılarının hafifçe değiştirilmesinin sıcaklık dağılımına etkisini ve sistemin verimini yükseltmeyi amaçlayarak kurmuşlardır. Bu amaçla çeşitli parametreler üzerinde değişiklikler yapmışlar ve sonuç olarak da Fend ve arkadaşları buldukları sonuçları, deneysel sonuçlarla karşılaştırabilmeyi sonraki çalışmalarında yapacaklarını belirtmişlerdir [10].

Manikandan, Kumerasan, Velraj ve Iniyar yaptıkları çalışmada PGK'nin güneşte teorik performansını incelemişler ve PGK'nin termal analizi üzerinden performansını değerlendirmişlerdir. Manikandan ve arkadaşları kütle debisi, yoğunlaştırma oranı, farklı akışkanlar, güneş ışınım şiddeti ve ışınımı soğurma faktörlerinden oluşan parametrelerle çalışmışlardır. Onlar PGK'nin verimini incelerken debinin azaldığını, zaman giriş sıcaklığının yükseldiğini ve güneş ışınım kayıplarının artmasıyla da kolektör sıcaklığının yükseldiğini belirtmişlerdir. Sonuç olarak da bu makalede buldukları sonuçların gelecekte geliştirilen deneysel çalışmalara giriş parametreleri olabileceğini öngörmüşlerdir [11].

Odeh ve Morrison, güneş kolektörleriyle yapılan ısıtma işlemlerinin geleneksel enerji kaynaklarına oranla CO<sub>2</sub> salınımını azaltacağını ve küresel ısınmayı engelleyeceğini belirtmişlerdir. Güneş enerji kaynaklı ısıtmanın en önemli termal ve işletim problemi olan dengesiz güneş ışınımı şartlarının, endüstriyel su ısıtma işlemlerinde kullanılan PGK'nin performansı üzerine etkilerini analiz edebilmek için bir simülasyon model geliştirmişlerdir. Yaptıkları çalışmada sonuç göstermiştir ki dengesiz güneş ışınımı periyotlarının suyu ısıtma süreci esnasında ani değişiklikleri ve kararsızlığı engellemek için kolektörün ısı depo tankının alanı 14,51 m<sup>2</sup> küçük olmamalıdır. Odeh ve arkadaşı bu çalışmalarında, 30 dakikadan daha küçük olan dengesiz güneş ışınımı periyotlarının işletim sürecinde önemli bir etkisinin olmadığını ve bu periyotlarda kolektör içerisindeki akışkan suyun debisini iki katına çıkarttıkları zaman işletim koşullarının 1,5 katına çıktığını göstermişlerdir.

Sonuç olarak da:

- Isıl depo tankının alanı, optimum boyutlardan küçükse işletme esnasında ani ve dengesiz ısıl değişimler meydana gelebilir.
- Küçük periyotlu dengesiz ışınlama şartları altında, ısıl depo tankının sıcaklığı sert bir değişiklik göstermez ve kolektör kendi sıcaklığını bu süreçte muhafaza edebilir.
- Uzun süreli bulutlu havalarda ısıl depo tankı ile kolektör arasındaki çevrimin kapatılması ısı kaybını engellemede daha uygun bir yöntem olacaktır.
- Optimum akışkan debisi (0,4 kg/s) iki katına çıkartılırsa sistemin işletim süresi de % 150 artacaktır.

Yukarıda bulunan bu dört maddelik çıkarımda bulunmuşlardır [12].

Li, Kecskemethy, Arif ve Dubowsky çoğu güneş enerjisi sisteminin (GES) önemli bir parçası olan parabolik yoğunlaştırıcı aynaların hassas üretiminin ve taşınmasının çok pahalı olması nedeniyle yüksek ışınlama yansıtma özelliği olan bir yüzeye sahip ince ve çok esnek metal levhadan yapılan yeni bir tasarım geliştirmişlerdir. Optimize edilmiş hassas parabol şeklinde yansıtıcı levha her bir köşe noktasından, levhanın arkasında bulunan iskelet şeride bağlanmıştır. Bu şeridin şekli ve kalınlığı sonlu elemanlar analizi ve laboratuvar deneyleriyle hazırlanan nümerik modeller vasıtasıyla optimize edilerek, geleneksel metotlarla karşılaştırıldığında daha kolay üretilen ve taşınabilen bu sistemin yatırım maliyetinin de daha az olduğunu göstermişlerdir. Son olarak Li ve arkadaşları kullandıkları yaklaşım ile daha ucuz ve basit sistemler geliştirilerek hassasiyeti yüksek, YGS üretilerek yaygınlaştırılabileceğini ümit etmektedirler [13].

Yassen de Irak'ta bulunan Tikrit kasabası için yaz ve kış boyunca PGK ısıl verimlerini teorik ve deneysel olarak hesaplamak için çalışmıştır. Teorik çalışmada, kolektörün uzunluk birimleri ve teknik özellikleri teorik ısıl verimi bulmak için Fortran 90 isimli programa girilerek hesaplamalar yapılmıştır. Yassen bu çalışmasında, deneysel ısıl verimleri, teorik ısıl verimlerden % 7-15 arası daha düşük bulmuş ve akışkan suyun debisinin arttıkça ısıl veriminin de buna bağlı olarak artacağını ve 40 kg/h gibi belli bir debiden sonra önemli bir artışın olmayacağını da tespit etmiştir. Son olarak da Yassen, kolektörün Tikrit kasabası

için kıştaki ısı verimin yazdaki veriminden % 2-5 arası daha yüksek olduğunu belirtmiştir [14].

Montes, Abadanes ve Martinez-Val doğrudan buhar üretilen PGK'nin çevrim kapasitelerinin uygulama performansları üzerine etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla ısı depolu, doğalgaz kazanı destekli 50 MW<sub>e</sub> kapasiteli doğrudan buhar üretilen elektrik santralini referans seçmişlerdir. Bu iki sistem de elektrik şebekesine optimum bağlantı için gerekli görülmüştür. Isıl depolar doğrudan buhar üretim teknolojilerinde hala açık bırakılan bir konu olsa da, santralin performans optimizasyonu için bir serbestlik derecesi daha oluşturmaktadır. Montes ve arkadaşları bu çalışmalarında meteorolojik verileri de kullanarak açık ve bulutlu günlerde söz konusu referans santralin performansını inceleyerek maliyet analizi çıkarmışlar ve elektrik üretim maliyetini düşürse de yatırım maliyetini çok arttırdığını tespit etmişlerdir. Doğrudan buhar üretilen PGK, bu yatırım maliyetiyle beraber güneş sahalarının ve depolarının daha iyi hale gelmesi, bu hibrit sistemin fosil yakıt tüketimini önemli derecede düşürmesi gibi sebeplerden dolayı elektrik üretmek amacıyla fosil yakıt tüketimini sınırlandıran ülkeler için çok kullanışlı bir seçenektir. Montes ve arkadaşlarının bu çalışması, sonuç olarak günlük hava durumunun, kullanım performansının ve ekonomikliğinin doğrudan buhar üretilen PGK üzerine büyük etkisi olduğunu göstermiştir [15].

Garcia-Valladares ve Velazquez tek geçişli ve çift geçişli PGK'nin geometrik, optik, termal ve akışkan dinamiği hallerini incelemek amacıyla sayısal model oluşturmuşlardır. Kurdukları modelde buldukları kararlı haldeki sıcaklık artışlarını, ısı verimleri ve ısı kayıpları, Sandia Ulusal Laboratuvarı'nda bulunan tek geçişli PGK'deki cam ile absorban boru arasında hava ve vakum kullanarak, akışkan olarak da tek fazda su ve termik yağ seçerek yapılan deneysel verilerle karşılaştırmışlardır. 20 adet veriden hesaplanan hata oranları ısı verim için maksimum % 6,02, ortalama da %  $\pm 2,19$  ve sıcaklık artışı için de maksimum % 5,99 veya 1,07 °C, ortalama da %  $\pm 2,25$  veya  $\pm 0,41$  °C'dir. Garcia-Valladares ve arkadaşı kurdukları bu modelin, korunum denklemlerinin uygulanmasına ve edinilen tecrübelerle ilintili olmasına bağlı olarak diğer akışkanlar, karışımlar ve işletme şartları içinde gönül rahatlığıyla kullanılabileceğini ve bu türlü sistemlerin geliştirilmesine, tasarımına ve optimizasyonuna izin verdiğini belirtmektedir.

Bulunan sonuçlar, PGK'nin çevrim olmadan çift geçişli veya dışardan bir çevrimle kullanılırsa ısı transferinin olumlu yönde olacağını göstermiştir. Isı transferi artırılarak, çevresel ısı kayıpları azaltılmak isteniyorsa geri dönüşüm oranını, absorban borunun soğurma oranını ve Reynolds Sayısı'nı artırmak gerekmektedir. Onlar son olarak da bu çalışmalarında, PGK'de ters akışlı ısı değiştiricileri ile cam ve absorban boru arasında hava veya vakum kullanılıp, kullanılmamasının kararını vermeden önce ekonomik analizinin yapılmasının zorunlu olduğunu belirtmişlerdir [16].

Pilawjian yaptığı çalışmada Fresnel mercekli ışık yansıtıcısıyla ve ayna ışık yansıtıcısıyla optik sistemli bir yoğunlaştırıcıli fotovoltaik GES tasarlamış ve bu sistemi makalesinde tanıtmıştır. Pilawjian, sonuç olarak da çoklu parametrelerin maliyet optimizasyonun, yoğunlaştırıcıli fotovoltaik GES'lerin maliyetini düşürmek için şart olduğunu söylemiştir [17].

Munoz ve Abanades PGK'de soğurucu boru içine yerleştirilen kanatların kullanımının, HAD'da sayısal model oluşturarak etkilerini gözlemlemek istemişlerdir. Sayısal model deneysel verilere uyularak oluşturulmuştur. PGK'nin içi kanatlı boru uygulamasında basınç kayıpları, ısı kayıplar, termo-mekanik gerilmeler ve ısı yorulma hesaplanmaya çalışılmıştır. Munoz ve arkadaşı yaptıkları çalışma sonucunda içi kanatlı boruların, PGK güneş santrallerinin verimini yükselttiğini belirtmiştir. Bu çalışma göstermiştir ki kanat sayısı ve sarmal açısı arttıkça basınç kaybı çoğalmakta, buna karşın da ısı kayıp ve sıcaklık gradyanı azalarak ısı ve enerjik verimi yükseltmektedir [18].

Öztürk, Şanlı ve Yılandı PGK'nin, yansıtıcı yüzeyleri ve emici boruyla üzerine kaplanan seçici yüzeyden oluşan toplayıcı kısmın en önemli kısımları olduğunu belirterek, farklı seçici yüzey ve emici boru malzemeleri kullanarak performansında oluşan değişimleri gözlemlemişlerdir. Sonuç olarak da Öztürk ve arkadaşları, Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında cam örtü malzemesi olarak düşük demirli borosilikat cam ve soğurucu boru malzemesi olarak da krom – nikel paslanmaz çelik üzerine, krom kaplama seçildiğinde ısı transfer akışkanına en çok enerjinin aktarıldığını belirtmişlerdir. Bu nedenle de çalışmalarında PGK'de en ideal emici

boru ve cam örtü malzemelerinin krom – nikel paslanmaz çelik üzerine krom kaplama ve düşük demirli borosilikat cam olduğunu göstermişlerdir [19].

Eck, Steinmann ve Rheinländer doğrudan buhar üretilen PGK'lerin güneş enerjisinden elektrik üretimi için umut verici ve gerçekçi bir ilerleme gösterdiğini belirtmiş ve yaptıkları araştırmada PSES'den alınan verilerin kullanıldığını bildirmişlerdir. Yaptıkları çalışma, absorban borunun eğimli olarak yerleştirilmesiyle doğrudan buhar üretim sürecinin termo-hidrolik davranışlarını incelemek ve verilen eğimin etkilerini gözlemlemek amacıyla yapılmıştır. Eck ve arkadaşlarının çalışması absorban borunun yatay olarak yerleştirilmesinin yeterli etkiye sahip olduğunu, akışkanın çok yüksek sıcaklıklardaki buhar olmasında bile ısı kaybı yoluyla soğumasının çok uzun sürede olduğunu ve absorban borunun eğimli yerleştirilmesinin sadece ekstra yatırım maliyeti getireceğini göstermektedir [20].

### 3. GÜNEŞ ENERJİSİ

#### 3.1. Güneş Enerjisine Genel Bakış

Güneş, 1 391 980 km çapa ve  $1,9891 \times 10^{30}$  kg kütleyle sahiptir. Merkez sıcaklığı  $1,622 \times 10^7$  K ve merkez yoğunluğu  $1,622 \times 10^5$  kg/m<sup>3</sup>'tür. Güneş %35 H, %63 He ve %2 C,N,O gibi bileşenlerden meydana gelmiş olup, termonükleer bir reaktör gibi çalışmaktadır. Güneş enerjisi, güneşteki hidrojen gazının füzyon tepkimesiyle helyum gazına dönüşmesi sonucu açığa çıkan ışıma enerjisidir. Bu açığa çıkan ışıma farklı dalga boylarına ( $62 \text{ MW/m}^2$ ) sahiptir. Güneşten bütün yüzeyinden yayılan enerjinin sadece iki milyarda biri yeryüzüne gelmekte ve bu enerji de dünyada bir yılda kullanılan enerjinin yaklaşık olarak 15 bin katına tekabül etmektedir [21].

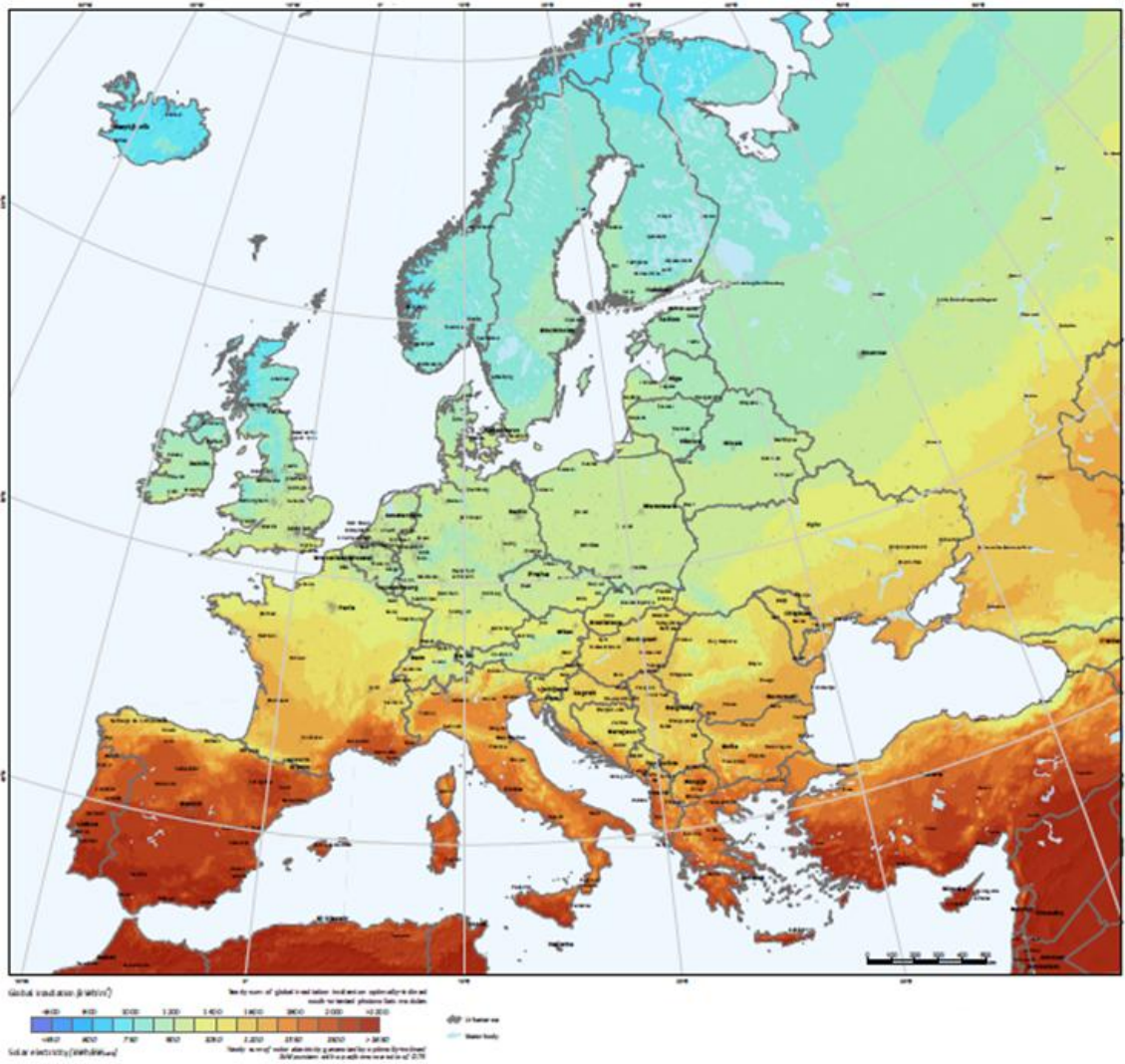
Güneş enerjisinin atmosferle ilk temas ettiği noktadaki ışıma değeri yaklaşık olarak  $1 370 \text{ W/m}^2$ 'dir. Dünyanın şekli nedeniyle de güneş enerjisinin yeryüzündeki dağılımı büyük farklılıklar göstermekte olup, ortalama  $0-1 100 \text{ W/m}^2$  mertebesindedir. Güneş radyasyonunun enerji olarak % 46'sı spektrumun kızılötesi bölgesinde, % 45'i görünür ışık bölgesinde geri kalanı da mor ötesinde bulunur. Güneş ışımasının yaklaşık % 30'u atmosfer tarafından geri yansıtılması ve yaklaşık % 20'si atmosfer ve bulutlar tarafından tutulması nedeniyle ancak % 50'si kadar yeryüzüne ulaşır. Atmosferde tutulan enerji ile dünyanın sıcaklığı yükselir, rüzgar hareketleri meydana gelir, okyanuslarda dalgalanma hareketleri olur ve yeryüzünde canlı yaşamı mümkün hale gelir. Bitkiler de yeryüzüne gelen güneş ışımasının sadece % 1'den azı ile fotosentez yaparlar ve bu ışıma ile birlikte karbondioksit ve su kullanarak, oksijen ve besin üretirler. Fotosentez yeryüzündeki canlı yaşamının ana kaynağıdır. Dünyaya gelen bütün güneş ışıması, sonunda ısıya dönüşerek geri uzaya verilir [21].

Güneş enerjisinden yenilebilir enerji kaynağı olarak yararlanma konusundaki çalışmalar 1970'lerden sonra hız kazanmıştır. GES teknolojileri ilerlemiş ve

maliyeti düşmüştür. Çevreye zarar vermemesi nedeniyle de temiz enerji kaynağı olarak da kendisine enerji kaynakları arasında yer bulmuştur [21].

### 3.2. Türkiye'nin Güneş Potansiyeli

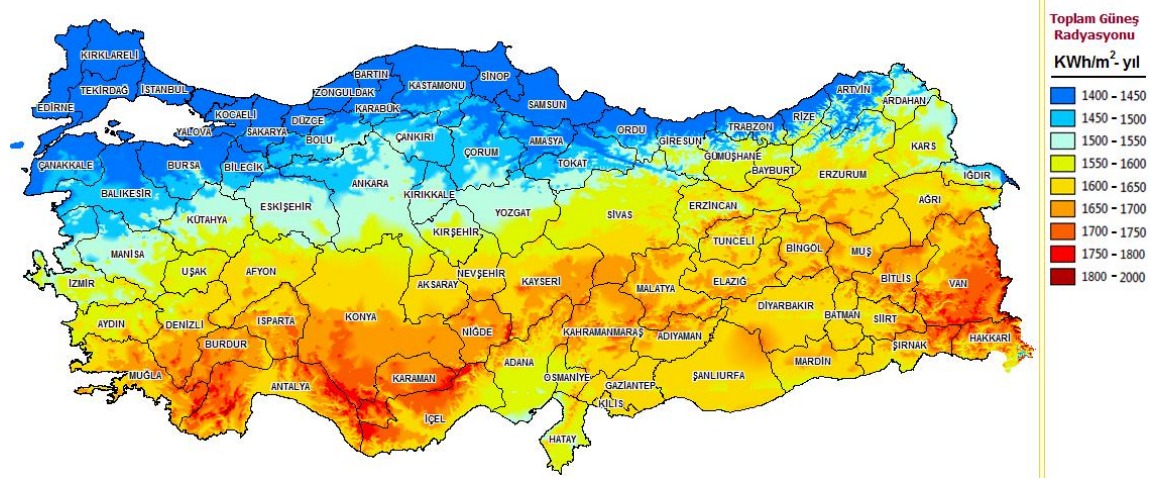
Türkiye güneş enerjisi potansiyeli olarak, özellikle Avrupa'yla kıyaslandığında çok şanslı bir konuma sahiptir. Bulunduğu enlem dolayısıyla güneşlenme süreleri birçok Avrupa ülkesine göre daha uzun ve metrekareye düşen ışınım miktarı daha fazladır.



Şekil 3.1. Avrupa'nın güneş haritası [22]

Şekil 3.1'de Avrupa ülkeleri için çizilmiş olan güneş haritası görülmektedir. Buradan da görüldüğü gibi günümüzde yüksek kapasitelerde kurulu olan güneş enerjisi kaynaklı elektrik üretim santrallerine sahip olan İspanya, Türkiye ile benzer

güneş ışınımına sahiptir. Ayrıca yukarıdaki şekilden Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelinin birçok Avrupa ülkesine göre daha yüksek olduğu görülebilmektedir.



Şekil 3.2. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyel atlası (GEPA) [23]

Çizelge 3.1. Aylara ve bölgelere göre Türkiye'nin yıllık güneşlenme süresi [24]

Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli				Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı		
Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi		Güneşlenme Süresi (Saat/ay)	BÖLGE	TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (kWh/m <sup>2</sup> -yıl)	GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/yıl)
	(Kcal/cm <sup>2</sup> -ay)	(kWh/m <sup>2</sup> -ay)				
Ocak	4,45	51,75	103	G.DOĞU ANADOLU	1460	2993
Şubat	5,44	63,27	115	AKDENİZ	1390	2956
Mart	8,31	96,65	165	DOĞU ANADOLU	1365	2664
Nisan	10,51	122,23	197	İÇ ANADOLU	1314	2628
Mayıs	13,23	153,86	273	EGE	1304	2738
Haziran	14,51	168,75	325	MARMARA	1168	2409
Temmuz	15,08	175,38	365	KARADENİZ	1120	1971
Ağustos	13,62	158,4	343			
Eylül	10,6	123,28	280			
Ekim	7,73	89,9	214			
Kasım	5,23	60,82	157			
Aralık	4,03	46,87	103			
Toplam	112,74	1311,16	2640			
Ortalama	308,0 cal/cm <sup>2</sup> -gün	3,6 kWh/m <sup>2</sup> -gün	7,2 saat/gün			

Türkiye'nin illere göre güneş haritası şekil 3.2'de, yıllık güneşlenme süreleri de çizelge 3.1'de verilmiştir. Şekil 3.2'de görülmektedir ki Türkiye'nin güneyine doğru gidildikçe güneş ışınımı ve güneş enerji potansiyeli artmaktadır. Çizelge 3.1'den

de Türkiye'nin güneşlenme potansiyeli en yüksek bölgesinin Güneydoğu Anadolu Bölgesi olduğu çıkarımı yapılabilmektedir. Bu bölgeyi sırasıyla Akdeniz, Doğu Anadolu, İç Anadolu, Ege, Marmara ve en son olarak da Karadeniz bölgeleri takip etmektedir. Türkiye güneş ışınımını en şiddetli ve uzun süreli olarak yaz ayları olan Haziran, Temmuz ve Ağustos'ta almaktadır. Özellikle de kış ayları olan Aralık, Ocak ve Şubat'da güneş ışınım şiddetleri en zayıf ve güneşlenme süresi en kısa zamanlardır.

Türkiye'de ithal doğalgaz ve kömürden elektrik üretiminin, toplam üretimin % 50'sinden fazladır. Bu nedenle enerji konusunda da dışa bağımlıdır. Türkiye enerji konusunda dışa bağımlılığı azaltmak için yeni kaynaklar aramakta ve sahip olduğu güneş enerjisi kapasitesi göz önünde bulundurulduğunda da Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarından olan GES konularındaki çalışmalara hız verilmesi gerekmektedir.

#### 4. GÜNEŞ ENERJİSİ UYGULAMA ALANLARI

Güneş enerjisi insanlığın varoluşundan günümüze hemen her gün enerji kaynağı olarak kullanılmıştır. Dünyadaki mevsimler, hava sıcaklıklarındaki değişim, rüzgarlar, denizlerde ve okyanuslarda oluşan dalgalar, bitkilerin sonucunda besin ürettiği fotosentez olayı hep güneş sayesinde meydana gelmektedir. Ayrıca insanlar gündüzleri işlerini yapabilmek için de güneşe ihtiyaç duyarlar. Bunun yanında son zamanlarda meydana gelen fosil kaynaklı yakıtlardaki rezerv sıkıntısı nedeniyle insanlar yeni enerji kaynakları arayışlarına girmişlerdir. Bu arayışlara çözüm oluşturabilecek kaynaklardan birisi de güneş olarak görülmektedir. Güneş enerjisinden faydalanabilmek için özellikle 1900'lü yılların başından beri sürekli çalışmalar yapılmıştır. Çeşitli GES'ler icat edilmiş ve bunlar, su taşıma, normal hayatta sıcak su üretme, elektrik üretme ve deniz suyunu damıtarak tatlı taze su ve tuz üretme, uzay enstitüsünde uyduların enerji ihtiyacını karşılama gibi alanlarda kendilerine yer bulmuşlardır. GES'lerin ilk ticari çalışmaları sulama alanında yapılmaya başlanmış daha sonra bu çalışmaları evlerde sıcak su ihtiyacını karşılamak için güneş enerjisi kolektörlerinin kullanılması takip etmiştir. Daha sonraki uygulamalarda güneş enerjisinden elektrik üretilen sistemlerin bulunmasıyla güneş enerjisinin en önemli kullanım alanı, insan hayatı ve teknolojinin gelişmesinin en önemli etkeni haline gelen elektrik üretmek olarak ön plana çıkmış ve bu konu üzerine yapılan araştırmalar hız kazanmıştır.

Güneş enerjisinden elektrik üretmek için kullanılan başlıca iki yöntem vardır. Bunlardan birincisi direk güneşten gelen fotonların, kullanılan malzemeden koparttığı elektronların oluşturduğu akım neticesinde elektrik üretmesi mantığına dayanan fotovoltaik enerji sistemleridir. İkincisi de güneş ışınımından faydalanarak ısıtılan akışkanın türüne göre temeli Brayton veya Rankine Çevrimleri'ne dayanan termodinamik yöntemle elektrik üreten sistemlerdir.

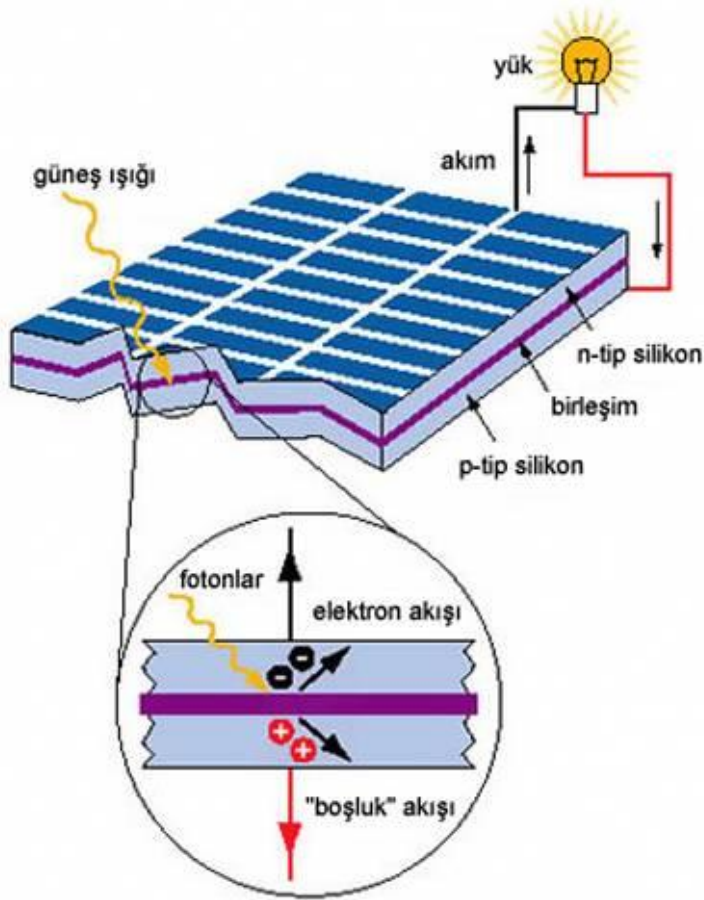
Fotovoltaik sistemler öncelikle uzay teknolojilerinde kullanım alanları bulmuştur. Bu sistemler, uzaya gönderilen uyduların elektrik ihtiyacını temin etmek amacıyla kullanılmıştır. Kullanılan bu sistemlerin ilk verimleri % 6 civarlarındadır. Daha

sonra fotovoltaik sistemler elektrik iletiminin zor olduğu dağ evleri ve deniz fenerleri gibi yerlerde kullanılmaya başlamıştır. Birinci petrol bunalımından sonra fotovoltaik sistemler üzerine yapılan araştırmalara hız verilmiş, o zamandan günümüze de bu sistemlerin verimleri yükseltilmeye, maliyetleri de düşürülmeye çalışılmıştır. Bu çalışmalar günümüzde de devam etmektedir.

Güneş enerjisinden, gıda ve kimyasalların kurutulması, iklimlendirme sistemlerinde ortamın sabit sıcaklıkta tutulması için ısıtılması ve soğutulması için kurulan sistemlerde de ısı kaynak olarak faydalanılabilmektedir. Ama dünyada yoğun olarak kullanılan güneş enerjisi kaynaklı ısı sistemler evlerde ve endüstride sıcak su ihtiyacını karşılamak amacıyla kullanılan düzlemsel kolektörler ve elektrik üretmek için kullanılan yoğunlaştırıcı sistemlerdir. Düzlemsel kolektörlerin verimi kullanılan yutucu yüzeyin malzemesi ve kaplamasına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Genellikle geometrisi basit dikdörtgen prizma şeklindedir. Yoğunlaştırıcı sistemler ise düzlemsel kolektörlere oranla daha gelişmiş teknolojiye ihtiyaç duyarlar. Yoğunlaştırıcı sistemler doğrusal yoğunlaştırıcı sistemler (DYS) ve noktasal yoğunlaştırıcı sistemler (NYS) olmak üzere ikiye ayrılırlar. DYS PGK ve fresnel aynalarıdır. NYS de çanak kolektörler ve güneş kuleleri gibi merkezi alıcı sistemlerdir. Yoğunlaştırıcı sistemlerde, akışkan su buharı ise Rankine çevrimine dayalı bir sistemle, akışkan su buharından başka bir gaz ise de Brayton çevrimine dayalı termodinamik çevrimli bir sistemle elektrik üretimi gerçekleştirilir.

#### **4.1. Fotovoltaik Uygulamaları**

Fotovoltaik piller, güneş enerjisini fotoelektrik dönüşümle doğrudan elektrik enerjisine çevirir. Fazla elektronlu n-tipi yarı iletken malzeme ile çok boşluklu p-tipi yarı iletken malzeme yan yana geldiğinde tek bir kristal meydana gelir. Bu kristal yapıda fazla bulunan elektronların güneş ışığından gelen fotonların çarpması neticesinde koparak boşluklara atlamasıyla da doğru akım meydana gelerek elektrik üretimi gerçekleştirilir. Bu yapı şekil 4.1'de basitçe şematik olarak gösterilmiştir. Güneş pillerinin verimleri % 6 ile % 35 arasında imalat şartlarına, kullanılan malzemeye ve tasarıma göre değişkenlik gösterir.



Şekil 4.1. Fotovoltaik pilin yapısı ve elektrik üretimi [25]

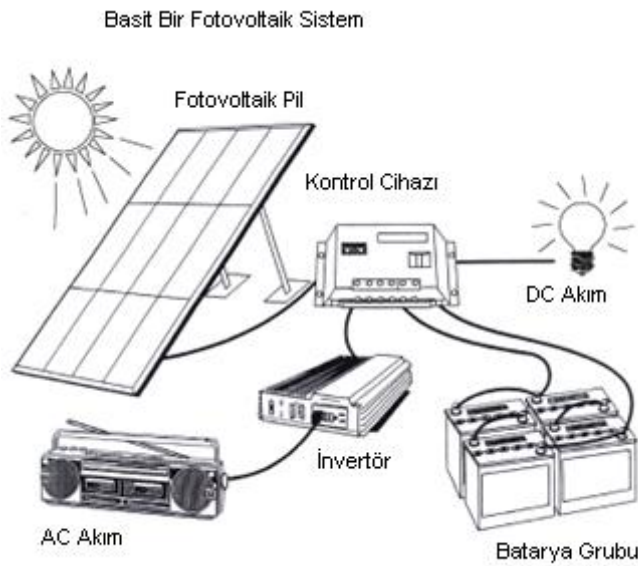
Güneş pilleri üzerine günümüzde çok fazla araştırma yapılmakta ve özellikle yatırım maliyetinin düşürülerek, veriminin artırılmasına çalışılmaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte güneş pili fiyatlarının düşmesi ve elektrik üretiminde temiz bir enerji kaynağı olması nedeniyle güneş pili uygulamaları son yıllarda çok artmıştır. Güneş pillerinin yatırım maliyetinin yüksek olmasına rağmen uygulamada yer bulabilmesi; hareketli hiçbir parçasının olmaması, az bir bakımla 25 – 30 yıl sorunsuz olarak çalışabilmeleri, bu süre zarfında doğayı hiçbir şekilde kirletmemeleri ve küçük kapasitelerde dahi kurulumunun mümkün olması gibi nedenlerdendir.

Güneş pillerini oluşturan hücreler, ışığı emen, elektronları uyaran ve akım taşınabilmesi için boşluklar oluşturan özel hazırlanmış iki veya daha fazla yarı iletken madde katmanı içerir. Yarı iletken maddenin temas yüzeyinin iki ayrı özelliğe sahip olması, elektronların bir devrede dolaşmasını sağlayacak gerilimi oluşturur. Bu gerilimi kullanmanın bir yolu cihazda iki veya daha fazla ince yarı

iletken madde katmanı kullanılmaktadır. Bu hücrelerin alanı birkaç  $\text{cm}^2$ 'den 3 – 4  $\text{m}^2$ 'ye kadar değişmektedir. Ayrıca bu hücreler silikon, galyum arsenit, şekilsiz silikon, bakır indiyum diselenit, kadmiyum tellürit ve birçok farklı yarı iletken maddeden yapılabilmektedir. Birçok hücreyi bir molekülde bağlamak daha yüksek güç çıkışı ve hücreler için koruyucu kaplama özelliği sağlar.

Fotovoltaik piller modüler halde olduğundan istenilen boyutlarda kurulabilirler. Yeni sistemlerin kurulumları, çalıştırılması, var olan sistemlere ek yapılması, bakımları geleneksel elektrik üretim sistemlerine göre daha az sürede ve daha basit yapılmaktadır. Bu sistemlerin hareketli parçalara sahip olmaması bakım, tamir ve yedek parça maliyetini çok düşürmektedir. Yakıt maliyeti olmadığından çalışma maliyeti de bulunmamaktadır ve klasik bir fotovoltaik sistemin kullanım süresi yaklaşık 20 yıldır.

Güneş pili sistemleri, fotovoltaik piller, kontrol ünitesi, invertör, batarya ana parçalarından ve bu parçaların bağlantı elemanlarından meydana gelmektedir. Bu sistemler şematik gösterimi şekil 4.2'de verilmiştir. Bu sistemlerin yatırım maliyetinin yarısından fazlasını fotovoltaik piller oluşturmakta ve geriye kalan kısmı da invertörler, elektronik denetim aygıtları, depolama, kablolama gibi destek elemanları oluşturmaktadır.



Şekil 4.2. Basit Bir Fotovoltaik Sistemin Şematik Gösterimi [26]

Fotovoltaik piller genellikle, kırsal bölgelerde elektrik üretiminde, süt, tahıl gibi gıdaların korunması gibi zirai uygulamalarda, uydular gibi haberleşme cihazlarında, uzay araştırmalarında, otoyollarda uyarı ve sinyalizasyon sistemlerinde, park ve otoyolların aydınlatılmasında kendilerine uygulama alanı bulurlar. Fotovoltaik pillerin kurulumu camlara, çatılara kolaylıkla yapılabildiği için yatırım maliyeti azaldıkça evlerde kullanımı da hızlıca artacaktır. Ayrıca elektrik üretiminde karbondioksit salınımını azaltmak amacıyla İngiltere’de Ford firması fabrika çatısına yerleştirmiş olduğu 100 kW kurulu güce sahip güneş pilleri ile yılda 110 000 kWh elektrik üretmektedir. Bu piller çatının % 8’i kaplamakta ve 30 yıl kullanıldığı takdir de fabrikanın karbondioksit salınımını 3 000 ton azaltmaktadır.

Fotovoltaik pillerin uygulamalarında güneş enerjisinin kesikli olması ve genelde tüketim talebine denk elektrik üretiminin her zaman yapılamaması nedeniyle bir enerji deposuna ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle bu güneş sistemlerinin en önemli parçası enerji depolarıdır. Genellikle fotovoltaik pil uygulamalarında enerji depoları olarak akümülatör kullanılır ve gündüz depolanan elektrik güneş battıktan sonra da kullanılabilir.

#### **4.2. Termal Uygulamaları**

Güneş enerjisi dünyanın başlangıcından günümüze gerekli olan enerji ihtiyacını dünya yüzeyine gelen fotonlar vasıtasıyla ısı ve ışık olarak karşılamıştır. Gece karanlığında ay ışığının temel kaynağı da güneştir. Ayrıca insanoğlu güneşten, gerek günlük hayatında yeryüzünün ısınmasıyla gerekse günlük yaşantısında sıcak su elde etmek, yiyecek kurutmak, elektrik üretmek gibi amaçlarla ısı enerjisi olarak yararlanmaktadır. Termal uygulamalarda enerji kaynağı olarak güneşin en önemli kullanım alanı sıcak su üretmektir. Bu sıcaklıklar YGS’ler kullanılarak çok yüksek mertebelere çıkabilmektedir. Yoğunlaştırıcı kullanılarak ısıtılan bir akışkanı, yüksek sıcaklık mertebelerine çıkarttıktan sonra buhar veya gaz türbini kullanılarak, güneş enerjisinden termodinamik yöntemlerle elektrik üretilebilmek mümkündür. Düzlemsel güneş kolektörleri elektrik üretimi için gereken yüksek sıcaklıklara çıkmakta yetersiz kaldığından, güneş ışınlarını, heliostat adı verilen aynalarla bir kule üzerinde sabit bir noktada, yuvarlak çukur bir aynanın odak

noktasında ya da parabolik çukur aynaların odak noktasında yoğunlaştıran sistemler kullanılarak 1500 °C'ye varan sıcaklıklar elde edilebilmektedir.

Güneş enerjisi kaynaklı termal uygulamalar, iki temel konu altında toplanabilir. Bunlar son yüzyılda en çok kullanım alanı bulan güneşten sıcak su üreten sistemler ve güneş ışınlarını belirli bir noktaya veya düzleme yoğunlaştırarak elektrik üreten sistemlerdir.

#### **4.2.1. Sıcak su üretimi**

Güneş enerjisinin en yaygın kullanım alanı konutlarda sıcak su üretimidir. Güneş enerjisinden sıcak su üretebilmek amacıyla genellikle düzlemsel güneş kolektörleri kullanılır. Bu üretilen sıcak su konutlarda hem sıcak su ihtiyacını karşılamak hem de ısıtma amacıyla kullanılabilir.

Güneş kolektörlerinin çalışma prensibi, güneşin ısınıncı kolektör içerisinde dolaşan sıvıya aktararak bu sıvı vasıtasıyla suyun ısıtılmasıdır. Güneş kolektörlü sistemler tabii dolaşımli ve pompalı olmak üzere ikiye ayrılırlar. Her iki sistem de ayrıca açık ve kapalı sistem olarak tasarlanabilmektedir. Güneş kolektörlü sıcak su sistemleri, kullanılan sistemlerin türüne göre, güneş enerjisini toplayan düzlemsel kolektörler, ısınan suyun toplandığı depo ile bu iki kısım arasında bağlantıyı sağlayan yalıtımlı borular, pompa ve kontrol mekanizması gibi sistemi tamamlayan elemanlardan oluşabilmektedir.

Doğal dolaşımli açık sistemlerde, çevrimdeki soğuk su kolektörlerde ısınır ve yoğunluğu azalarak yükselir. Yükselen sıcak su, kolektörün üst kısmından en az 40 cm yükseğe yerleştiren depoya yönlendirilir. Bu sistemlerde, suyun çevrimi yoğunluğu bağlı olduğundan yüksek miktarda sıcak su ihtiyacı olan yerlerde kullanılamamaktadır. Doğal dolaşımli sistemlerin maliyeti diğer güneş kolektörlü su ısıtma sistemleriyle kıyaslandığında, pompa ve kontrol mekanizmasına ihtiyaç duyulmaması nedeniyle daha ucuzdur.

Yüksek miktarlarda sıcak su ihtiyacı olan yerlerde kullanılan sistemlerin basınç kayıpları doğal dolaşımli sistemlere göre daha fazla meydana gelmektedir ve bu

nedenle pompa kullanım ihtiyacı doğmaktadır. Ayrıca büyük bir deponun çatıda tutulması bina statığı, kullanım ve maliyet açısından sıkıntılar oluşturmaktadır. Bu nedenle yüksek miktarda sıcak su ihtiyacı olan yerlerde düzlemsel kolektörlü, pompalı, güneş enerjili su ısıtma sistemleri kullanılmaktadır. Pompalı sistemlerde su deposunun yukarıda olma zorunluluğu yoktur ve akışkanın dolaşımı bir pompa ve otomatik kontrol devresiyle sağlanır.

Açık sistemlerde kolektörde dolaşan su doğrudan kullanılmaktadır. Bu nedenle bu sistemlerin verimleri yüksek, maliyetleri düşüktür. Açık sistemler suyu kireçsiz ve donma problemlerinin olmadığı bölgelerde kullanılırlar.

Kapalı sistemlerde ise kolektörde kullanılan akışkan eşanjör yardımıyla ısını, kullanım suyuna vermekte ve bu da % 10-15 seviyelerinde verim kaybına neden olmaktadır. Kapalı sistemlerde genellikle akışkanın antifrizli olması maliyeti yükseltmekte, verimi de düşürmektedir. Bu dezavantajlarının yanında donma, kireçlenme ve korozyona karşı daha dirençli olması bu sistemin avantajları arasında sayılabilir.

#### **4.2.2. Elektrik üretimi**

Dünyada orta kuşaklarda ve tropikal kuşakta güneş enerjisi kaynaklı yoğunlaştırıcı güç sistemleri kurulabilmesi için yeterli güneş ışınımı vardır. Bu sistemlerle 10 kW güçten 100 MW güce kadar tek santral içerisinde, güç üretimleri için tasarımlar yapmak mümkündür. Bu tek santraller birleştirilerek yüksek kapasitelerde tesisler kurulabilmektedir. Ayrıca YGS'ler, fosil yakıtlı sistemlerle birlikte tasarlanarak hibrit güç santralleri kurulabilmektedir. Bu hibrit sistemler sayesinde bulutlu havalarda, hava karardığında ve güneş ışınlarının yetersiz geldiği zamanlarda kesintisiz elektrik üretimi yapılabilen ve güneş enerjisinden böylece faydalanılabilmektedir.

Elektrik üreten yoğunlaştırıcı sistemlerin de, güneş enerjisini toplama şekillerine göre üç farklı tipi vardır. Bunlar; çanak/motor, güneş kuleleri, PGK sistemleridir.

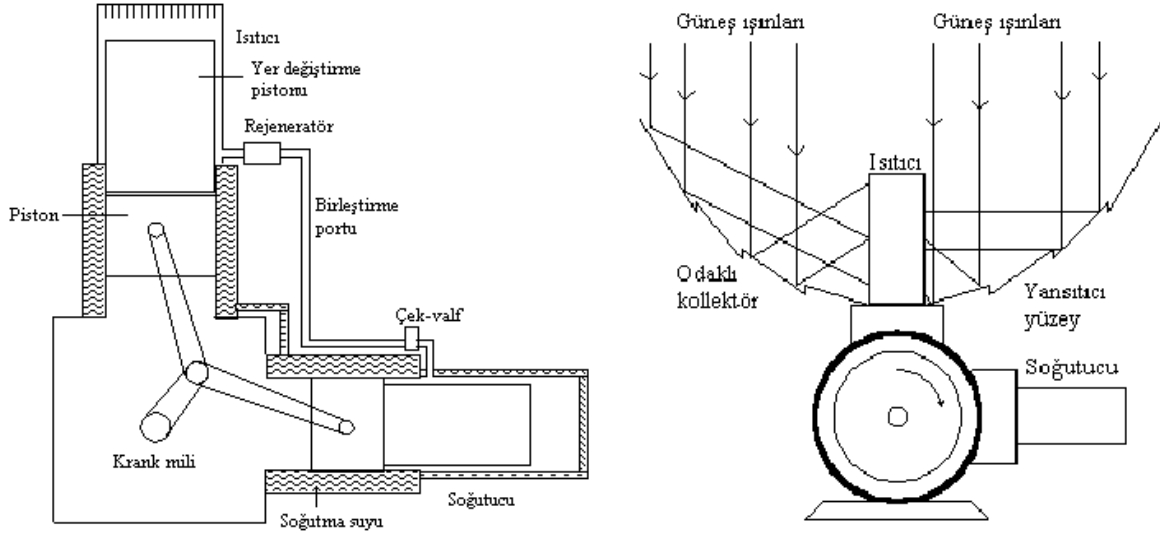
### Çanak/motor sistemleri

Çanak – motor sistemleri yansıtıcı, toplayıcı ve bir motordan oluşan temel elemanlarla kendi başına bir ünedir. Yansıtıcı yüzey çanak şeklinde olup güneş ışınlarını toplayıcı bölgede bulunan bir noktaya yoğunlaştırır. Toplayıcı noktada yoğunlaşan güneş ışınları buradaki sıcaklığı 1 000 °C'ye kadar çıkartabilmektedir. Bu enerji direk ısı olarak kullanılabilir gibi, toplayıcı noktada ısıtılan bir akışkanın motordan geçirilmesiyle de elektrik üretiminde kullanılabilir. Bu sistemler tek bir modülden 5 – 50 kW arasında güç üretecek kapasitede ticari olarak uygulanabilmektedir. Şekil 4.3'te bu sistemlerin resimleri görülebilmektedir.



Şekil 4.3. Çanak/motor sistemleri [27, 28]

Bu sistemler güneşi iki ekseninde takip ederler. Elektrik üretiminde kullanılan sistemler güneş ışınlarını odakta bulunan özel bir motor olan Stirling motorlarına yoğunlaştırır. Bu motorlar, kapalı devre gazların sıcaklık ve basınç değişimlerine göre faz değiştirme prensibiyle çalışan, ısının mekanik enerjiye dönüştürülebildiği motorlardır. Stirling motorlarının çalışma prensibi ve çanak motorlar üzerinde kullanımı şematik olarak şekil 4.4'te verilmiştir. Bu motorlarda gaz olarak Helyum, Hidrojen, Nitrojen ve Hava kullanılabilir. Bu motor tarafından üretilen mekanik enerji doğrudan elektrik üretebilen bir jeneratöre aktarılır ve elektrik üretilir.



Şekil 4.4. Stirling motoru uygulaması ve çalışma prensibi [29]

Çanak – motor sistemleri doğalgazlı sistemlerle birleştirilerek hibrit sistemler kurulabilir ve bu kurulan sistemlerle karanlıkta veya güneş ışınlarının yetersiz olduğu zamanlarda kesintisiz olarak elektrik üretilebilmektedir. Çanak-motor sistemleri; yüksek verimli, ayarlanabilir, bağımsız operasyonlu ve hibrit sistemlerle beraber çalışabilecek şekilde karakterize edilir. Diğer GES’lerden farklı olarak bu sistemler çanak - Stirling bileşimiyle yüksek elektrik dönüşüm verimine sahiptir (% 29.4). Bu nedenle de çanak – motor sistemleri kırsal bölgelerin enerji ihtiyacını karşılamak için önemli bir alternatif olma durumundadır.

### Güneş kulesi

Tek tek odaklama yapan ve heliostat adı verilen çok sayıda yansıtıcı ayna, güneşten gelen ışınları heliostat tesisinin merkezinde bulunan kulenin tepe noktasına yerleştirilen alıcıya yoğunlaştırır. Alıcının içerisinde bulunan ve boru yumağından oluşan ısı eşanjörü, güneş enerjisini üç boyutta hacimsel olarak absorbe eder. Bu eşanjörün içerisinde genellikle su veya hava bulunur. Burada suyun ısıtılarak  $500 - 600^{\circ}\text{C}$  sıcaklıklarda kızgın buhar elde edilmesiyle, akışkan buhar türbinine gönderilir ve mekanik güçten elektrik enerjisi üretilir. Bu sistemlerde akışkan olarak su yerine farklı gazlar da kullanılabilir. Hava kullanılan sistemlerde akışkan sıcaklıkları  $800^{\circ}\text{C}$ 'lere kadar çıkabilmekte ve ısıtılan havanın gaz türbinine gönderilmesiyle de elektrik üretilebilmektedir. Kulede

üretile en yüksek sıcaklık  $1500^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar çıkabilmektedir. Bu sistemler büyük santraller kurabilecek kapasitelere ve sıcaklıklara çıkabilmektedir. Bu nedenle de güneş kuleleri üzerine ar-ge çalışmaları devam etmektedir. Güneş kulesi elektrik santralleri şekil 4.5'te görülebilmektedir.



Şekil 4.5. Güneş kulesi santralleri [27, 28]

Heliostatların bilgisayar yardımıyla gün boyunca güneşi takip etmesi, güneş ışınlarından maksimum fayda elde etmeyi sağlamaktadır. Ayrıca güneş kuleleri ile doğalgaz dönüşüm santralleri birleştirilerek hibrit sistemler oluşturulabilmekte ve böylece sürekli elektrik üreten sistemler tasarlanabilmektedir.

Türkiye'de de ilk güneş kulesi uygulaması Mersin ilinde 5 MW kapasitede kurulmuştur. Bu sistem 510 adet yansıtıcı aynaya ve 50 metre yüksekliğindeki kule üstünde bulunan özel olarak tasarlanmış alıcıya sahiptir. Alıcıya giren su burada yüksek basınç ve sıcaklıkta kızgın buhar fazına gelmektedir. Akışkan kızgın buhar fazında alıcıdan çıkarak buhar türbininden geçirilir. Kızgın buharın genleşmesiyle iş yapan türbine bağlı jeneratör, mekanik işi elektrik enerjisine dönüştürmektedir.

## Parabolik güneş kolektörleri

Parabolik oluk yoğunlaştırıcı sistemler, GES'ler arasında en yaygın kullanılan ve teknik olarak yeterliliğini en fazla kanıtlamış sistemlerdir. Güneş ışınları, parabolik oluk şekline sahip bir toplayıcının odak noktasında bulunan alıcıya yani absorban bir boruya yoğunlaştırır. Odak çizgisi boyunca uzanan absorban borunun ısı kaybını minimuma indirebilmek için akışkanı taşıyan çelik borunun dışında cam tüp bulunur. Cam tüple çelik boru arasındaki hava vakumlanarak basınç 0,1 atm'ye kadar düşürülür. Bu kullanılan cam tüp ısıya dayanıklı olmasının yanında yüksek bir geçirgenliğe sahiptir ve sahip olduğu anti reflektif yapısı sayesinde radyasyon kayıplarını en aza indirmektedir. Ayrıca parabolik oluk modüllerinin birleşim noktalarında, sıcaklık nedeniyle meydana gelen genleşmelerin etkilerini gidermek için körüklü cam-metal birleştiriciler kullanılmaktadır.

Parabolik oluk kolektörleri, güney - kuzey eksenli yerleştirilmeleri nedeniyle güneşi doğudan batıya doğru tek eksenli olarak takip ederler. Güneşi gün boyu takip edebilmeleri, gün boyu absorban boruya güneş ışınlarını yoğunlaştırabilmelerini sağlar. Böylece aracı akışkanın sıcaklığını bu sistemler 500 °C'ye kadar çıkarabilmektedir. Parabolik oluk modüllerin birleştirilmesiyle oluşturulan güneş tarlalarında 350 MW gücünden daha büyük kapasiteli santraller kurulabilmektedir. Şekil 4.6'da PGK sistemlerinden kurulmuş santrallerden kesitler ve bir modülün şematik gösterimi verilmiştir.

Parabolik oluk kolektörlerinde aracı akışkan olarak termal yağ, su, karbondioksit, helyum, azot gibi kimyasallar kullanılmaktadır. Termal yağ kullanılan sistemlerde ısıtılan yağ eşanjörlerden geçirilerek ısısını çalışma sıvısı olan suya aktarır ve kızgın buhar fazında çıkan akışkan buhar türbinine gönderilir. Aracı akışkan olarak su kullanılan sistemlerde ise direk kızgın buhar üretebilmek amacıyla çalışmalar yapılmaktadır. Bu şekilde elektrik üreten sistemlerin temelinde Rankine Çevrimi bulunmaktadır. Ayrıca aracı akışkan olarak hava, karbondioksit, helyum ve azot gazları kullanılan sistemlerin üzerine yapılan araştırmalar da devam etmektedir. Bu aracı akışkanların kullanıldığı sistemlerin de temel mantığı Brayton Çevrimi'ne dayanmaktadır.

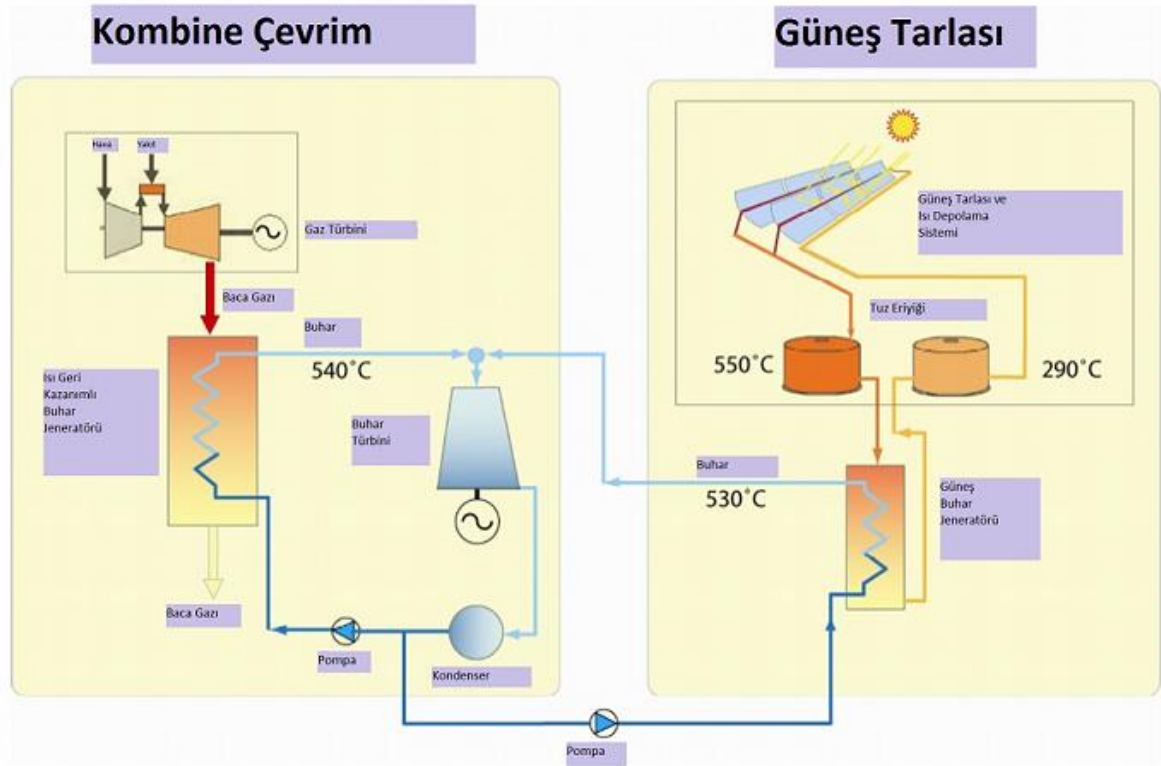
PGK fosil yakıtlı kaynaklarla birlikte tasarlanarak hibrit sistemler kurulabilmektedir. Hibrit sistemler genellikle doğalgaz dönüşüm tesisleriyle beraber kurulmaktadır. Bunun nedeni doğalgazdan dönüşüm tesislerinin çok kısa bir sürede elektrik üretimi yapabilmesi ve çok kısa sürede devreden çıkabilmesidir. Ayrıca PGK'nin gece gündüz kullanılabilmesi için ısı depolar üzerine de araştırmalar yapılmaktadır. Bu bahsedilen iki sistem sayesinde, gece gündüz PGK vasıtasıyla elektrik üretebilmek mümkün olmaktadır. Bu konulardan tezin devamında bahsedilecektir.



Şekil 4.6. Parabolik güneş kolektör sistemleri [28, 30]

PGK ile elektrik üretimi geleneksel yollarla yapılabilmektedir. Aracı akışkanın su olduğu sistemlerde suyu, güneş tarlası yardımıyla kızgın buhar fazına dönüştürdükten sonra, kızgın buharın buhar türbininden geçirilmesiyle elektrik

üretimi gerçekleştirilir. Aracı akışkan başka bir kimyasal malzeme ise, bu akışkan öncelikle güneş tarlasında ısıtılır ve ısınan akışkan eşanjörden geçirilerek alınan ısı suya verilir. Su kızgın buhar fazına geldikten sonra buhar türbinine gönderilir ve jeneratör yardımıyla elektrik üretilir. Bu sistemler Rankine Çevrimi esasına dayanmaktadır. Burada güneş tarlaları bu çevrimde kazan görevi görmektedir. Daha önceki konularda Rankine Çevrimi'nde kazanın sisteme verilen ısı gibi varsayılabileceğinden bahsedilmişti. Bu nedenle PGK elektrik santrallerinde sisteme ısı güneş tarlarından verilmesi nedeniyle kazan yerine güneş tarlalarını varsaymak yanlış olmayacaktır.



Şekil 4.7. Doğalgazla hibritlenmiş PGK güç santrali [31]

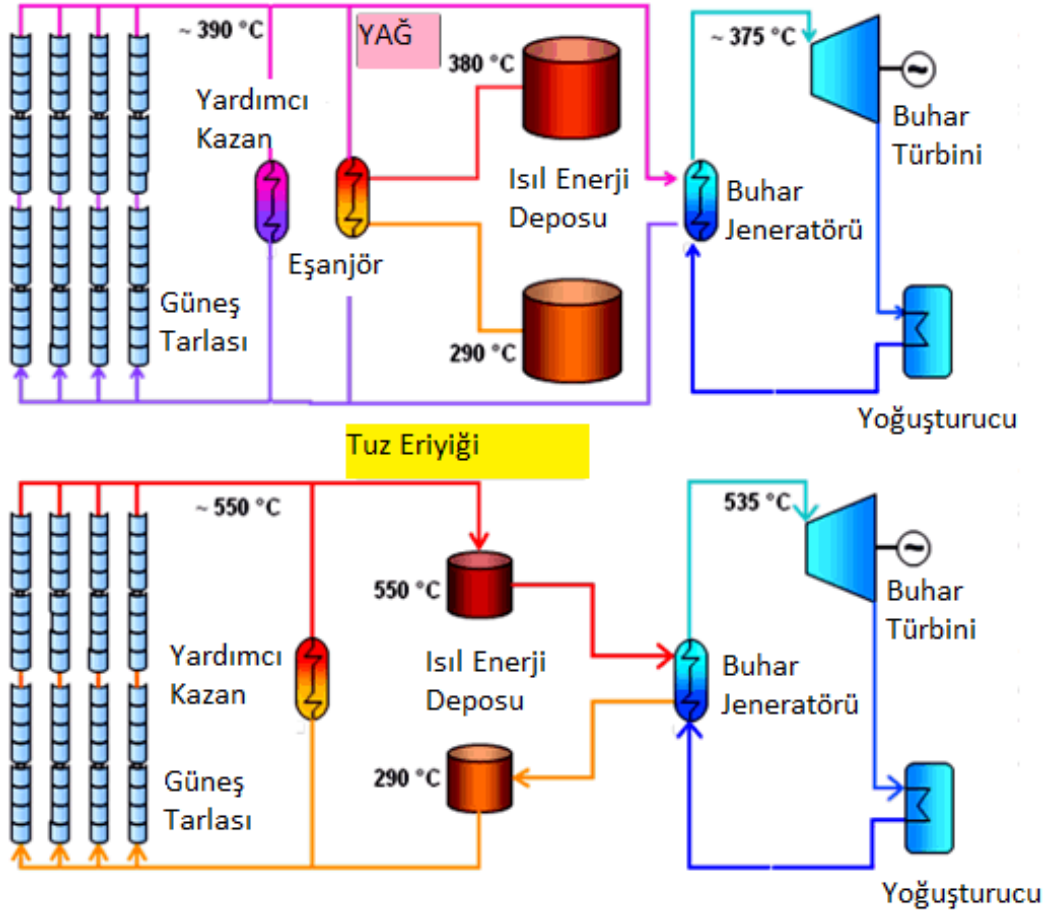
Yukarıda şekil 4.7'de şematik olarak gösterilen PGK sistemi İtalyanlar'ın Enel Şirketi'nin Archimede Projesi'ne aittir. Doğalgaz dönüşüm tesisine sonradan Rankine Çevrimi esaslı 100 m uzunluğunda 54 adet PGK dahil edilmiştir. Bu kolektörler 31 dönüme yerleştirilmiştir. Bu çalışmada aracı akışkan olarak tuz eriyiği kullanılarak dünyada bu konudaki ilk çalışmayı Enel Şirketi başlatmıştır. Bu ilave sonrası 5 MW güç ve yıllık 10 milyon kWh daha fazla elektrik üretilmeye

başlanmıştır. Bunun anlamı da yıllık 2000 ton termal yağ tüketilmesi ve 6200 ton karbondioksit salınmasından kurtulmak demektir [31].

Aracı akışkan olarak hava, helyum, azot ve karbondioksit gibi gazlarda kullanılabilir. Bu gazların kullanımı şu an araştırılmaktadır. Bu gazlar kullanıldığında elektrik üretimi için kullanılan sistemlerin temel dayanağı Brayton Çevrimi'ne dayanmaktadır. Çevrimde yanma odasının yerini güneş tarlası almakta ve çevrime giren ısıyı güneşten temin etmektedir. PGK'de gaz kullanımı şu an sadece laboratuvar deneylerinde kullanılmaktadır ve bu konu üzerine araştırmalar devam etmektedir.

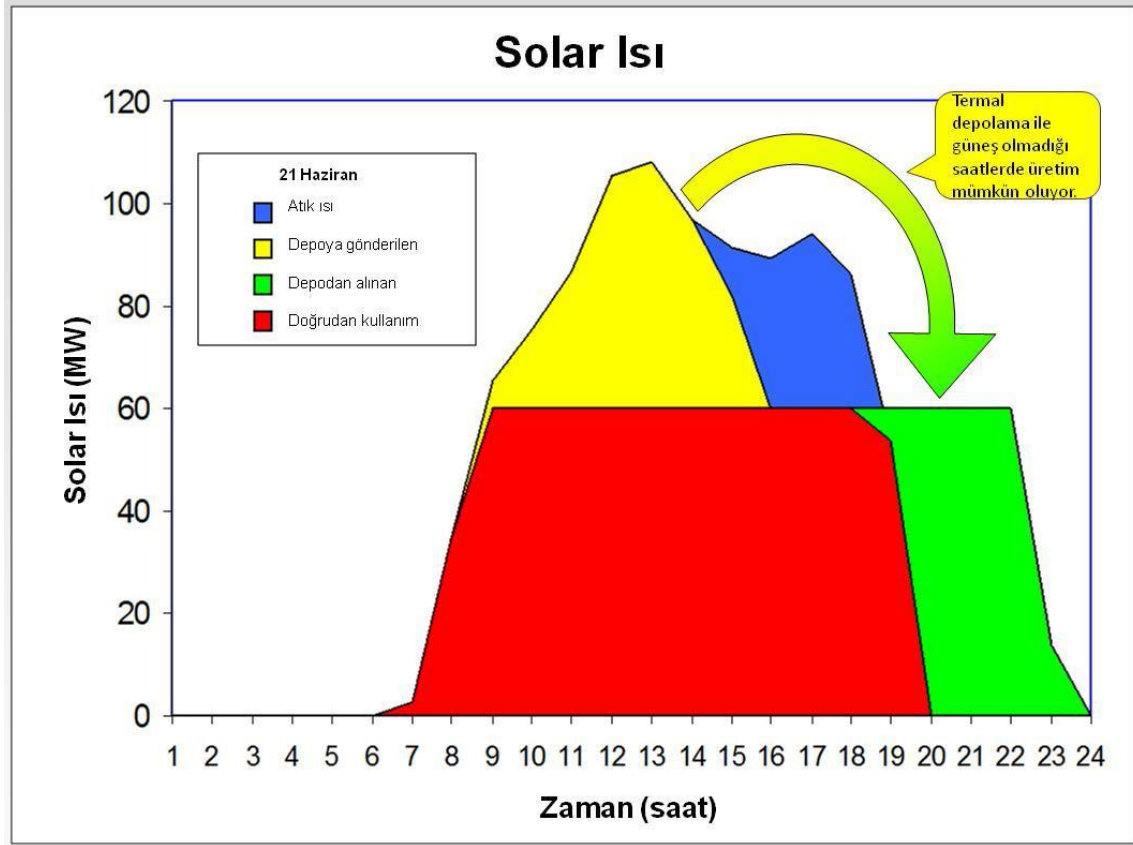
#### **4.2.3. Isıl enerji depoları**

PGK'de, aracı akışkan olarak tuz eriyiği kullanıldığında fazla ısının bir ısıl depo yardımıyla tutulmasıyla güneş ışınlarının yetersiz olduğu zamanlarda veya hava karardığında elektrik üretebilmek mümkündür. Bu sistemlerde kullanılan termal yağın 390 °C'de bozunmaya uğraması bu sistemlerin çalışma sıcaklıklarını sınırlanmış fakat akışkan olarak tuz eriyiği kullanılması çalışma sıcaklığı 597 °C'ye yükseltmiştir. Yuz eriyiği ve termal yağ kullanılan sistemlerin karşılaştırılması şematik olarak şekil 4.8'de verilmiştir. Buradan da görülmektedir ki tuz eriyik kullanımı ısıl depoların kurulumunu kolaylaştırmıştır. Tuzlu eriyik ısıyı verimli bir şekilde muhafaza etmesi nedeniyle bu sistemler elektrik üretmeden saatlerce hatta günlerce ısını koruyabilmektedir. Isıl depolarda en önemli verim kayıpları yalıtımdan kaynaklanmaktadır. Bu ısıl depoların verimleri yaklaşık % 99 civarlarındadır. Günümüzde kullanılan tuz eriyikleri genellikle, % 40 potasyum nitrat % 60 soydum nitrattan oluşur.



Şekil 4.8. Isıl enerji depolu PGK santrallerinin şematik gösterimi [32]

Isıl depolar ve tuz eriyikleri üzerine araştırmalar günümüzde devam etmektedir. Yapılan deneylerde ısıl depoya sahip bir santralinden yaz aylarında 24 saat kesintisiz elektrik üretimi sağlanmış ve bu santral yıllık % 65 kapasite ile çalışmıştır. Isıl depolu sistemlerde soğuk depodan tuz eriyiği  $290^{\circ}\text{C}$ 'de çıkar ve güneş tarlasına girer. Güneş tarlasında sıcaklığı  $550^{\circ}\text{C}$ 'ye çıkan tuz eriyiği sıcak ısıl depoya girer. Burada ısısını eşanjörler vasıtasıyla suya veren tuz eriyiği kapalı çevrimini tamamlamış olur. Su eşanjörlerde kızgın buhar fazında çıkar ve buhar türbinine gönderilir. Buhar türbinine bağlı jeneratörde mekanik enerjiyi, elektrik enerjisine dönüştürür. Üretilen elektrik de trafolar yardımıyla şebeke verilir.



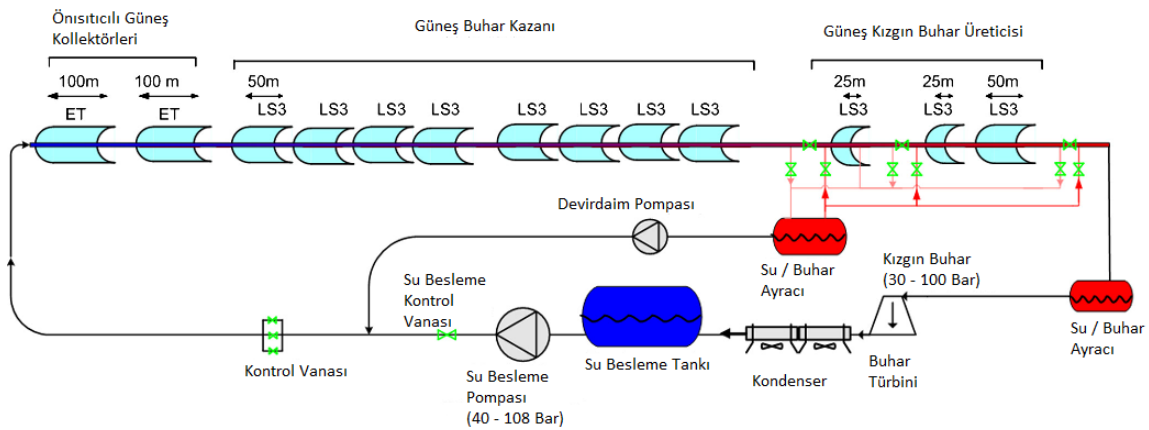
Şekil 4.9. Isıl depolu bir YGS'nin bir günlük çalışma çizelgesi [33]

Şekil 4.9'da ısıl depoya sahip bir YGS'nin 24 saatlik yani bir günlük çalışma kapasitesi şematik olarak gösterilmiştir. Burada kırmızı ile gösterilen elektrik üretimi için doğrudan kullanılan ısı olup güneşin doğmasından batmasına kadar olan süreçte sisteme giren düzenli ısıdır. Bu ısının üstünde yer alan sarı bölge ısıl depolar vasıtasıyla güneşin düzensiz ışınımında veya hava karardığında kullanılmak üzere depolanan ısıdır. Bu ısı genellikle güneşin batmasıyla kullanılmaya başlanır ve sistemin büyüklüğüne, verimine göre kullanım süresi değişkenlik gösterir. Bu ısının kullanım durumu yeşil bölge ile temsil edilmiştir ve 24 saatlik süreç dolmuştur. Buradan ayrıca görülmektedir bu sistemlerde geleneksel termodinamik sistemleri gibi ideal olmamakta ve bazı ısı kayıpları yaşanmaktadır. Bu kayıplar da mavi olarak gösterilmiştir. Bu kayıplar absorban borunun yutuculuğu, aynanın yansıtıcılığı, ısı deposunun verimliliği, türbinin verimi gibi faktörlerden nedeniyle oluşmaktadır. Bu kayıpların optimizasyonu iyi yapılarak, fosil yakıtlara alternatif çok daha verimli YGS kurulabilmek mümkün olacaktır.

## 5. SİSTEMİN TANITIMI ve HAD İLE MODELLENMESİ

### 5.1. Güneş Enerji Sistemi

Bu çalışmada deneysel veriler İspanya'nın Almeria şehrinde kurulmuş olan PSES'den alınmış olup bu santralin şematik gösterimi Şekil 5.1'de görülmektedir. Bu tesis ön ısıtıcı güneş kolektörleri, güneş buhar kazanı ve güneş kızgın buhar üreticisi olmak üzere 3 bölümden oluşmaktadır. Bu tesis Rankine Çevrimi göz önüne alındığında su besleme tankından sisteme girer, pompa yardımıyla sabit sıcaklıkta basıncı yükseltilir, yüksek basınçtaki su daha sonra kazan görevi gören güneş tarlasına gönderilir ve buhar üretim bölümünden sonra buhar ve su ayrıştırılarak, su tekrardan güneş tarlasına gönderilirken buhar da kızgın buhar bölmesine gönderilir. Buradaki her kolektör sonunda buhar ayrıştırılır ve süreç devam eder. Kolektörden istenilen sıcaklık ve basınçta çıkan kızgın buhar, buhar türbinine gönderilerek buradan sıcaklık mekanik işe, mekanik iş de jeneratör yardımıyla elektriğe çevrilir. Türbinden çıkan doymuş buhar, yoğuşturucuya girer ve buradan doymuş su olarak çıkan akışkan besleme tankına gönderilir ve çevrim tamamlanmış olur.

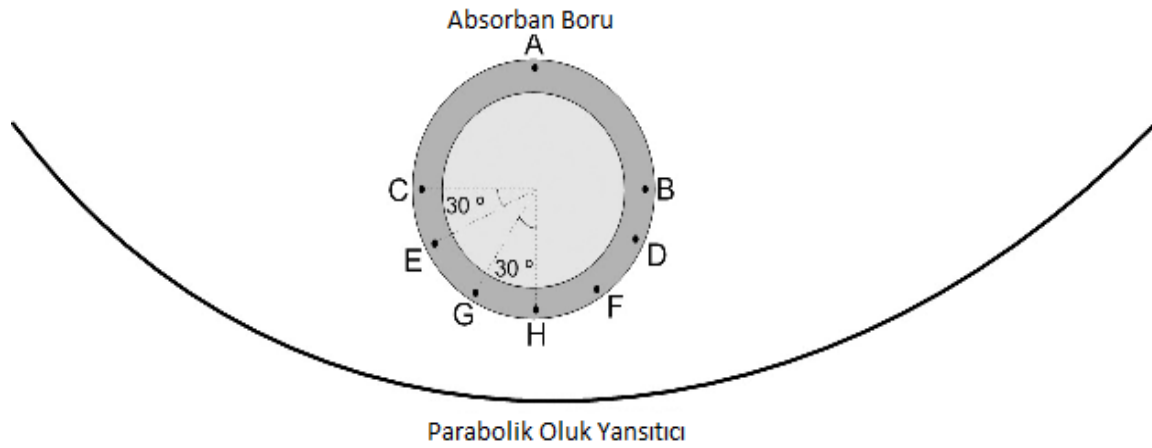


Şekil 5.1. İspanya'da bulunan Plataforma Solar de Almeria PGK elektrik santralinin şematik gösterimi [5]

### 5.2. Deneysel Verilerin Ölçülmesi

Bu çalışmada kullanılan deneysel veriler süper ısıtıcı bölümünün ilk 4 metrelik modülünden alınmıştır. Bu sistemde sıcaklıklar paslanmaz çelik borunun üzerine

yapıştırılan termokupllardan ölçülmüştür. Burada kullanılan termokupllar J sınıfı I tipinde,  $\pm 2$  °C tolerans aralığında ve IEC 60584.2 standartlarındadır. Ayrıca bazı kolektörlerde K tipi termokupllar kullanılmıştır. Bu termokupllar sayesinde boru kesitlerindeki sıcaklık dağılım profilleri çıkarılmıştır. PSES’de mutlak ve fark basınç ölçeri de kullanılmıştır. Basınç ölçerlerin hassasiyetleri % 0,5 ve tolerans  $\pm 0,06$  MPa ile  $\pm 0,004$  MPa aralığındadır. Su veya buharın debisi % 1,6 hassasiyetli, 0,05 kg/s toleranslı, Fisher – Rosemount orifis-flanş akış ölçer kullanılmıştır. Kolektöre gelen güneş ışınımı  $\pm 10$  W/m<sup>2</sup> hassasiyetli Eppley Laboratuvarının üretmiş olduğu pirheliyometreyle ölçülmüştür [5]. Şekil 5.2’de referans noktalarının yerleri gösterilmektedir.



Şekil 5.2. Ölçüm yapılan referans noktalarının gösterimi [5]

### 5.3. Kolektörün HAD ile Modellenmesi

#### 5.3.1. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği

Computational Fluid Dynamics, yani Türkçe kullanımıyla hesaplamalı akışkanlar dinamiği, akışkanlar mekaniğinde karmaşık geometriler, viskozite, sıcaklık farkları vb. gibi etmenlerin uygulandığı problemlerin çözümünde temel denklemlerle çözümün çok zor olması nedeniyle, çözüm için sayısal metotlar ve algoritmalar kullanılarak yapılan çözümlerinin genel adıdır. Bu yöntemle genelde düz levhalar, dairesel kesitli borular gibi idealize edilmiş basit geometrilerin dışında bulunan, klasik akışkanlar mekaniğinde sonuca ulaşılamayan gerçek problemlerin birçoğunda sonuç elde edilebilmektedir. Bu tür problemlerin çözülebilmesi için

akış bölgesi, akışa ait temel diferansiyel denklemleri modelleyen düzgün küçük elemanlardan ve noktalardan oluşmuş ağ yapısına ayrılır. Bu ayrılmış olan küçük elemanlardan da iterasyon yapılarak adım adım bütün çözüme ulaşılır.

HAD karmaşık akış problemlerinin çözülebilmesi için çok kullanışlı bir araçtır, fakat bu aracın kullanılabilmesi için gerekli olan modelin tasarlanabilmesi yani geometrinin çizilerek sayısal ağın oluşturulmasından, sınır koşullarının gerçeğe uygun olarak tanımlanmasına ve sonuçların yorumlanmasına kadar geçen süreçte bir miktar sanat, bilgi, dikkat ve deneyim gerekmektedir.

Bazı araştırmaların deneyini yapmak pahalı ve zaman kaybettirici olabilmektedir. HAD bir anlamda bilgisayar üzerindeki esnek deney laboratuvarıdır. Bu nedenle günümüzdeki rekabet koşullarında para ve zaman faktörü göz önüne alındığında HAD çok kullanışlı, para ve zaman bakımından tasarruf sağlayan çok kullanışlı bir araç haline gelmiştir. HAD;

- Kararlı rejim veya zamana bağlı akışkan davranışları,
- Basınç, hız ve sıcaklık dağılımları,
- Isı transferi,
- Tek ve çok fazlı akışlar,
- Sabit yoğunluklu ve sıkıştırılabilir akışkanlar,
- Turbomakinalar,
- Tanecik ve duman dağılımları

kavram ve olayları üzerine bize detaylı bilgiler verebildiğinden günümüzde otomotiv endüstrisinden, uzay ve havacılık endüstrisine, elektronik uygulamalarından, çevre, enerji ve medikal uygulamalarına kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir.

Bu çalışmada 1983 yılından günümüze dünya çapında birçok endüstri alanında kullanılan ve kendisini her geçen gün daha da geliştirerek HAD piyasasında en çok tercih edilen yazılımlardan biri tanesi olan ve temelini sonlu hacimler yöntemi üzerine kuran ANSYS-FLUENT programı kullanılmıştır. ANSYS-FLUENT yazılımı kanatlarda akış, yanma, petrol platformları, temiz oda, damar içi kan akışları, atık su dönüşüm tesisleri gibi endüstriyel uygulama alanları için gerekli olan akış,

türbülans, ısı transferi ve reaksiyon modelleri hakkında geniş bir kütüphaneye sahiptir. Silindir içi yanma, turbo makinalar, çok fazlı sistem analizlerinin yapılabilmesini sağlayacak bir kütüphaneye sahip olması da bu yazılımın kullanım alanını arttırmaktadır. Bu çalışmada ANSYS-FLUENT yazılım programı, hareket edebilen ve deforme olabilen sayısal ağların (mesh) kullanımı ve paralel işlemlerdeki üstün performansı sayesinde üstün bir çözümlene kapasitesine sahip olan, hızlı ve gerçeğe yakın sonuçlar elde etme imkanı sağlayan özellikleri nedeniyle tercih edilmiştir [34].

ANSYS-FLUENT programında akışın ideal kabul edildiği en temel fiziksel kurallar olan kütle, momentum ve enerji korunum denklemleri kullanılmaktadır. Aşağıda bu denklemlerin kapalı formları verilmiştir. Bu denklemlerdeki bilinmeyen değişkenler sonlu sayıda hacim parçasına bölünmüş olan sınırlı çözüm hacmi içerisinde, sayısal olarak yinelenerek çözüm elde edilir.

Genellikle boru içi akışlarda Mach sayısı 0,3'e oranla çok küçük olması nedeniyle akışkan gaz bile olsa sıkıştırılmaz kabul edilir. Bu nedenle boru içi akışlarda süreklilik denklemi formül 5.1'deki gibidir.

Süreklilik Denklemi:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho u) = 0 \quad (5.1)$$

Momentum Denklemi:

$$x - \text{momentum} \quad \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + X \quad (5.2)$$

$$y - \text{momentum} \quad \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + Y \quad (5.3)$$

$$z - \text{momentum} \quad \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + Z \quad (5.4)$$

Enerji Denklemi:

$$\dot{Q}_{kh} - \dot{m}_i e_{fi} = \frac{dE_{kh}}{dt} + \dot{m}_c e_{fc} + \dot{W}_{kh} \quad (5.5)$$

Formül 5.1, 5.2, 5.3, 5.4 ve 5.5'te kapalı formları verilen denklemlerde  $p$  basınç,  $\rho$  yoğunluk,  $u$ ,  $v$  ve  $w$  hız bileşenleri,  $t$  zaman,  $X$ ,  $Y$  ve  $Z$  birim kütleyle etkileyen

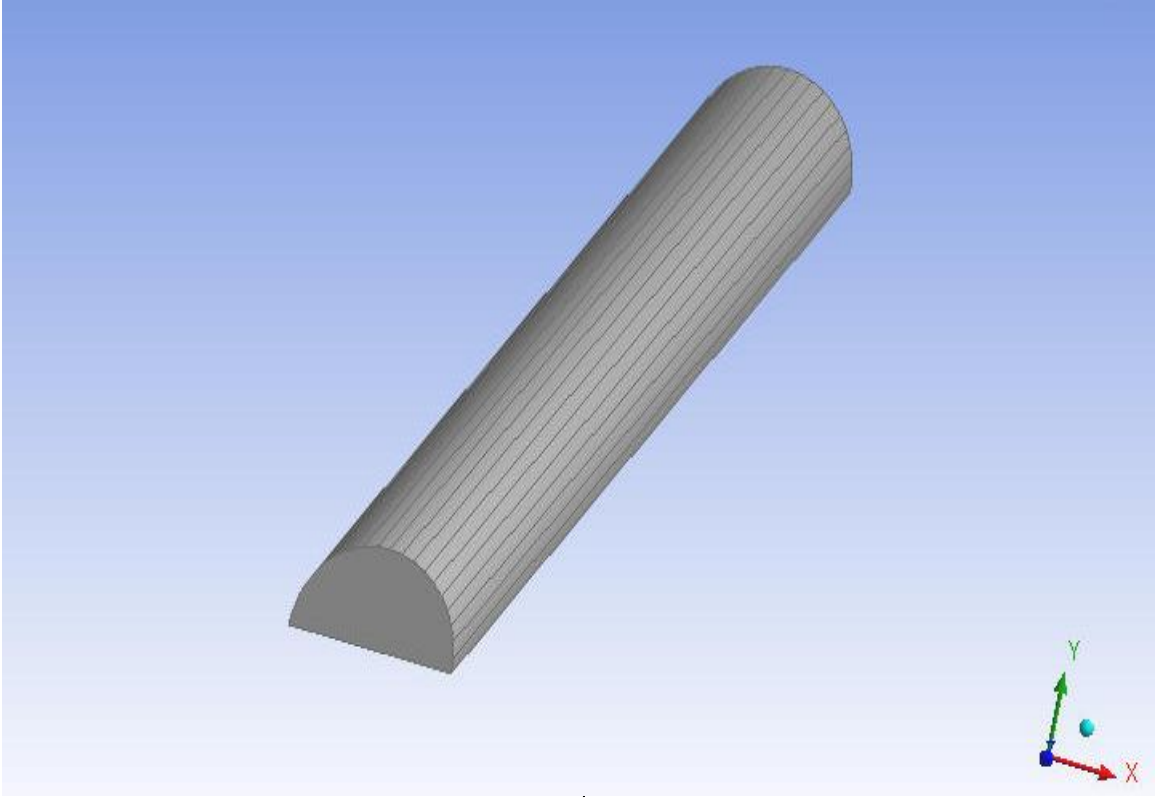
kuvvetin  $x$ ,  $y$  ve  $z$  eksenlerine paralel bileşenleridir. Ayrıca enerji denkleminde  $\dot{Q}_{kh}$  kontrol hacmine birim zamanda giren ısı,  $\dot{m}_i e_{fi}$  kontrol hacmine birim zamanda giren kütlelerin akış enerjisi,  $\dot{m}_c e_{fc}$  kontrol hacminden birim zamanda çıkan kütlelerin akış enerjisi,  $dE_{kh}/dt$  kontrol hacmi sınırları içerisindeki enerjinin birim zamanda değişim hızı ve  $\dot{W}_{kh}$  birim zamanda yapılan iştir [35].

### 5.3.2. Geometrinin çizilmesi

Yapılan bu çalışmada iç akış incelenmektedir. Deneysel verilerde ısı akısının simetrik olması ve iç akış hakkında ANSYS-FLUENT programından daha sağlıklı ve hızlı sonuç elde edilebilmesi amacıyla sadece boru içinin yarısı çizilmiştir. Deneysel verilerde ısı akısının düzgün dağılmadığı görülmüştür. Bu nedenle boru yüzeyinin tamamı hız, performans ve sonuçlar hakkında daha sağlıklı bilgi edinebilmek amacıyla birbirine eşit büyüklükte kırk adet düzgün yüzeye bölünmesi uygun görülmüştür. Fakat borunun modelde sadece yarısının çizilmesi nedeniyle borunun dış yüzeyi yirmi adet eşit ve düzgün yüzeye bölünmüştür. Deneysel verilere bağlı kalınarak, boyu 4 metre uzunluğunda olan, 50 milimetre iç çapında ve silindirik hacime sahip PGK'nin bir modülü çizilmiştir.

Bu çalışmada ANSYS-FLUENT programında geometri hazırlanırken öncelikle workbench dosyası açılmış ve buradan sol konsolda bulunan Analysis Systems sekmesi altında bulunan Fluid Flow (FLUENT) sürüklenerek açılan workbench'e taşınmıştır. Taşınan Fluent komutunun altında bulunan geometry açılmış ve buradan bir plane yani yüzey seçilmiştir. Seçilen plane XY yüzeyidir ve buradan Sketch komutu seçilerek 50 mm çapında bir yarım daire çizilmiştir. Çizilen yarım daire daha sonra Extrude komutu seçilerek 4 metre uzatılmıştır. Uzatılan dairenin konveks yüzeyi üzerinde Point komutu ile bu yüzeyin iki kenarında karşılıklı olarak 21 adet nokta oluşturulmuştur. Bu oluşturulan noktalar da FaceSplit komutuyla birbirlerine paralel olarak seçilmiş ve 20 adet eşit büyüklükte yüzey oluşturulmuştur. Son olarak Part Body sekmesinden oluşturulan geometri akışkan olarak tanımlanmış, geometri hazırlanmıştır. Bu hazırlanan geometrinin son hali şekil 5.3'te görülebilmektedir. Geometri çiziminden sonra sayısal ağ (mesh)

aşamasına geçilmiştir. Yapılan çalışma daha sonra masa üstünde oluşturulan bir klasöre kaydedilmiştir.



Şekil 5.3. Kullanılan geometri

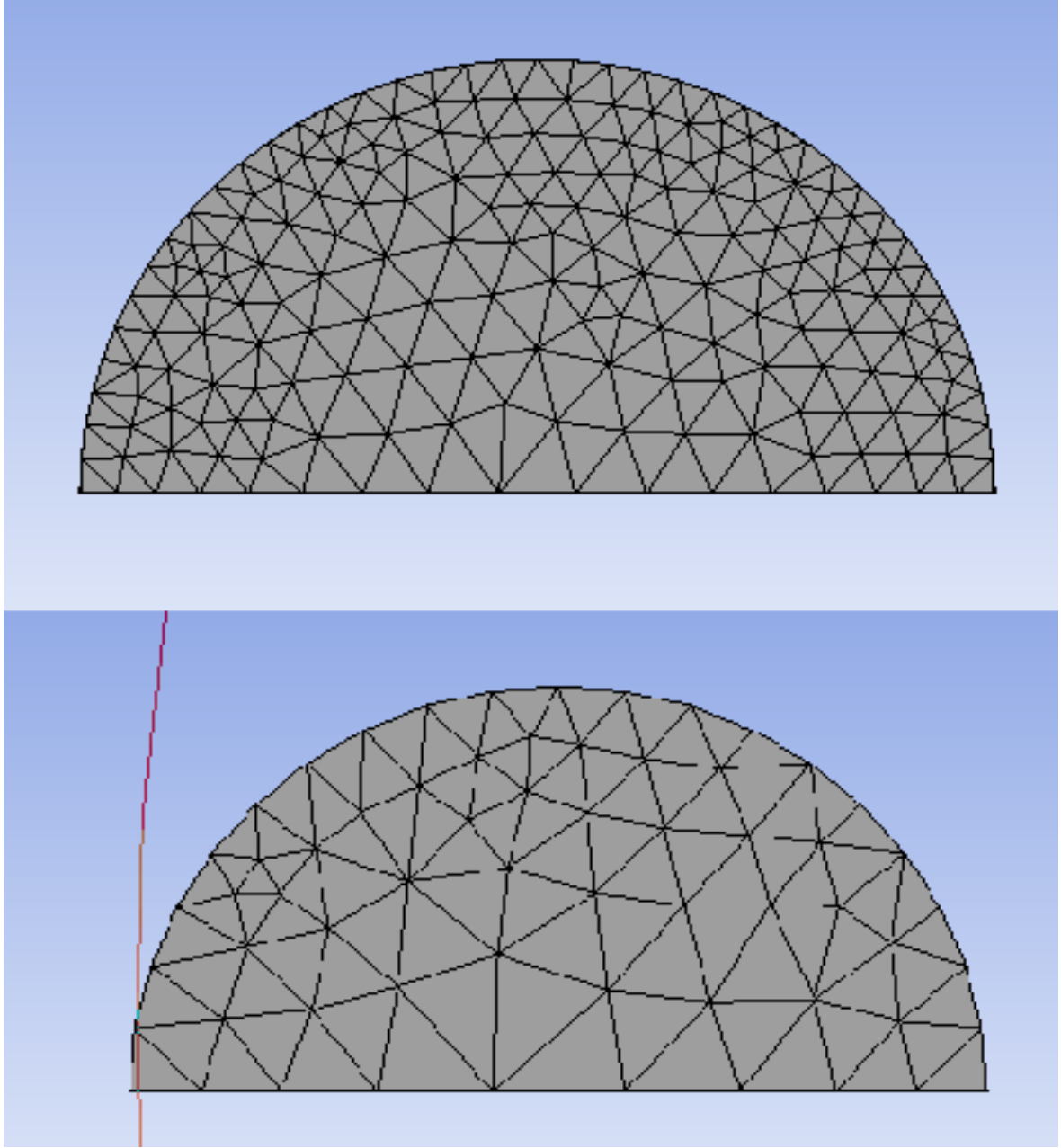
### 5.3.3. Sayısal ağın (mesh) kurulması ve seçimi

ANSYS-FLUENT programı sayısal ağ konusunda kullanıcıya çok fazla kolaylıklar sunmakta, fakat kullanıcının müdahalesini azaltmaktadır. Geometri hazırlandıktan sonra workbench'den mesh sekmesi açıldığında program otomatik olarak basit bir sayısal ağ oluşturmaktadır. Fakat bu sayısal ağ zaman zaman yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle sayısal ağı düzenlemek ve gerekli olarsa eleman sayısını arttırmak gerekmektedir.

Sayısal ağ kurulurken eleman sayısı arttıkça çözüm süresi uzamakta ve bilgisayarın işlemcisi zorlanmaktadır. Bu çalışmanın yapıldığı bilgisayarda 5 000 000 elemandan daha fazla eleman sayısında yapılan çalışmalar, işlemciyi çok zorlamakta ve zaman zaman çözüme ulaşmakta engeller çıkartmaktadır.

HAD'da hazırlanan modelin doğruluğunu ispatlamak için gerekli olan işlemlerden bir tanesi modelin sayısal ağdan bağımsız olduğunu göstermektir. Bir sayısal modelde, modelin eleman sayılarının farklı da olsa, çözümlerin birbirine yakın sonuçlar vermesine sayısal ağdan bağımsızlık denilmektedir. Düşük eleman sayılı modeller doğru sonuçlar vermeyebilir. Bu nedenle sayısal ağın iyileştirilmesi gerekmektedir. Yüksek eleman sayılarında çalışmak, işlem süresini uzatmakta ve bilgisayarın işlemcisini zorlamaktadır. Bu nedenle de, çözümün kabul edilebilir bir sınır içerisinde yapılabilmesi ve işlem süresinin de göz önünde bulundurulmasıyla eleman sayısı ile işlem süresi arasında bir optimizasyon yapmak gerekmektedir.

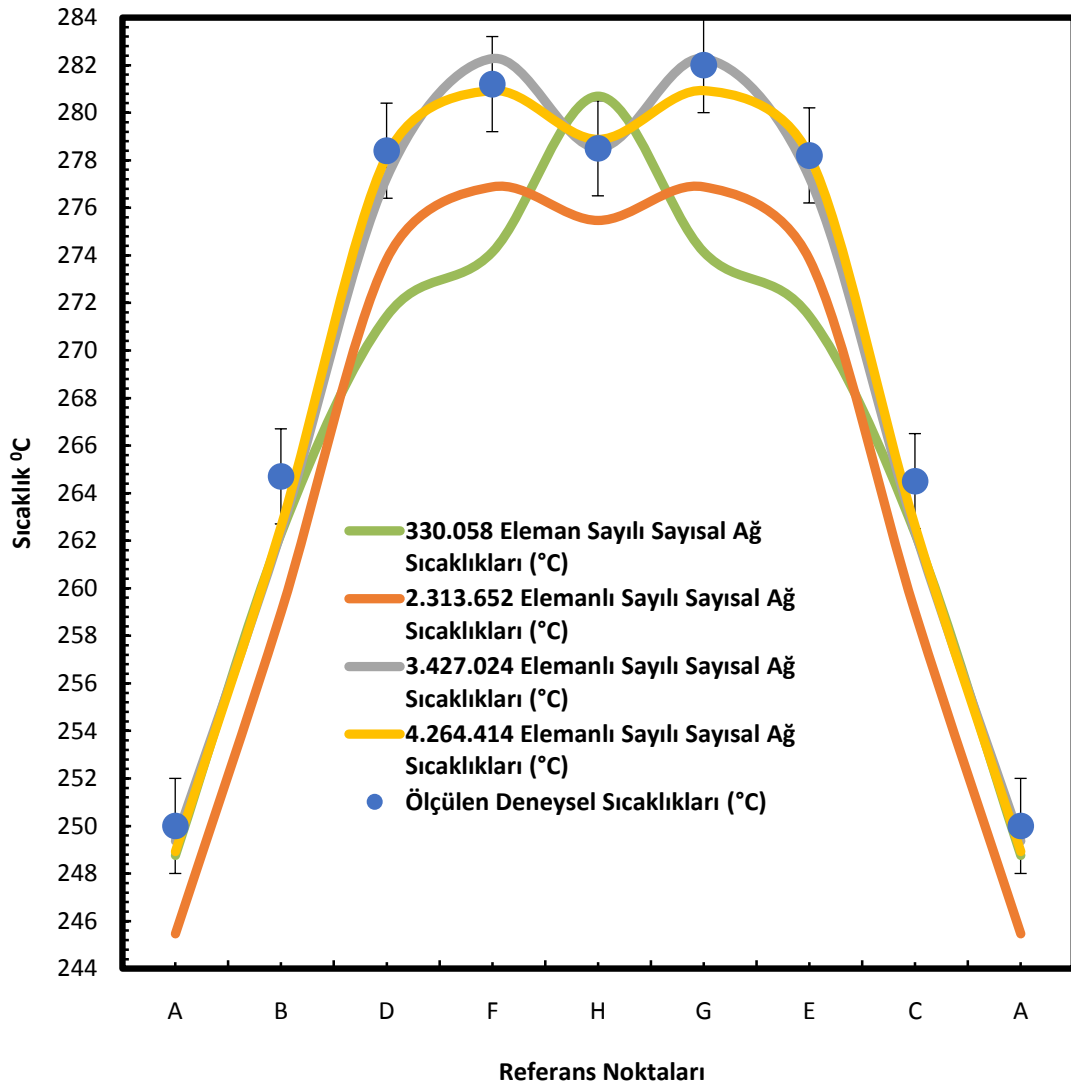
Sayısal ağ oluşturulurken Details of Mesh sekmesinin alt sekmelerinden olan Sizing sekmesinin içerisinde bulunan Curvature Normal Angle komutu ile boru kenarları istenilen ölçülerdeki açılara bölünebilmekte, Minimum Size komutu ile en küçük elemanın boyutu girilebilmekte ve Growth Rate ile elemanların kendinden bir sonraki büyük eleman boyutu ile oranı belirlenebilmektedir. Details of Mesh sekmesinin alt sekmelerinden Inflation sekmesinden de hassas çözüm yapılmak istenilen alana istenilen katmanda ve birbirlerine karşı boyut büyüme oranı istenildiği ölçüde girilerek daha az eleman sayısı ile daha iyi çözümler elde edilebilmektedir. Ayrıca bu sekmelerin en altında bulunan Statistics sekmesinden eleman sayısı, meshlerin büyüklükleri, hangi büyüklükte kaç tane olduğu, çarpıklık derecesi ve kalitesi gibi sayısal ağın nicelikleri görülebilmektedir. Ek olarak da, Mesh sekmesi altında modele inlet, outlet, wall gibi sınır koşullarını atayabilmek için yüzeyler seçildikten sonra farenin sağ tuşuna tıklanarak çıkan bölümden Named Selection sekmesi seçilip yüzey tanımlanabilmektedir. Bahsedilen aşamalardan bu çalışmada geçilmiş olup, sayısal model için mesh çalışması bitirilmiş olur.



Şekil 5.4. 330 058 ve 3 427 024 eleman sayılarına sahip modellerin inlet yüzeyinin Z koordinatına dik sayısal ağ görüntüsü

Bu çalışmada 4 farklı sayısal modelde işlem yapılmıştır. Sırasıyla bu modeller 330 058, 2 313 652, 3 427 024 ve 4 264 414 eleman sayısına sahiptir ve iki tanesinin inlet görüntüsü Şekil 5.4'te verilmiştir. Bu modellerin sonuçları aşağıdaki grafikte gösterilmiştir. Bu modelde simetri özelliği kullanıldığında bu modelin eleman sayıları, bahsedilen eleman sayılarının iki katı olarak da düşünülebilir.

## Sayısal Ağ Eleman Sayısı Karşılaştırma Grafiği

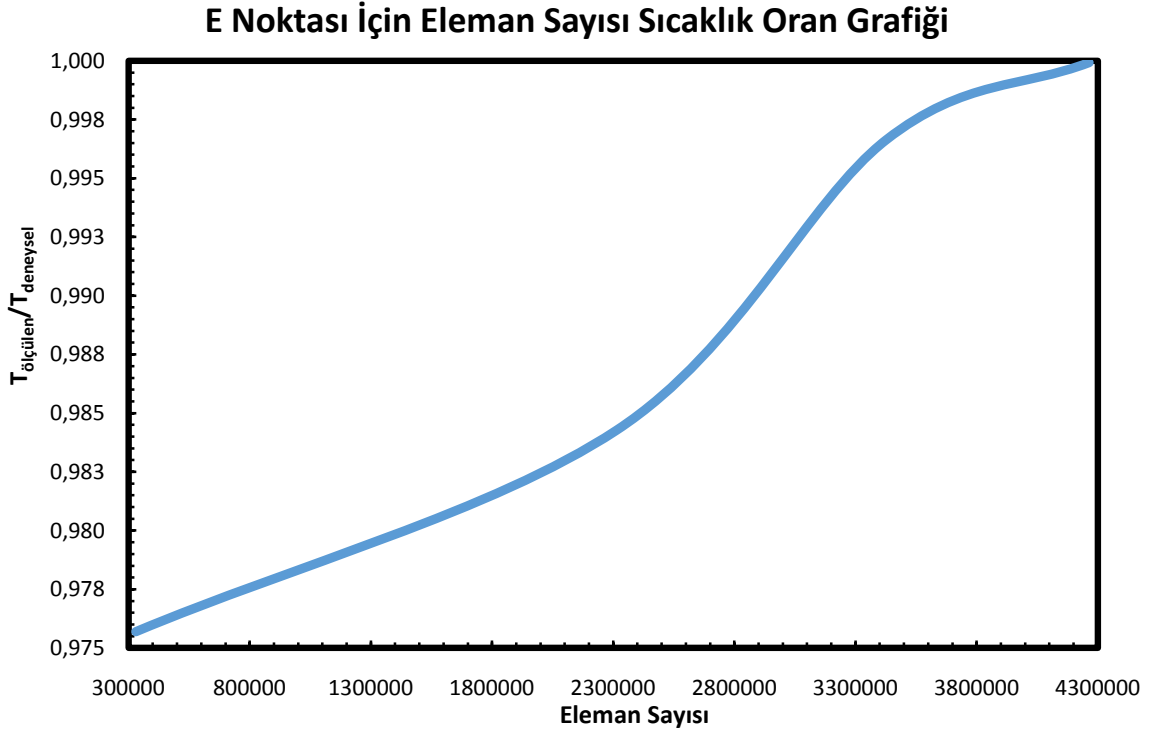


Şekil 5.5. 330 058, 2 313 652, 3 427 024 ve 4 264 414 eleman sayılı model sonuçlarının deneysel sonuçlarla karşılaştırılması

Çizelge 5.1. 330 058, 2 313 652, 3 427 024 ve 4 264 414 eleman sayılı model ve deneysel sonuçlar

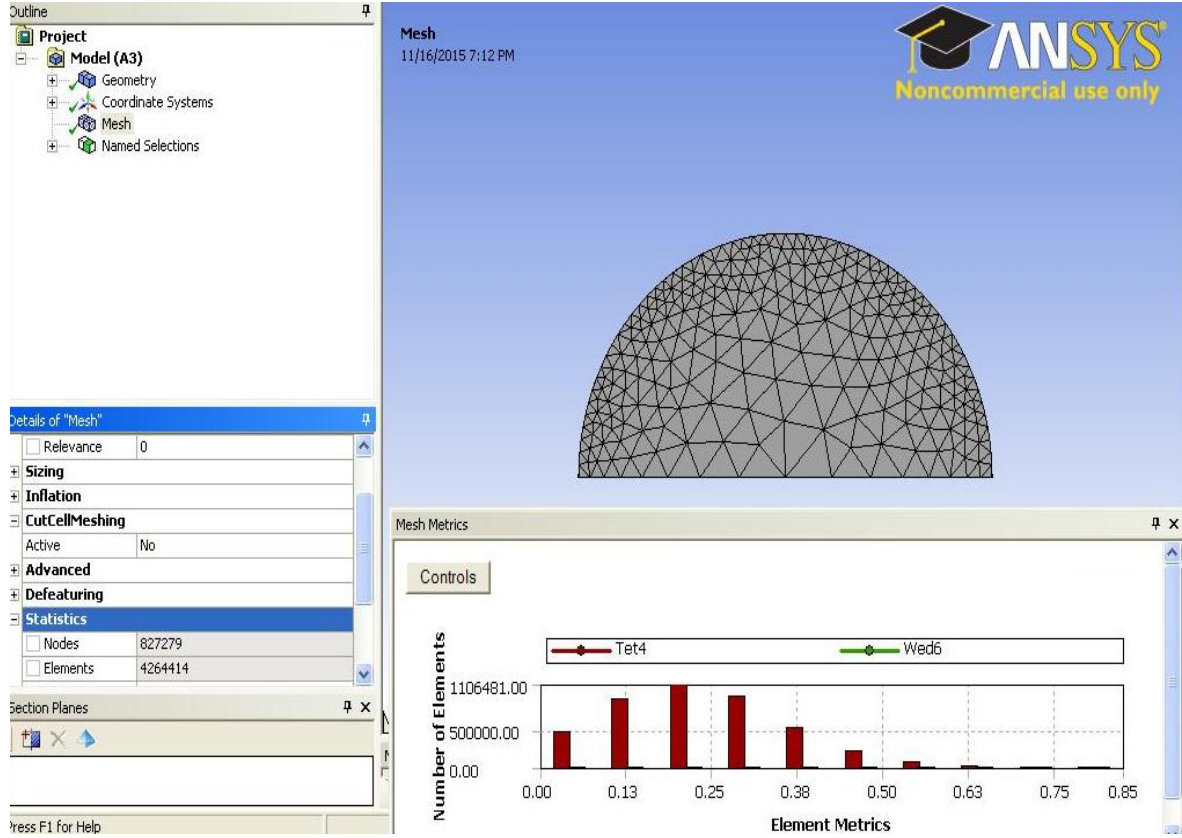
Noktalar	330.058 Eleman Sayılı Sayısal Ağ Sıcaklıkları (°C)	2.313.652 Elemanlı Sayılı Sayısal Ağ Sıcaklıkları (°C)	3.427.024 Elemanlı Sayılı Sayısal Ağ Sıcaklıkları (°C)	4.264.414 Elemanlı Sayılı Sayısal Ağ Sıcaklıkları (°C)	Ölçülen Deneysel Sıcaklıkları (°C)
A	248,77	245,47	249,38	248,93	250,00
B	262,30	258,99	262,37	262,60	264,70
D	271,44	273,82	277,26	278,18	278,40
F	274,14	276,88	282,28	280,93	281,20
H	280,69	275,46	278,51	278,87	278,50
G	274,14	276,88	282,28	280,93	282,00
E	271,44	273,82	277,26	278,18	278,20
C	262,30	258,99	262,37	262,60	264,50
A	248,77	245,47	249,38	248,93	250,00

E referans noktasında model sonuçları deneysel sonuçlara oranlanmıştır. Bu oranlar E referans noktası için deneysel verilerden farkı yüzde olarak göstermektedir. Bu fark grafiği şekil 5.7'de görülmektedir.



Şekil 5.6. Referans E noktası için  $T_{ölçülen}/T_{deneysel}$  (fark) değerlerinin farklı eleman sayıları için grafikte gösterimi

Şekil 5.5, 5.6 ve çizelge 5.1'de görüldüğü üzere mesh sayısı arttıkça hata payı düşmüş ve sonuçlar, deneysel sonuçla daha uyumlu hale gelmeye başlamıştır. Bu sonuçlar doğrultusunda en az eleman sayısına sahip olan model yarım saatten daha az bir sürede çözüm vermiştir. Fakat grafiksel olarak deneysel verilere benzememekte ve deneysel verilerle arasındaki sıcaklık farkı diğer sonuçlara oranla daha yüksektir. 330 058; 2 313 652; 3 427 024 ve 4 264 414 eleman sayılı modellerin sırasıyla maksimum farkları % 2,79; % 2,16; % 0,88 ve % 0,79 olarak hesaplanmıştır. 3 427 024 ve 4 264 414 eleman sayılı sayısal modellerin sonuçları birbirlerine ve deneysel sonuçlara yakın çıkmıştır. Çözüm süresi olarak aralarında çok fark olmaması ve çalışılan en fazla eleman sayısına sahip olan modelin maksimum farkının daha düşük olması ve sonuçlarının deneysel sonuçlarla daha fazla örtüşmesi nedeniyle 4 264 414 eleman sayılı sayısal model seçilmiş ve çalışmalar o model üzerinden devam ettirilmiştir. Şekil 5.6'da da görüldüğü üzere seçilen referans E noktasında kurulan model sonucunun deneysel model sonucuna oranı 1 olarak hesaplanmıştır. Maksimum farkın termokupl'ın hassasiyeti olan  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'ye yakın olması, bu modelin deneysel sonuçlarla uyumlu olduğunu göstermiş ve bu modelle çalışmalara devam edilmiştir. Seçilen sayısal modelin inlet olarak tanımlanan yüzeyinin sayısal ağ yapısı, eleman sayısı ve sayısal ağ eleman kalitesi şekil 5.7'de görülebilmektedir.



Şekil 5.7. 4 264 414 eleman sayılı modelin inlet yüzeyinin Z koordinatına dik sayısal ağ görüntüsü

### 5.3.4. Sayısal modelin sınır koşullarının belirlenmesi ve modelin kurulması

Sayısal ağ oluşturulduktan sonra Setup dosyası açılmış ve nümerik olarak modelin kurulması işlemine başlanılmıştır. Setup dosyası açıldığı zaman karşılaşılan ilk modelleme adımı General sekmesi altında bulunan sayısal ağın kalitesini ve sayısal ağı kontrol etmeye yardımcı komutlar bulunmaktadır. Ayrıca bu sekme altında çözücünün basınç temelli mi, yoksa yoğunluk temelli mi olduğu, hızın mutlak mı, bağıl mı olduğu ve modelin sürekli mi, süreksiz mi olduğu programa girdi olarak verilebilmektedir. Bu sekmede son olarak varsa yer çekiminin yönü ve büyüklüğü programa tanıtılabilmektedir.

İkinci sekmede yer alan Models'ten modelin fazı veya fazları, laminar veya türbülanslı olduğu, enerji denklemlerinin açık ya da kapalı olduğu, ısı değiştiricisi ya da ışınım olup olmadığı gibi işlemler programa tanıtılarak kurulacak modelin karakteristiği belirlenmektedir.

Models sekmesi altında bulunan Materials'ten modelde kullanılacak malzemelerin özellikleri, ANSYS-FLUENT'in kendi kütüphanesinden içerisinde ya da kullanıcı tarafından tanımlanabilmektedir.

Boundary Conditions sekmesinden de giriş, çıkış ve duvar diye tanımlanan yüzeylere sınır şartları olan hız, basınç, sıcaklık, ısı akısı gibi özellikler girilerek model kurulumu bitirilmektedir.

Yapılan çalışmada sınır koşulları belirlenirken deneysel verilere bağlı kalmıştır. Bu çalışmada enerji denklemleri açık konumuna getirilmiştir. Deneysel verilerde, seçilen modülün giriş basıncı 3,21 MPa, sıcaklığı 240,4 °C ve kütleli debisi 0,499 kg/s'dir. Buradan akışkanın kızgın buhar fazında olduğu görülmektedir. Kullanılan boru malzemesi de paslanmaz çeliktir.

Çizelge 5.2. Basıncı 3,21 MPa, sıcaklığı 240,4 °C olan kızgın buharın özellikleri [36]

Basınç (MPa)	3,21
Sıcaklık (°C)	240,40
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	15,8655
Dinamik Viskosite (kg/ms)	1,72E-05
Kinematik Viskosite (m <sup>2</sup> /s)	1,08E-06
İletkenlik Katsayısı (W/mK)	0,048031
Cp (kJ/kgK)	3,553

Çizelge 5.2'deki malzeme özellikleri 3,21 MPa basınç ve 240,4 °C sıcaklıkta kızgın buhar tablosundan okunmuştur. Programa malzeme bilgisi olarak çizelge 5.2'de verilen özellikler girilmiştir.

$$\dot{m} = \rho * V * A \quad (5.6)$$

$$Re = \frac{D * V}{\nu} \quad (5.7)$$

Formül 5.6'da  $\dot{m}$  kütleli debi (kg/s),  $\rho$  yoğunluk (kg/m<sup>3</sup>),  $V$  hız (m/s),  $A$  da alandır (m<sup>2</sup>). Bu formülden hız bulunabilir. Hız bulunduktan sonra formül 5.7'den  $Re$  hesaplanır. Bu çalışmada hız 16,22 m/s ve  $Re$  de 732 934 olarak hesaplanmıştır. Boru içi akışlarda  $Re$  2 300'den büyük ise akış türbülanslı kabul edilmektedir. Bu çalışmada  $Re$ 'nin 2 300'den çok büyük olması nedeniyle akış türbülanslıdır.

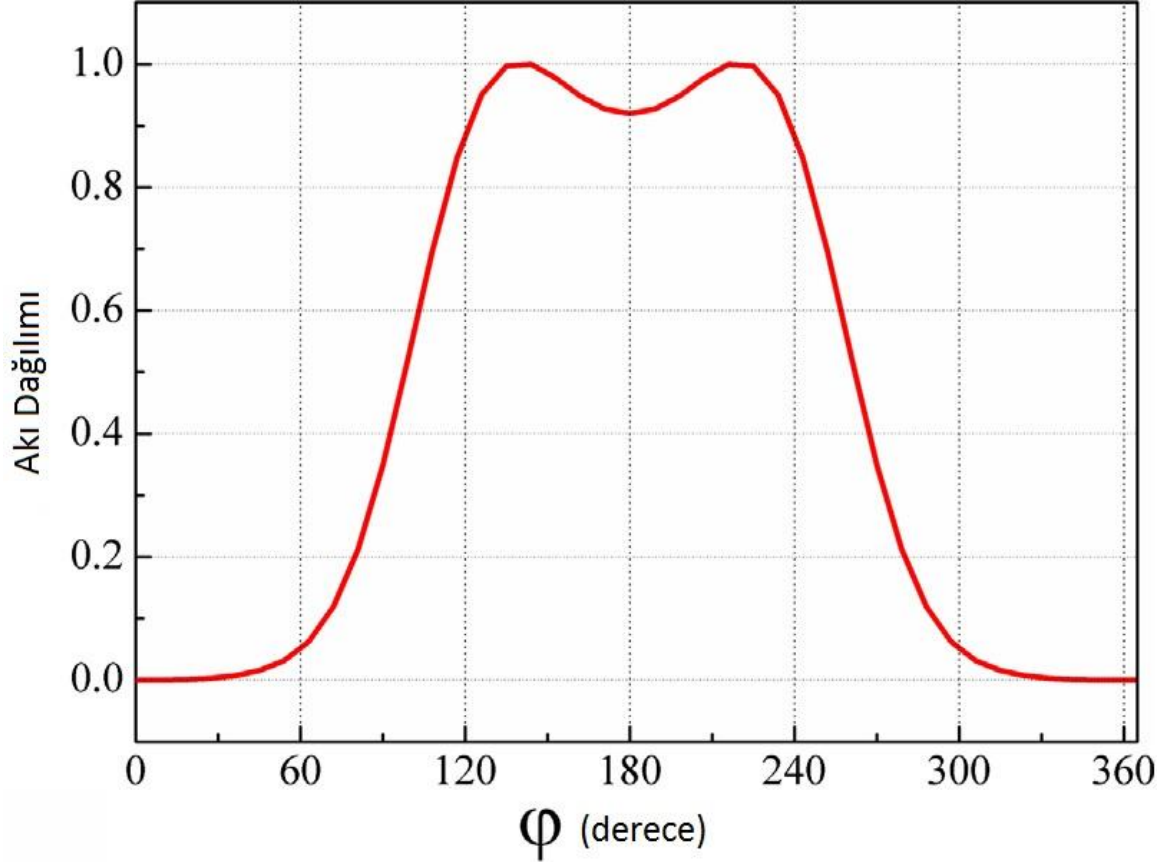
Akışın türbülanslı olduğu hesaplandıktan sonra, standart, RNG ve Realizable  $k - \epsilon$  türbülans modellerinin Non – Equilibrium Wall Function ve diğer duvar dibi yaklaşımlarıyla çözümlenmeler yapılmıştır. Fakat diğer duvar dibi yaklaşımları sonuç vermemiştir. Bu nedenle Non – Equilibrium Wall Function duvar dibi yaklaşımıyla hesaplamalara devam edilmiştir. Standart, RNG ve realizable  $k - \epsilon$  türbülans modelleriyle de hesaplamalar yapılmıştır. Realizable  $k - \epsilon$  türbülans modeli sonuç vermemiştir. Standart, RNG  $k - \epsilon$  türbülans modellerinin sonuçları da aynı çıkmıştır. Standart ve RNG  $k - \epsilon$  türbülans modellerinin sonuçlarının aynı çıkması üzerine süre faktörü göz önünde bulundurularak RNG  $k - \epsilon$  türbülans modelinin Non – Equilibrium Wall Function duvar dibi yaklaşımıyla hesaplamalara devam edilmiştir.

Giriş ve çıkışlar için sınır koşulları belirlendikten sonra 20 ayrı yüzeye bölünmüş olan borunun her bir dış yüzeyi ayrı bir duvar olarak tanımlanmıştır. Bu yüzeylerdeki ısı akısını hesaplamak gerekmektedir.

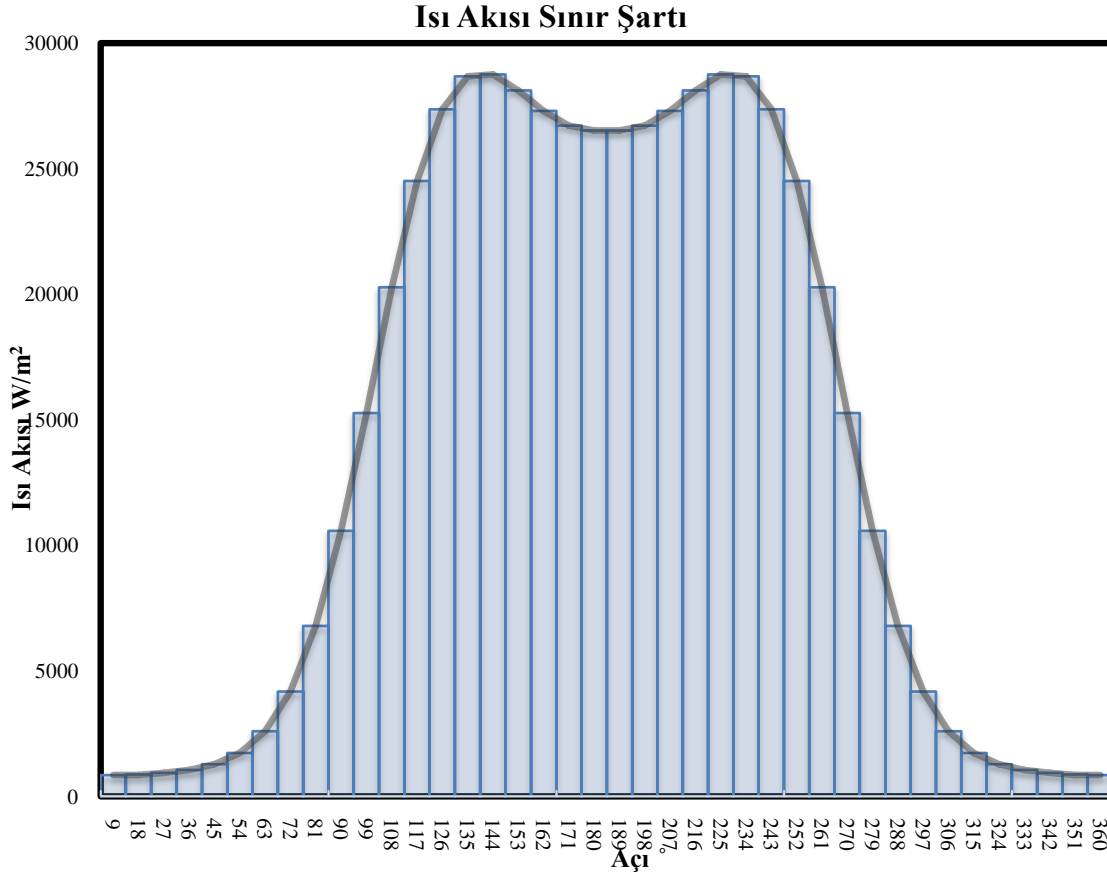
$$Q_{ISI\ akISI} = (C_1 * DNI * f(\varphi) * Ref * \epsilon * \alpha) + DNI \quad (5.8)$$

Formül 5.8'de  $C_1$  birimsiz bir değer olup parabolik çanağın absorban boruya güneş ışınlarını yoğunlaştırma oranıdır ve değeri yaklaşık olarak 45'dir.  $DNI$  güneş ışınımı şiddetidir ve değeri 850,6 W/m<sup>2</sup>,  $Ref$  aynanın yansıtma oranını,  $\epsilon$  cam borunun yutma oranını ve  $\alpha$  da absorban borunun yutma oranını ifade eden boyutsuz sayılar olup, üçünün de değeri 0,9'dur.  $f(\varphi)$  yüzeydeki ısı akısının dağılım fonksiyonu olup, grafiği şekil 5.8'de görülmektedir. Bu formülde  $\varphi$  değeri yüzey 20'ye bölüdüğü için derece (°) cinsinden 9 ve 9'un katlarındaki değerler alınarak, ayrı ayrı 20 yüzey için formül 5.8'den hesaplanmıştır. Hesaplanan ısı akısı değeri W/m<sup>2</sup> cinsinden boru yüzeyinin tamamı için Şekil 5.9'da görülmektedir. Şekil 5.9'dan yüzeydeki ısı akısının simetrik olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle

çalışmada eleman sayısı da göz önünde bulundurularak simetri komutuyla çalışılmıştır.



Şekil 5.8. Absorban borunun dış yüzeyi üzerindeki ısı akısı dağılım fonksiyonu [5]



Şekil 5.9. Boru dış yüzeyine sınır koşulu olarak tanımlanmış ısı akısının grafiği

Kontrol hacminin boyutları verilir, sayısal ağı atıldıktan sonra tanımlanan giriş, çıkış ve duvar yüzeylerine hız, basınç, malzeme özellikleri, ısı akısı gibi sınır koşulları verilerek sayısal model hazır hale getirilmiştir. Hazırlanan sayısal modele Hybrid Initialization komutuyla program tarafından başlangıç koşulları verilerek iterasyon sayısı girilir ve çözümlene yapılır. Sınır koşulları girilerek çözümü yaptırılan sayısal modelin sonuçları, PSES'ten alınan ve aynı sınır koşullarında bulunan sonuçlarla karşılaştırılarak sayısal model değerlendirilir. Bu çalışmada 240,4 °C sıcaklık ve 3,21 MPa basınçta, model uyumlu çıkmıştır. Bu sonuçlar konunun devamında verilecektir.

Bu çalışmada modelin doğruluğu ispatlandıktan sonra 3,21 MPa basınç, 240,4 °C sıcaklıkta 0,499; 0,55; 0,6; 0,65; 0,7 ve 0,8 kg/s kütleli debilerde çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda kütleli debilerin farklı, kızgın su buharının özelliklerinin aynı olması nedeniyle, hız farkları oluşmuştur. Bu çalışmalar yapılırken sınır şartlarından sadece hız değiştirilmiş ve sonuçlar gözlemlenmiştir.

İkinci yapılan çalışma, günümüzde daha test aşamasında olan 500 °C sıcaklık ve 10 MPa basınçta kızgın su buharı üzerine yapılmıştır. Bu çalışmada 500 °C sıcaklık ve 10 MPa basınçta 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5 ve 1,6 kg/s kütleli debiler için akışın termo-hidrolik özellikleri incelenmiştir. Bir önceki araştırmada kullanılan model sabit kalmış sadece kızgın buharın özellikleri, girişin hızı, basıncı, sıcaklığı ile çıkışta ters akım için basınç ve sıcaklık sınır şartları değiştirilmiştir. 500 °C sıcaklık ve 10 MPa basınçta kızgın buhar özellikleri çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3. 500 °C sıcaklık ve 10 MPa basınçta kızgın su buharı özellikleri [36]

Basınç (MPa)	10
Sıcaklık (°C)	500
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	30,4759
Dinamik Viskosite (kg/ms)	2,89E-05
Kinematik Viskosite (m <sup>2</sup> /s)	9,49E-07
İletkenlik Katsayısı (W/mK)	0,07561
C <sub>p</sub> (kJ/kgK)	2,5833

Bu modelde son olarak 300 °C'de 1 kg/s kütleli debide sırasıyla 1; 2; 3; 4 ve 5 MPa basınçtaki kızgın buhar üzerinde çalışma yapılmıştır. Burada da giriş basınçlarındaki değişimlerin basınç kaybı, sürtünme faktörü ve sıcaklık dağılımları üzerine etkilerini incelemek amaçlanmıştır. Bu çalışmada kullanılan 300 °C sıcaklık ve 1; 2; 3; 4 ve 5 MPa basınçtaki kızgın buhar özellikleri çizelge 5.4'te verilmiştir.

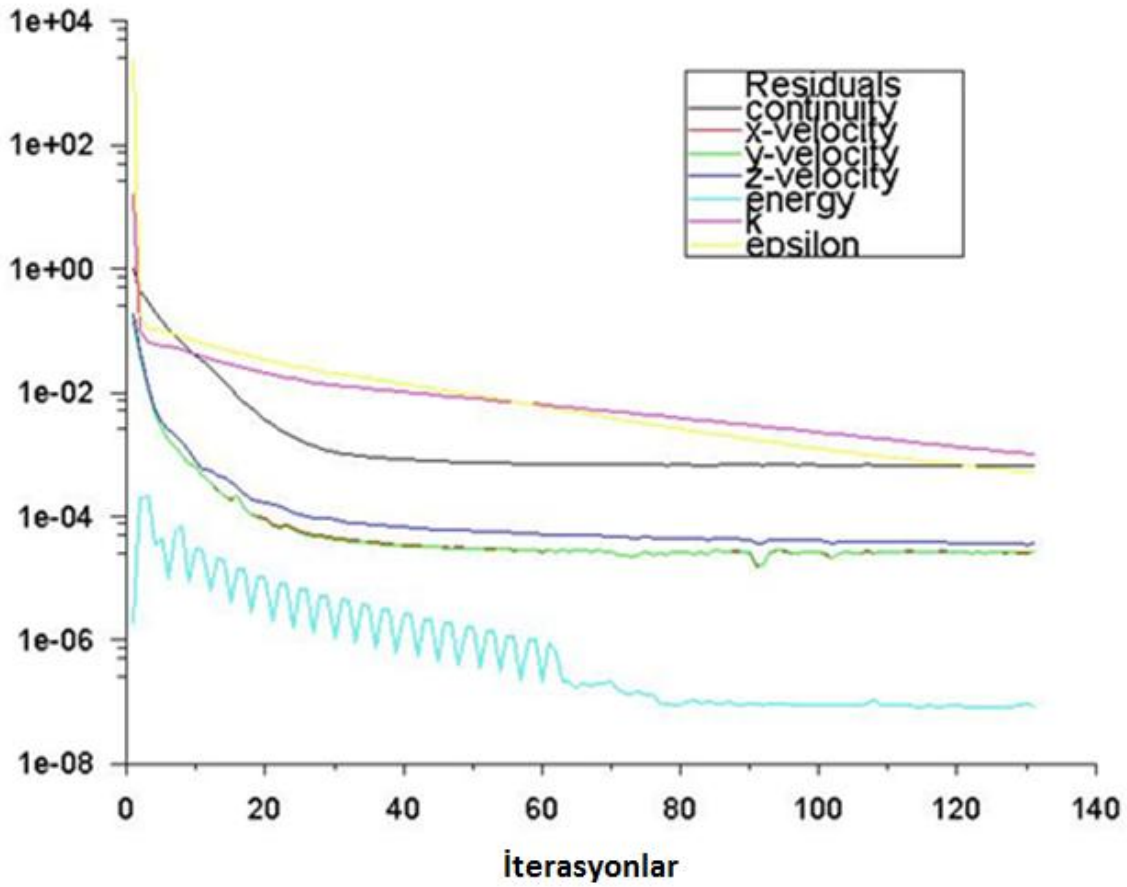
Çizelge 5.4. 300 °C ve 1; 2; 3; 4 ve 5 MPa basınçtaki kızgın buhar özellikleri [36]

Basınç (MPa)	1	2	3	4	5
Sıcaklık (°C)	300	300	300	300	300
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	3,8763	7,9681	12,3190	16,9872	22,0524
Dinamik Viskosite (kg/ms)	2,02E-05	2,01E-05	2,00E-05	1,99E-05	1,98E-05
Kinematik Viskosite (m <sup>2</sup> /s)	5,21E-06	2,52E-06	1,62E-06	1,17E-06	8,98E-07
İletkenlik Katsayısı (W/mK)	0,04496	0,04681	0,04887	0,05119	0,05385
C <sub>p</sub> (kJ/kgK)	2,14083	2,32010	2,54308	2,81995	3,17140

Bu üç çalışma için ayrı ayrı sınır şartları belirlenmiş ve sayısal modele girdi olarak verilmiştir. Bu sınır koşulları altında yapılan çözümlerlerin sonuçları bir sonraki başlık altında incelenecektir.

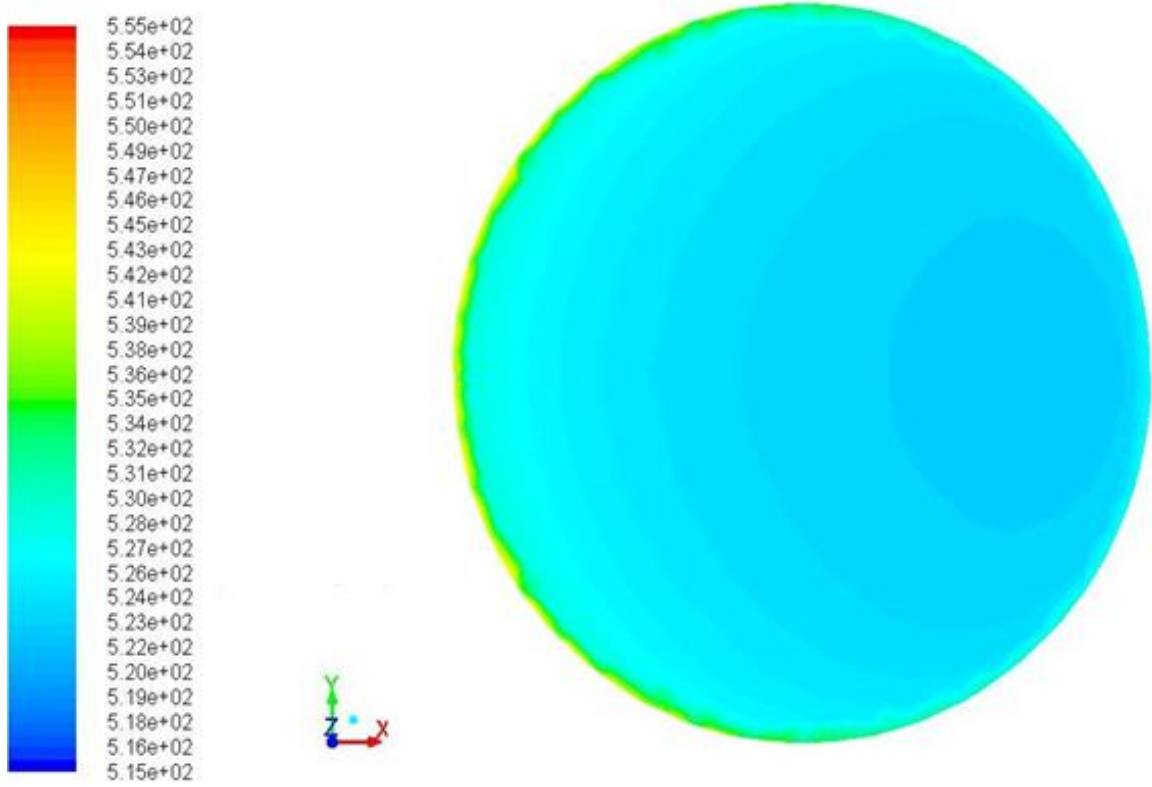
## 6. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Çözüm yapılırken sonuçlar ıraksıyorsa model kesinlikle yanlış denebilir. Fakat çözüm yakınsaması ise kesin doğru olduğunu göstermez, ama sonuçların doğruluğunu göstermek için sonucun yakınsaması gerekmektedir. Kurulan modelin çözümlene sırasında simülasyonun kalıntı değerlerinin iterasyonlara bağlı değişim grafiği şekil 6.1'de gösterilmiştir.



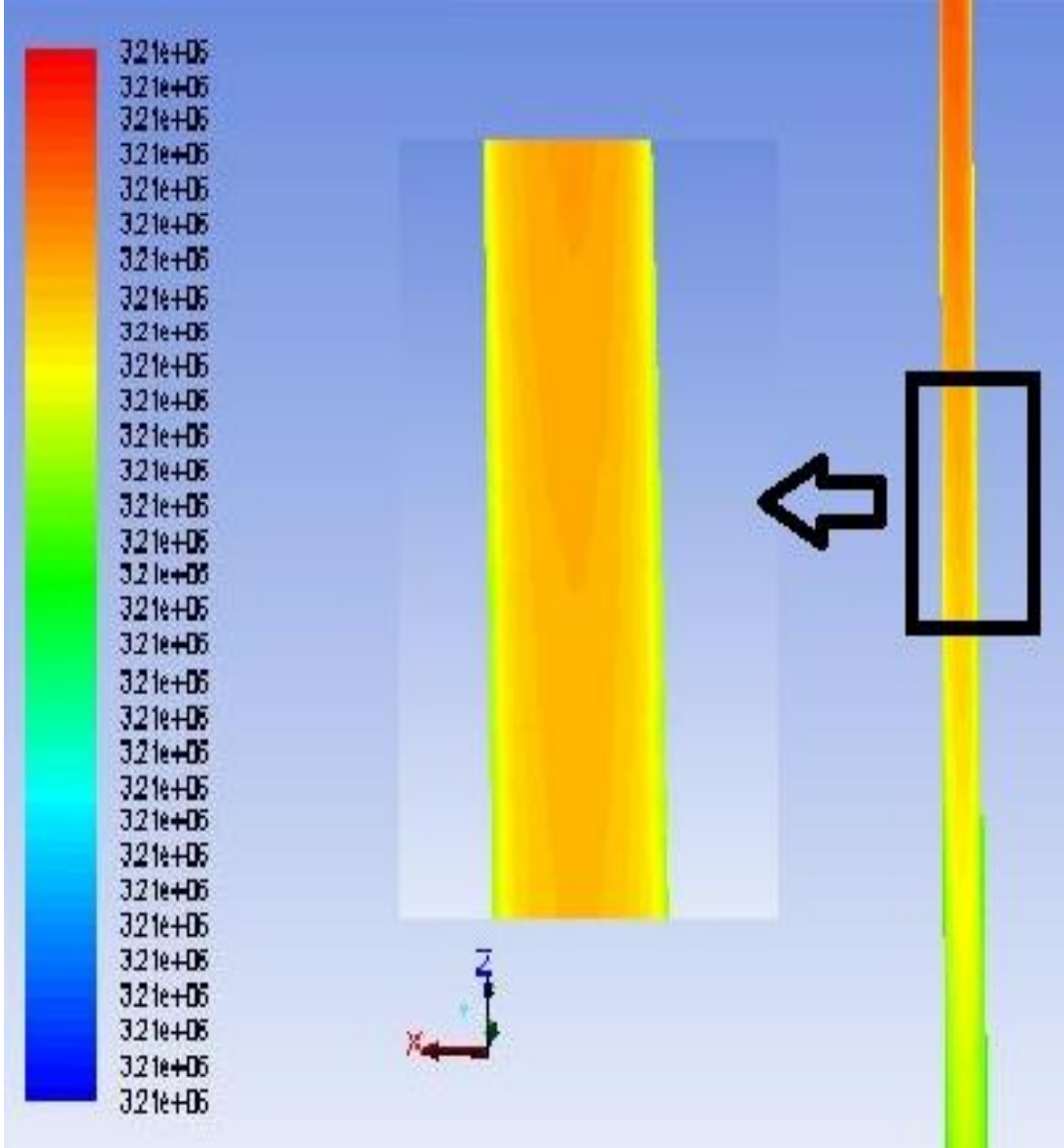
Şekil 6.1. 240,4 °C sıcaklık ve 3,21 MPa basınçtaki sayısal modelin kalıntı değerlerinin iterasyonlara bağlı değişim grafiği

$$\dot{q} = k * \frac{dT}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)dr} \quad (5.9)$$

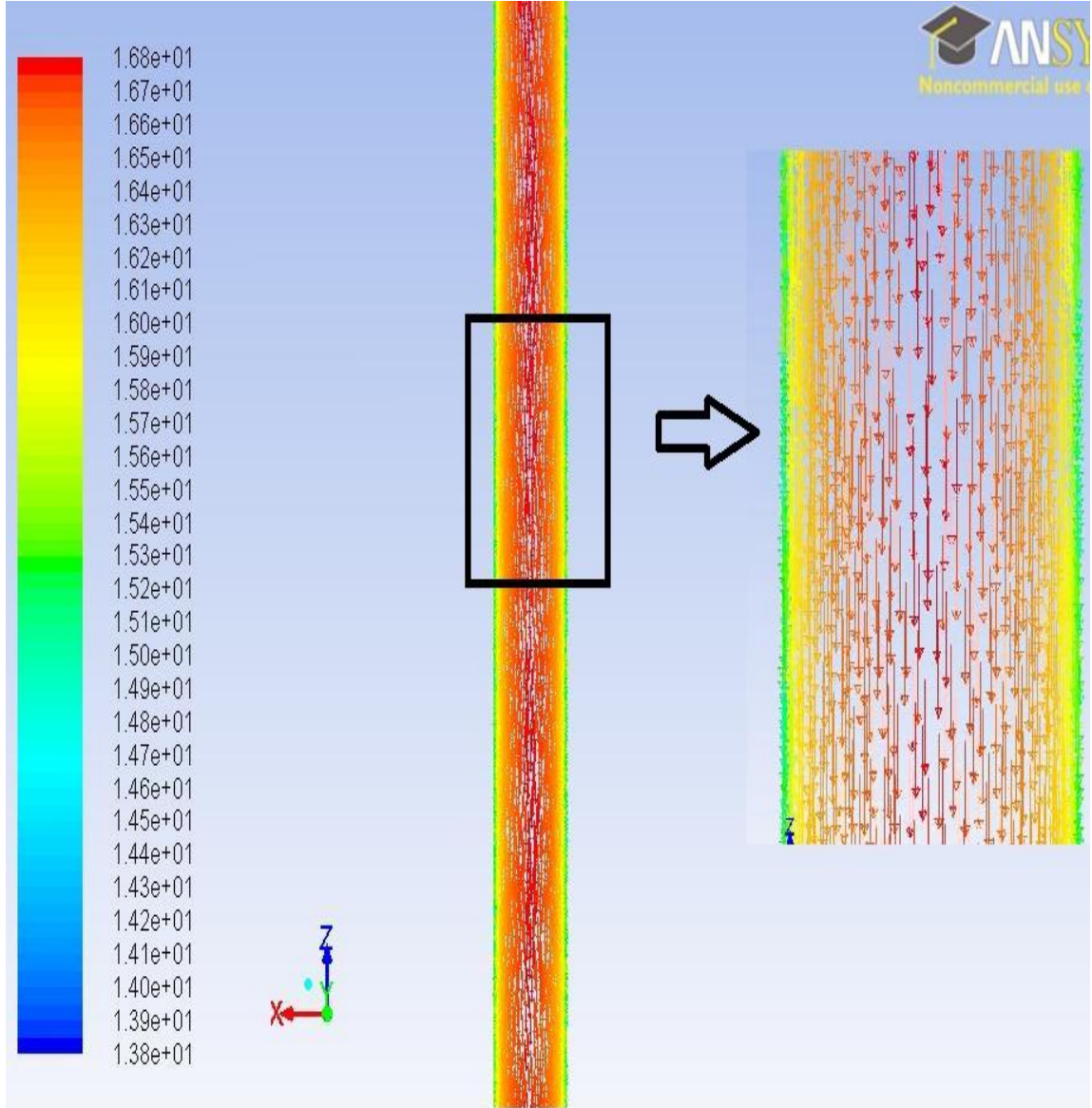


Şekil 6.2. 240,4 °C sıcaklık ve 3,21 MPa basınçtaki sayısal modelin çıkış sıcaklığının dağılımı

Şekil 6.2, 6.3 ve 6.4'te ANSYS-FLUENT programında kurulan sayısal modelin giriş sıcaklığı 240,4 °C ve basıncı 3,21 MPa olan kızgın buharın 0,499 kg/s kütleli debideki çözümlerinin görsel sonuçları verilmiştir. Bu şekillerde borunun içerisindeki sıcaklık dağılımını, hız vektörlerini ve basınç dağılımı görülmektedir. Boru yüzeyindeki ısı akısının düzgün dağılım yapmaması nedeniyle sıcaklık dağılımının da katmanlı bir yapıda olduğu, toplam basınç dağılımından boru içerisindeki akışın türbülanslı olduğunu ve hız dağılımından da borunun dış çeperinden merkezine doğru hız vektörlerinin arttığı çıkarımı yapılmaktadır.

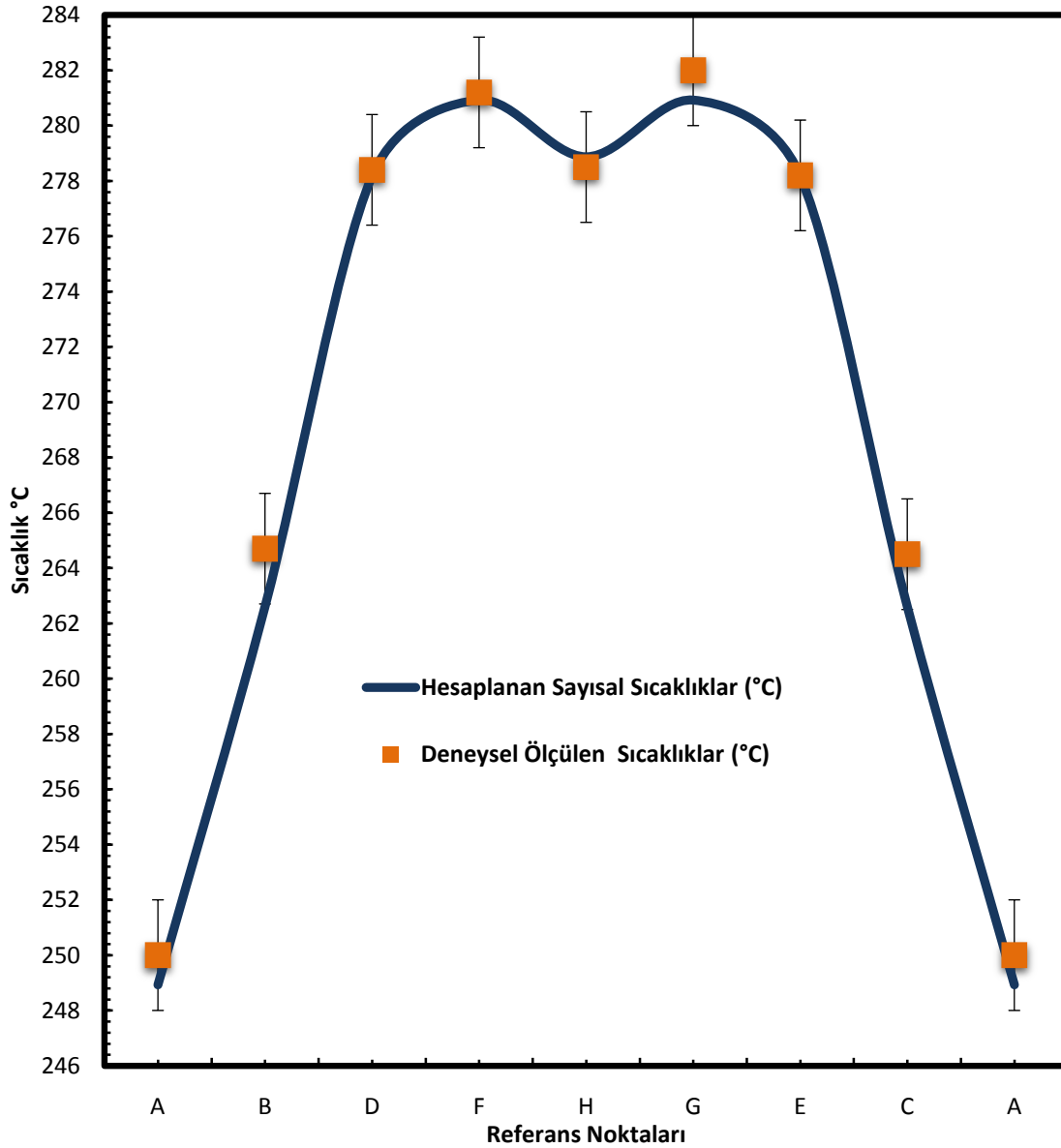


Şekil 6.3.  $240,4^{\circ}\text{C}$  sıcaklık ve  $3,21\text{ MPa}$  basınçtaki sayısal modeldeki iç akışın orta yüzeyindeki toplam basınç dağılımı



Şekil 6.4.  $240,4 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklık ve  $3,21 \text{ MPa}$  basınçtaki sayısal modeldeki iç akışın orta yüzeyindeki hız dağılımı

## Deneysel ve Sayısal Sıcaklık Sonuçlarının Karşılaştırılması



Şekil 6.5. Referans noktalarındaki 240,4 °C sıcaklık ve 3,21 MPa basınçtaki sayısal modelin sıcaklık dağılımının deneyden ölçülen sıcaklık dağılımıyla karşılaştırılması

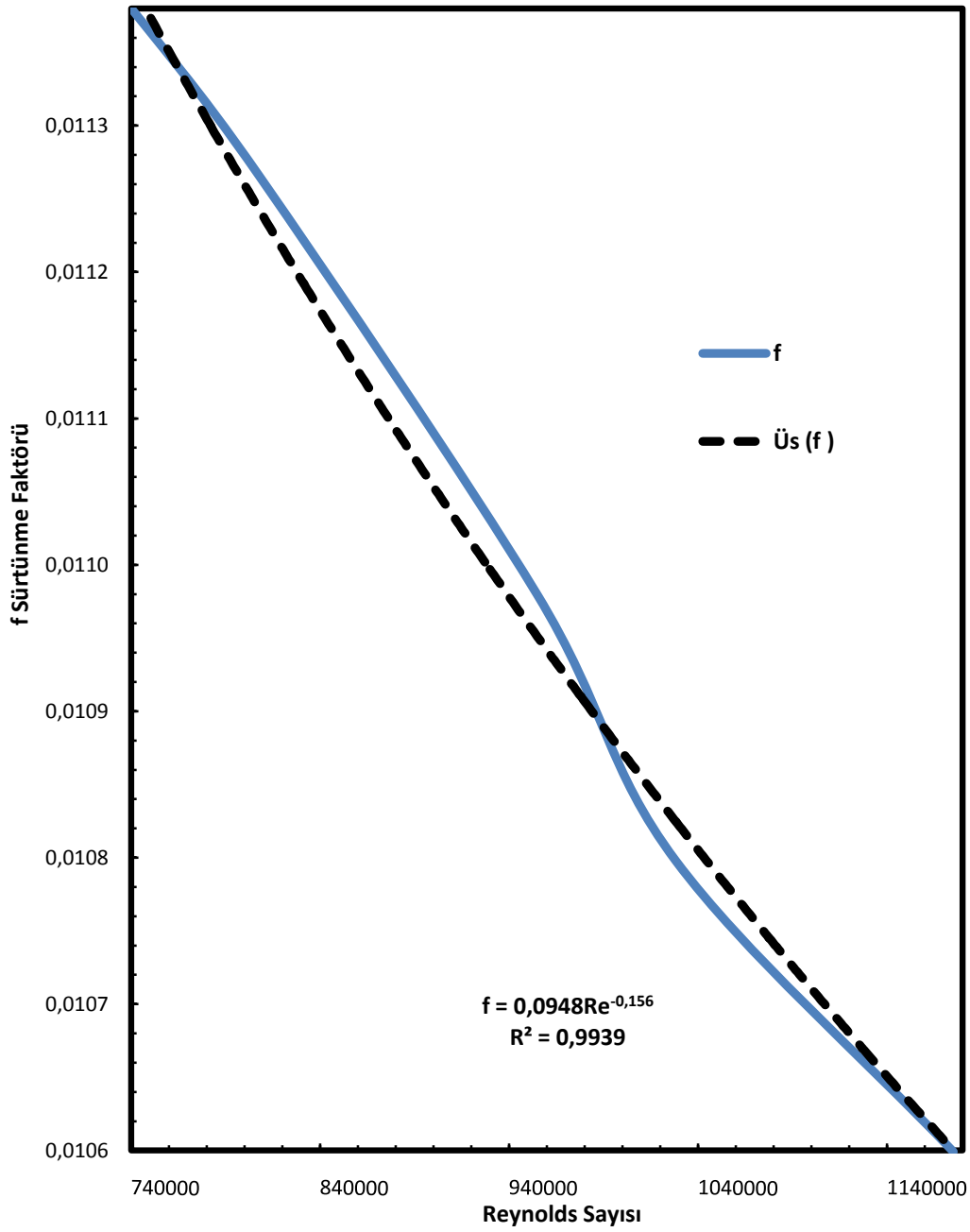
Bu çalışmada kullanılan model iç akış olarak kurulduğundan termokuplların ölçüm aldığı noktalardaki değerler 5.9'daki formül kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan değerlerin deneysel sonuçlarla karşılaştırılması da şekil 6.5 ve çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Referans noktalarındaki 240,4 °C sıcaklık ve 3,21 MPa basınçtaki sayısal modelin ve deneyin sıcaklıklarının karşılaştırılması

Referans Noktaları	Hesaplanan Sayısal Sıcaklıklar (°C)	Deneysel Ölçülen Sıcaklıklar (°C)	Fark	Fark Yüzdesi (%)
A	248,93	250,00	1,07	0,43
B	262,60	264,70	2,10	0,79
D	278,18	278,40	0,22	0,08
F	280,93	281,20	0,27	0,10
H	278,87	278,50	0,37	0,13
G	280,93	282,00	1,07	0,38
E	278,18	278,20	0,02	0,01
C	262,60	264,50	1,90	0,72
A	248,93	250,00	1,07	0,43

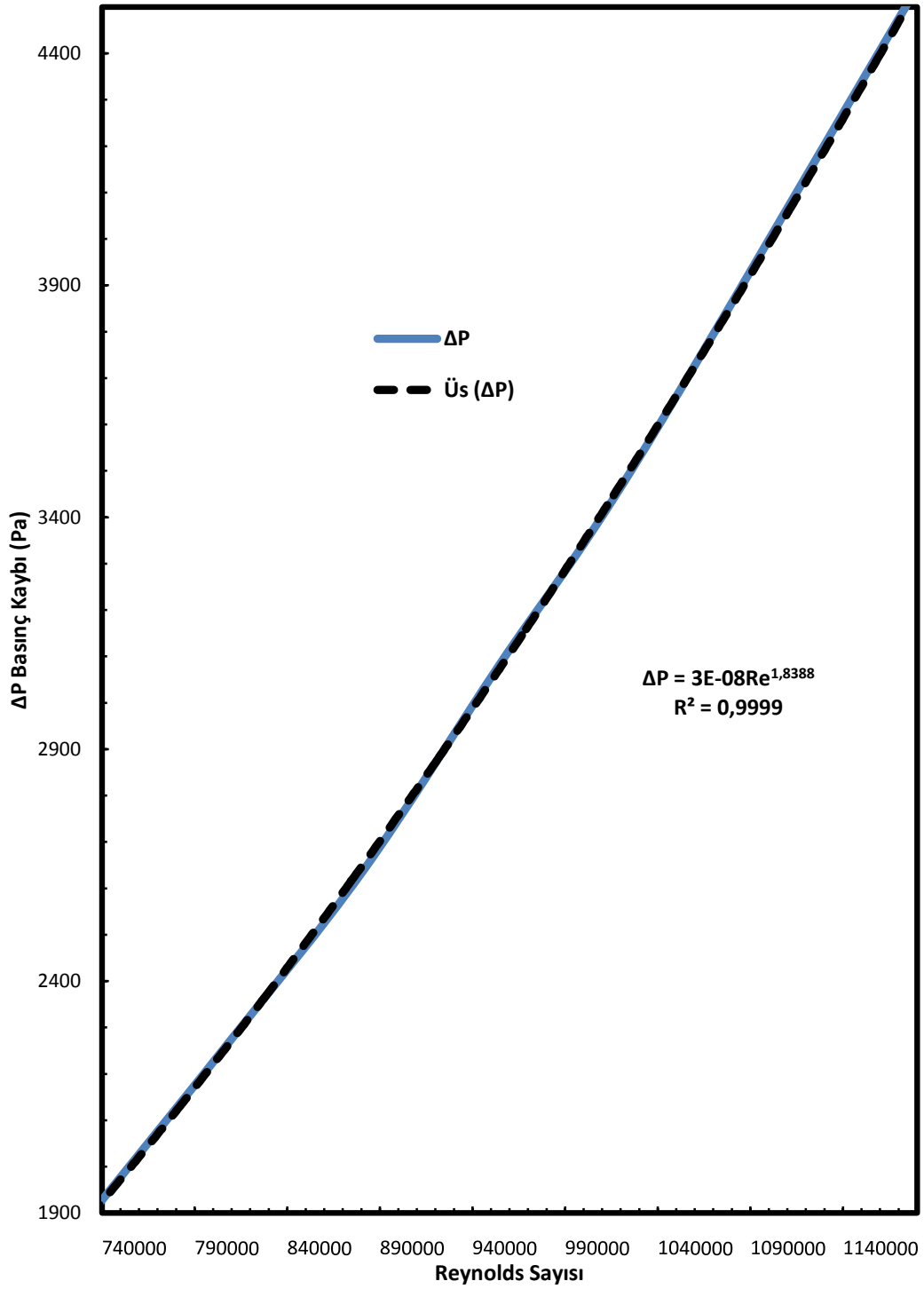
Modelin sayısal ağıdan bağımsız olduğu daha önceki bölümlerde ispatlanmış olup bu bölümde verilen şekil 6.1’de de sonuçların yakınsadığı görülmektedir. Ayrıca şekil 6.5 ve çizelge 6.1’de de hesaplanan sonuçların deneysel sonuçlarla uyumlu olduğu gözlemlenebilir. Burada en yüksek sıcaklık farkı 2,10 °C ve fark oranı yüzde 0,79 ile referans B noktasında çıkmıştır. Bu sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda kurulan sayısal modelin deneysel verilerle uyumlu olduğu görülmüştür. Kurulan model doğru deneysel çalışmalar için kullanılabilir. Çünkü sayısal model ile deneysel verilerden kaynaklı her zaman bir hata payı olacağı unutulmamalıdır. Bu hata sayısal ağı kalitesinden, sınır şartları verilirken yapılan kabullerden, az miktarda da olsa sürtünme kaynaklı kaybolan enerjinin ihmal edilmesi ile enerjinin korunduğu kabulü yapılmasından dolayı matematiksel modelden kaynaklanabilir. Ayrıca bu hatalar, kullanılan termokupulların hassasiyet payı içermesi, ölçüm yapılan deney ortamının ve çevrenin ideal koşullarda olamaması gibi nedenlerle de deneysel verilerden kaynaklı olabilmektedir. Sayısal modelin doğruluğu yukarıdaki çalışmalarla ispatlanmış olup, bu model üzerinden yeni çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların sınır koşulları bir önceki konuda verilmiştir. Sonuçlarda grafikler halinde bu bölümde verilmektedir.

**f Sürtünme Faktörü Reynolds Sayısı Grafiği**



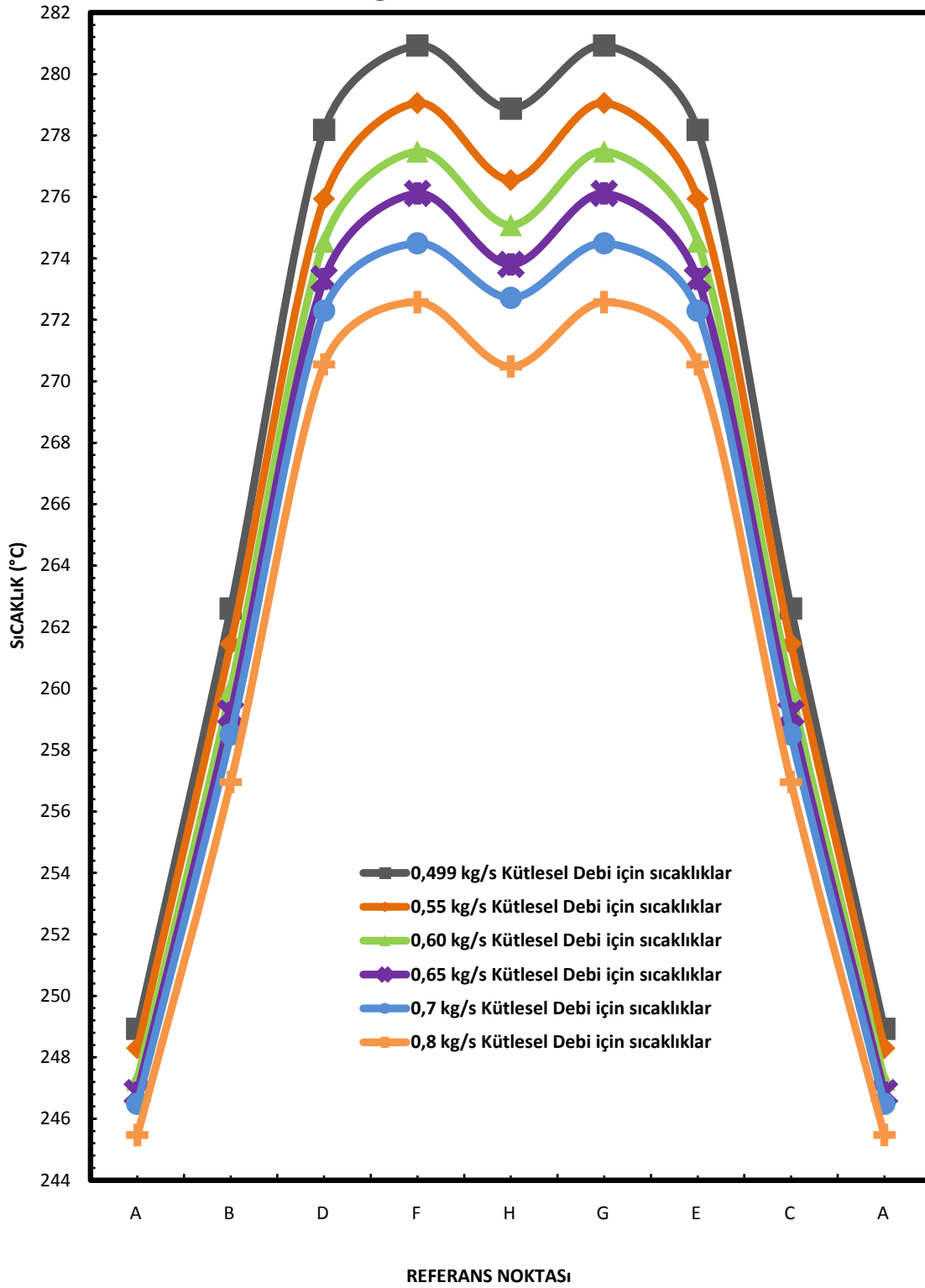
Şekil 6.6. 240,4 °C sıcaklık ve 3,21 MPa basınç için Re'ye bağlı sürtünme faktörü grafiği ve korelasyonu

### ΔP Basınç Kaybı Reynolds Sayısı Grafiği

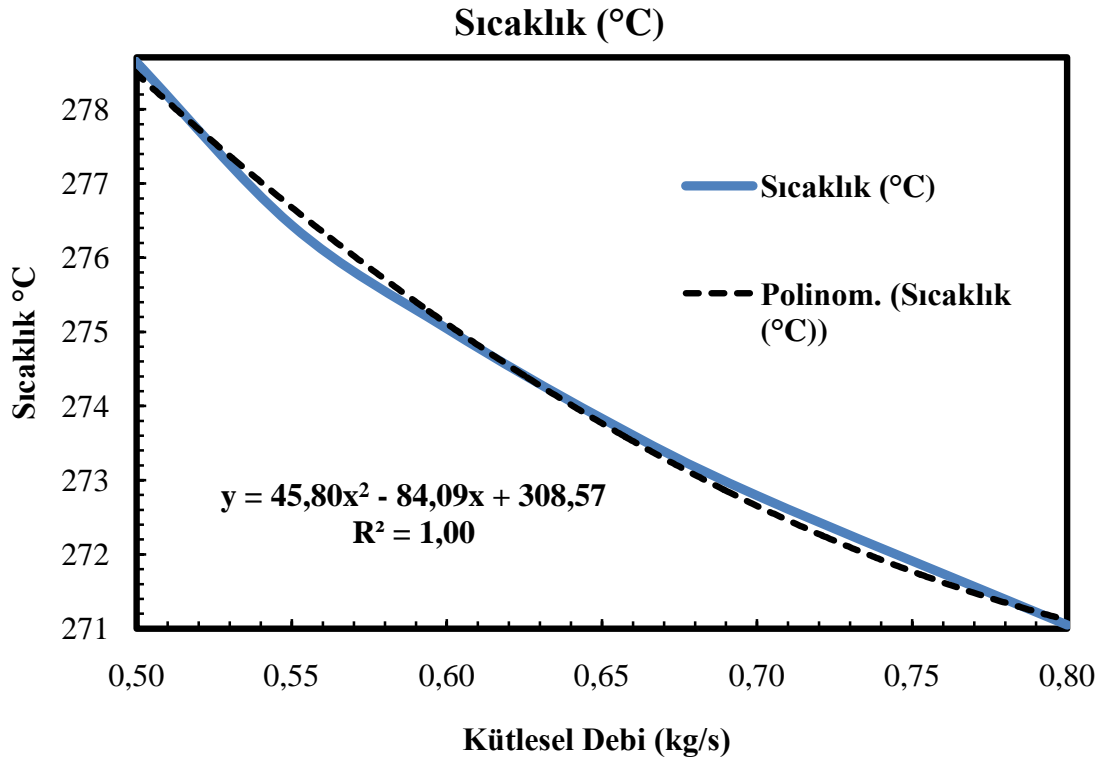


Şekil 6.7. 240,4 °C sıcaklık ve 3,21 MPa basınç için Re'ye bağlı basınç kaybı grafiği ve korelasyonu

## FARKLI KÜTLESEL DEBİLERDE SICAKLIK GRAFIKLERİ



Şekil 6.8. 240,4 °C sıcaklık ve 3,21 MPa basınçta 0,499; 0,55; 0,6; 0,65; 0,7 ve 0,8 kg/s kütleli debilerde sıcaklık dağılım grafiği



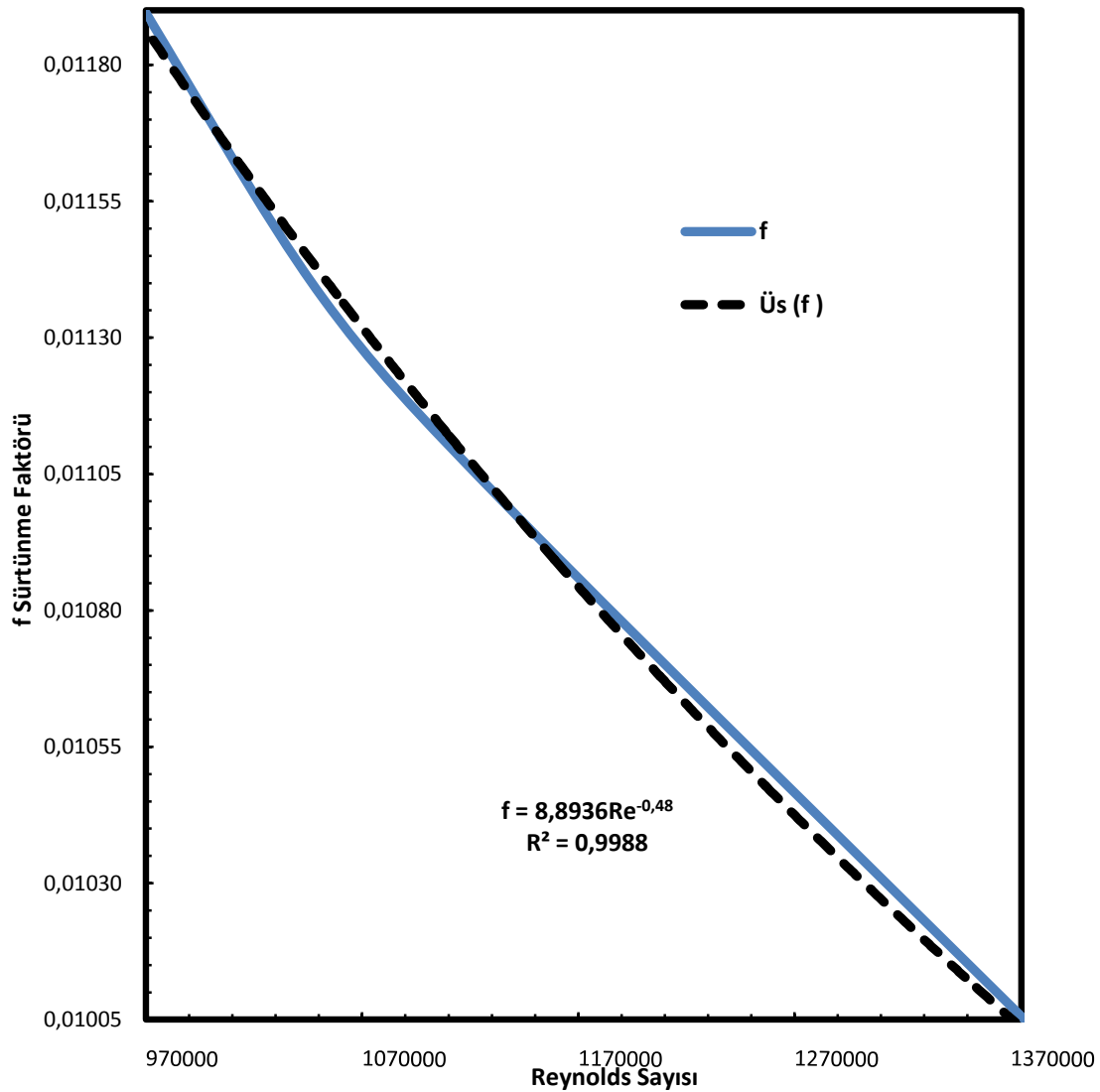
Şekil 6.9. E referans noktası için 240,4 °C sıcaklık ve 3,21 MPa basınçta 0,499; 0,55; 0,6; 0,65; 0,7 ve 0,8 kg/s kütleli debilerde sıcaklık değişimi grafiği

240,4 °C sıcaklık ve 3,21 MPa basınçta 0,499; 0,55; 0,6; 0,65; 0,7 ve 0,8 kg/s kütleli debilerde çalışma yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada kütleli debilerin değişmesi nedeniyle hızlar değişmiştir. Hızların değişmesi de Re'nin değişmesine neden olmuştur. Yapılan çalışmada Re'ye bağlı basınç kaybı, Re'ye bağlı f sürtünme faktörü ve farklı debilerde referans noktalarındaki sıcaklık dağılımı grafikleri çizdirilmiştir.

Şekil 6.6'da 240,4 °C sıcaklık ve 3,21 MPa basınçta 0,499; 0,55; 0,6; 0,65; 0,7 ve 0,8 kg/s kütleli debilerde Re'ye bağlı sürtünme faktörü grafiği ve korelasyon elde edilmiştir. Burada Re arttıkça bir başka deyişle hız arttıkça sürtünme faktörü azalmaktadır. Sürtünme faktörünün tersine de Re arttıkça basınç kaybı artmaktadır ve bunu Şekil 6.7'de bulunan grafikten yararlanarak inceleyebiliriz. Şekil 6.8'de tüm noktalar için şekil 6.9'da ise referans E noktası için 240,4 °C sıcaklık ve 3,21 MPa basınçta 0,499; 0,55; 0,6; 0,65; 0,7 ve 0,8 kg/s kütleli debilerdeki sıcaklık değişim grafiği verilmiştir. Bu grafikte de görülmektedir ki hızla doğru orantı gösteren kütleli debinin artması sonucunda, akışkanın sıcaklık

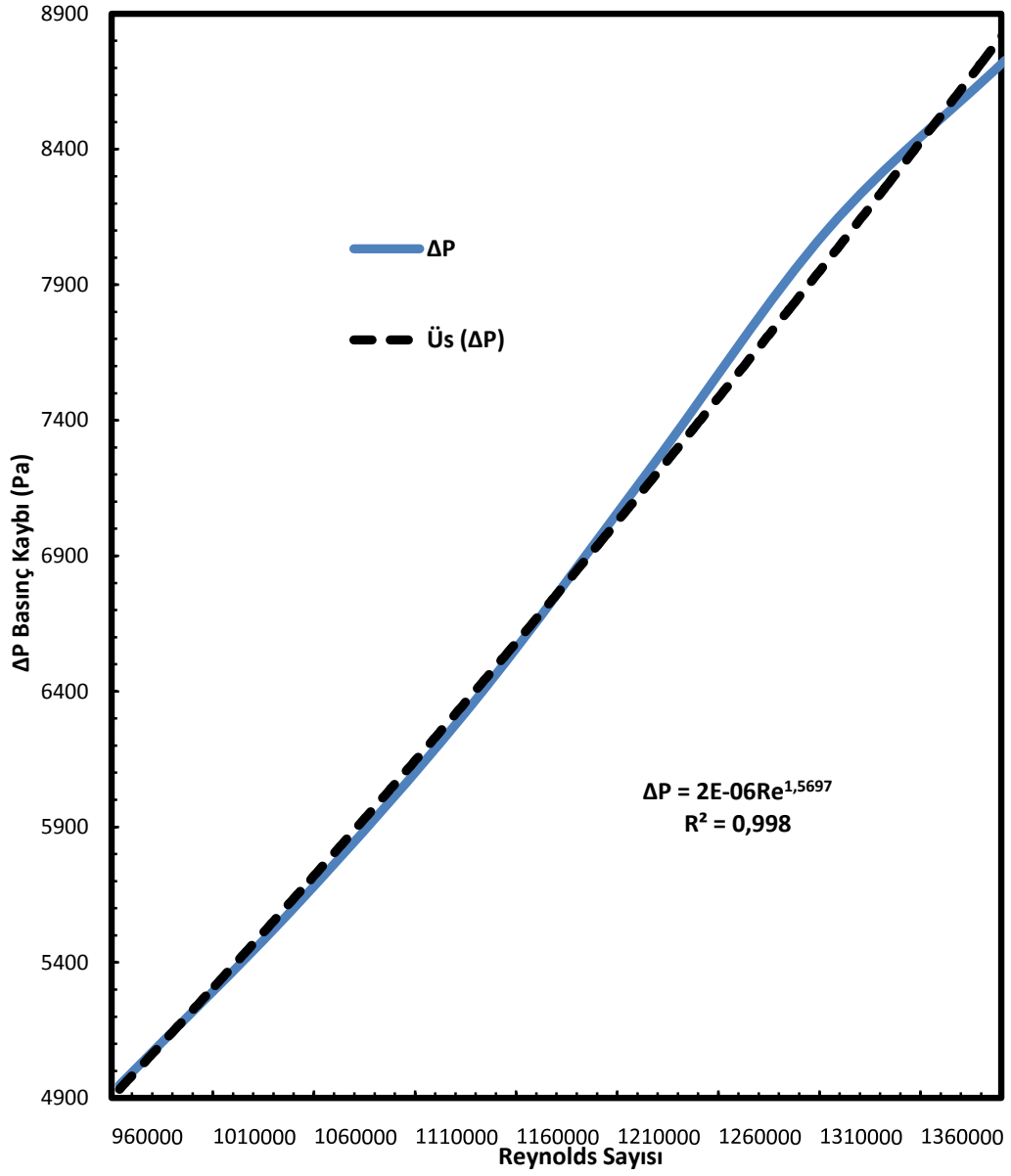
değişimi azalmaktadır. Bu değişimlerin polinomu şekil 6.9'un üzerinde görülebilir. Yani bu sonuçlar içerisinde en yüksek sıcaklık 0,499 kg/s kütleli debiye sahip akışta, en düşük sıcaklık da 0,8 kg/s kütleli debiye sahip akışta görülmektedir. Ayrıca bu bölümde yapılan çalışmalarda 0,499 kg/s'den daha düşük debilerdeki sonuçlar yeterli bulunmamış ve kullanılan bu sayısal modelin 3,21 Mpa basınç, 240,4 °C sıcaklıktaki kızgın buhar özellikleri için daha küçük debilerde kullanılması çözümlerin yetersiz olmasına yol açacağı tespit edilmiştir. Bu nedenle bu sıcaklık ve basınçta çalışılan en küçük kütleli debi 0,499 kg/s olarak alınmıştır.

**f Sürtünme Faktörü Reynolds Sayısı Grafiği**



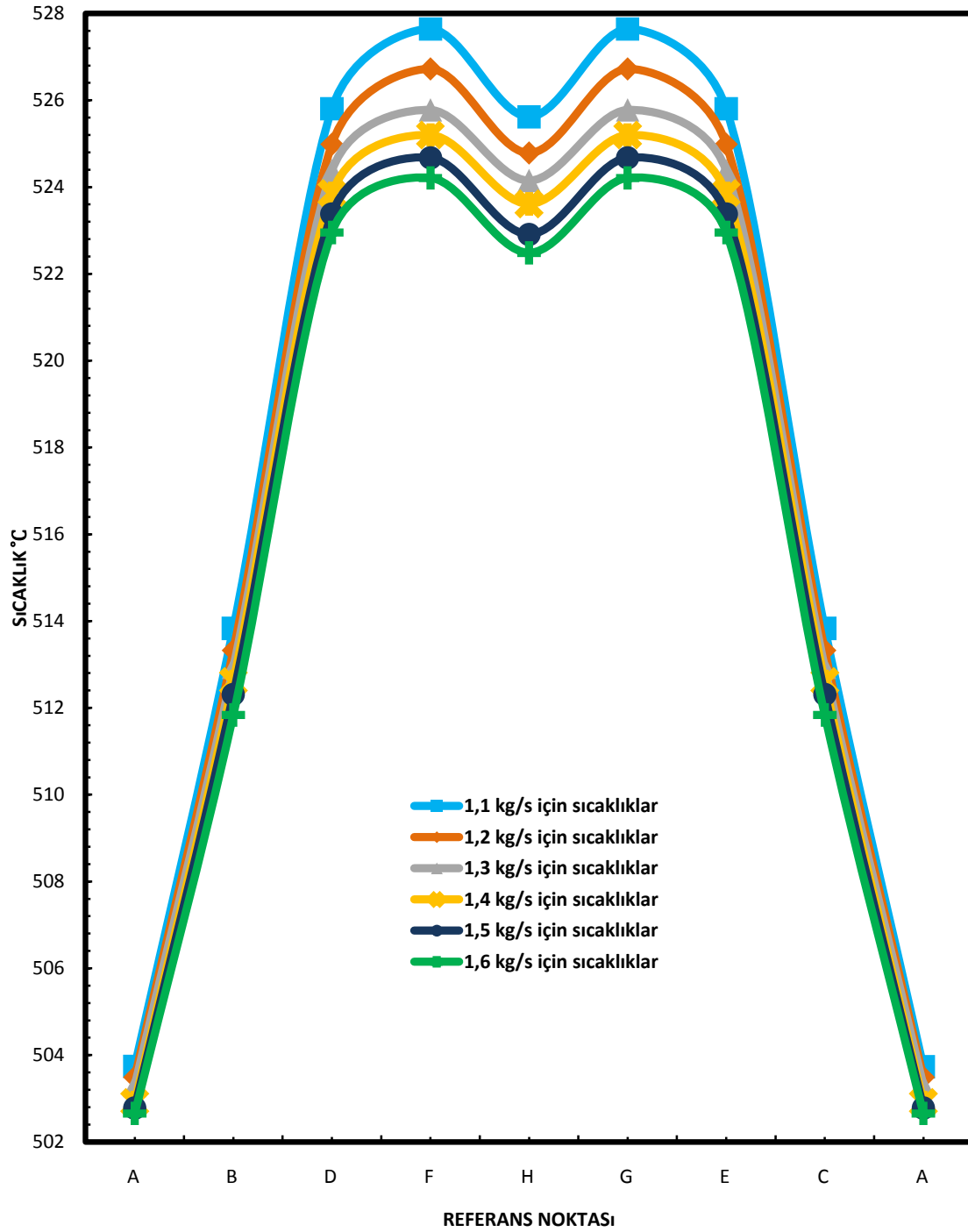
Şekil 6.10. 10 MPa basınç ve 500 °C sıcaklıkta 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5 ve 1,6 kg/s kütleli debiler için Re'ye bağlı sürtünme faktörü grafiği

### Basınç Kaybı Reynolds Sayısı Grafiği

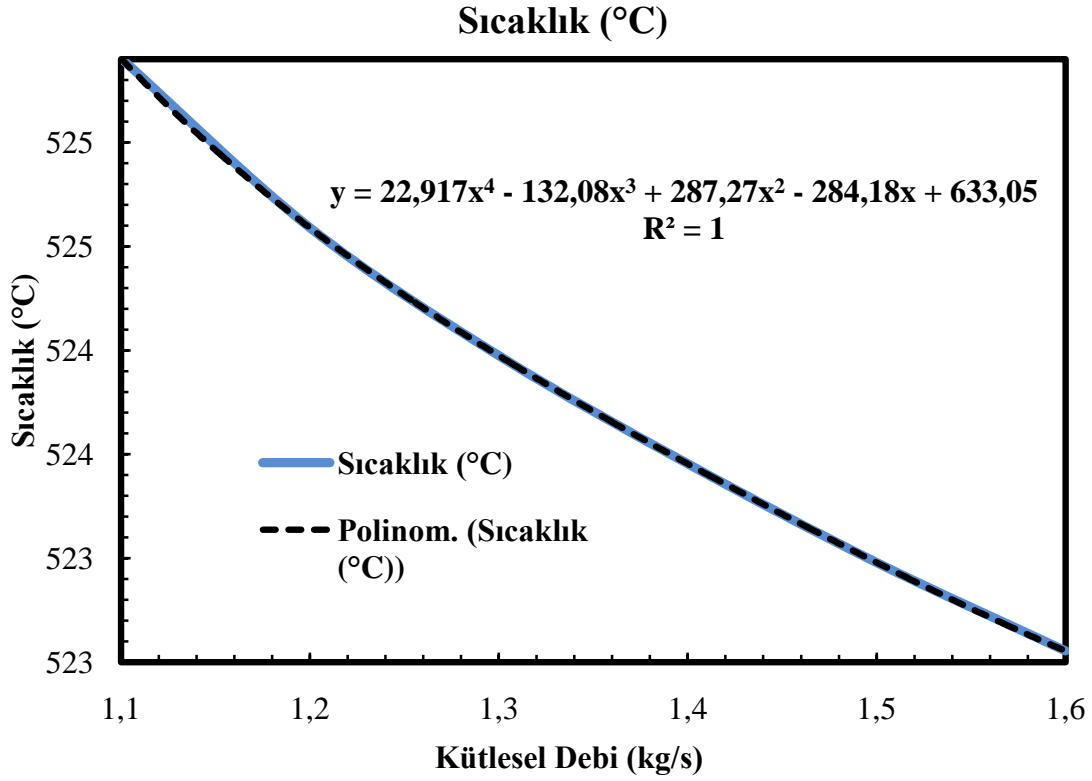


Şekil 6.11. 10 MPa basınç ve 500 °C sıcaklıkta 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5 ve 1,6 kg/s kütleli debiler için Re'ye bağlı basınç kaybı grafiği

## FARKLI KÜTLESEL DEBİLERDE SICAKLIK DAĞILIM GRAFIĞI



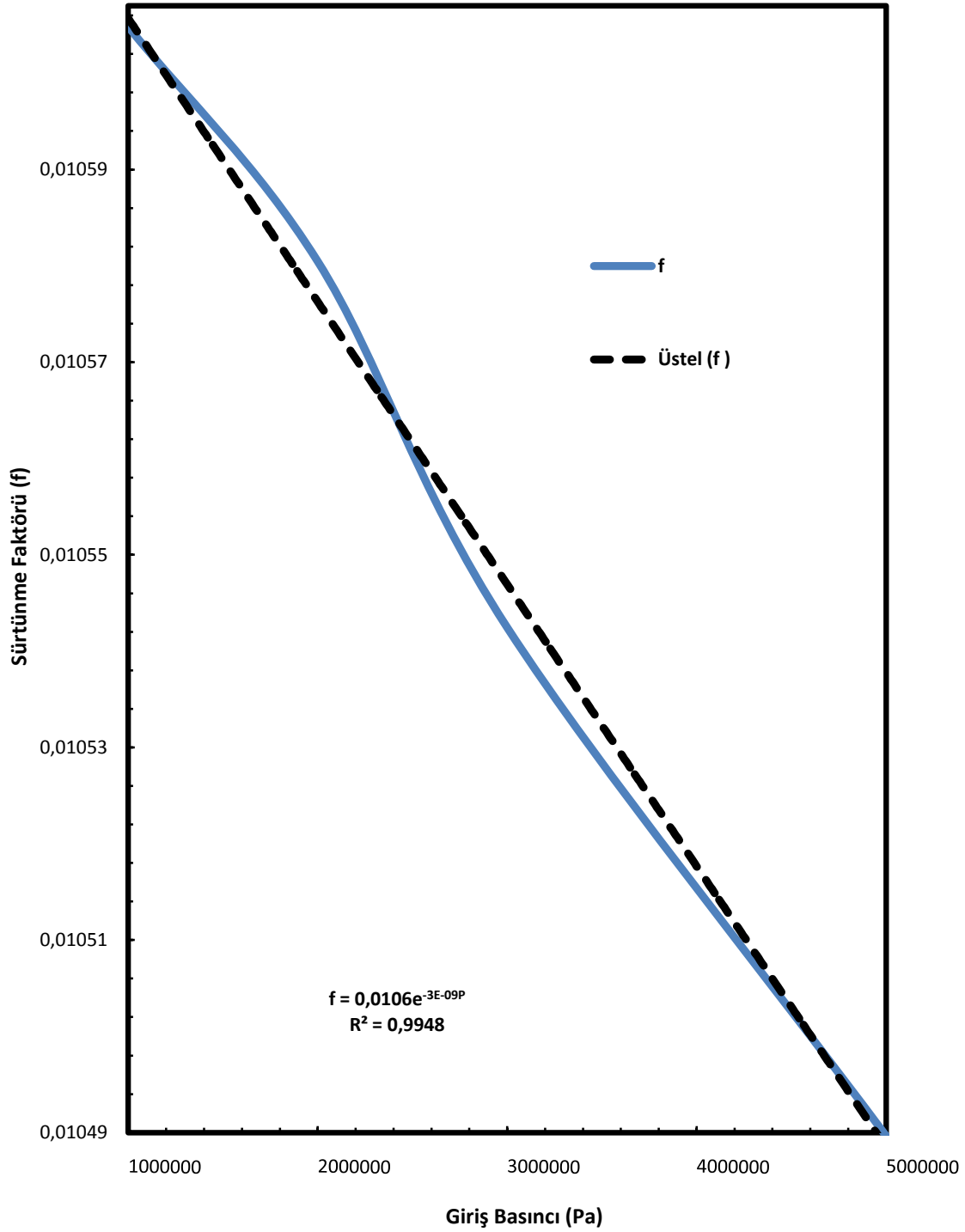
Şekil 6.12. 10 MPa basınç ve 500 °C sıcaklıkta 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5 ve 1,6 kg/s kütleli debiler için çıkış sıcaklığı dağılım grafiği



Şekil 6.13. E referans noktası için 10 MPa basınç ve 500 °C sıcaklıkta 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5 ve 1,6 kg/s kütleli debiler için çıkış sıcaklığı değişimi

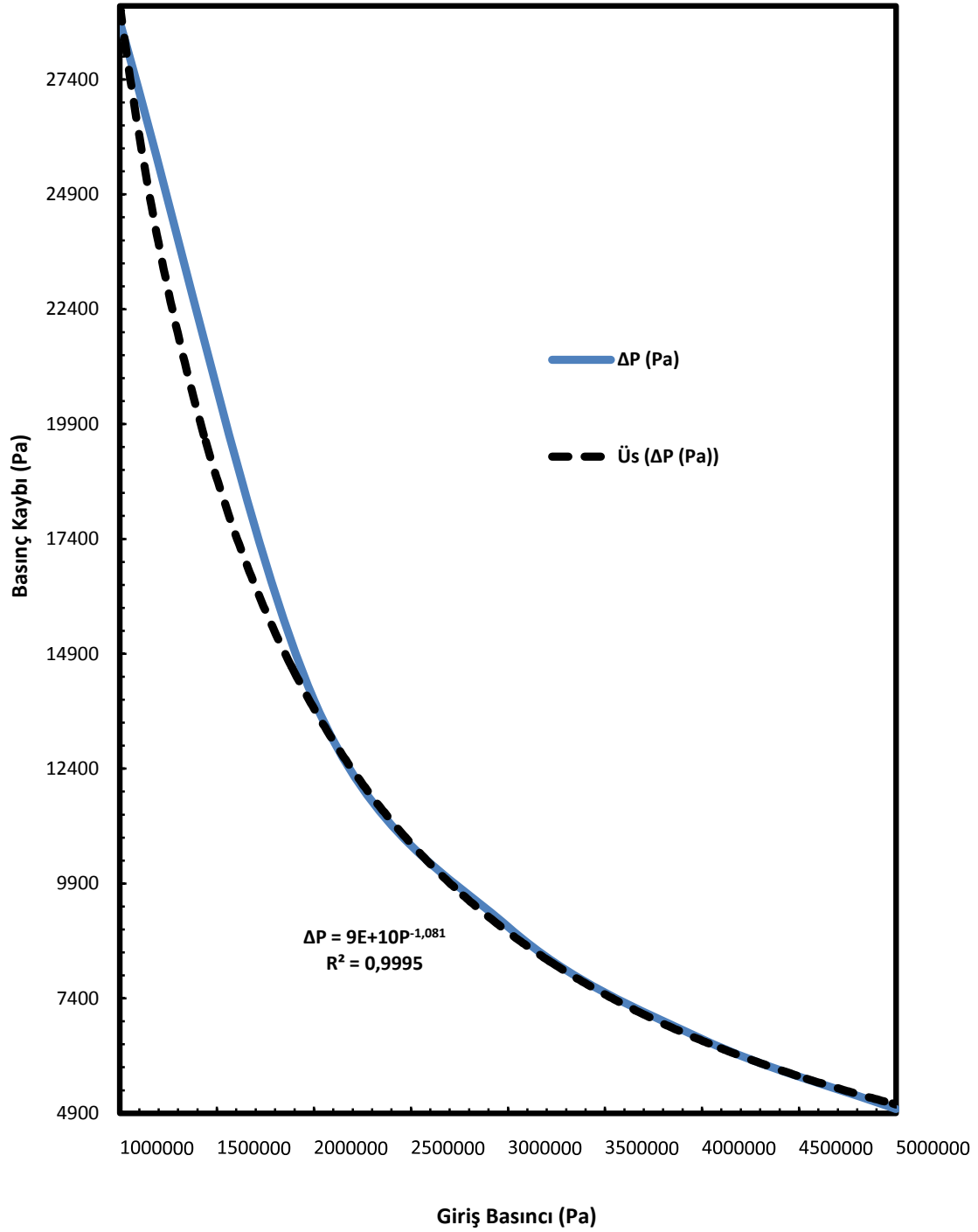
Şekil 6.10'da 10 MPa basınç ve 500 °C sıcaklıkta 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5 ve 1,6 kg/s kütleli debiler için  $Re$ 'ye bağlı sürtünme faktörü grafiği ve  $Re$ 'ye bağlı sürtünme faktörü korelasyonu verilmiştir.  $Re$  ile sürtünme faktörü arasındaki ilişki burada da rahatlıkla görülmektedir.  $Re$  arttıkça sürtünme faktörü azalmakta, basınç kaybı artmaktadır. Bu Şekil 6.10 ve Şekil 6.11'de bulunan grafiklerden rahatlıkla incelenebilmektedir. Şekil 6.12'de tüm referans noktaları için ve 6.13'de ise E referans noktası için 10 MPa basınç ve 500 °C sıcaklıkta 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5 ve 1,6 kg/s kütleli debiler için sıcaklık değişim grafiği verilmiştir. Söz konusu grafikte hızla doğru orantılı olan kütleli debinin artması sonucunda akışkanın sıcaklık değişimi azalmaktadır. Bu azalmanın E referans noktası için polinomu Şekil 6.13'te verilmiştir. Yani bu sonuçlar içerisinde en yüksek sıcaklık 1,1 kg/s kütleli debiye sahip akışkanda, en düşük sıcaklık da 1,6 kg/s kütleli debiye sahip akışkanda görülmektedir. Bu bölümde de yukarıdaki bölümde olduğu gibi 1,1 kg/s kütleli debiden daha düşük debilerdeki sonuçlar yeterli bulunmamıştır. Burada da bu modelin kullanılabileceği en küçük debi 1,1 kg/s olarak belirlenmiştir.

### Basınca Bağlı Sürtünme Faktörü Grafiği



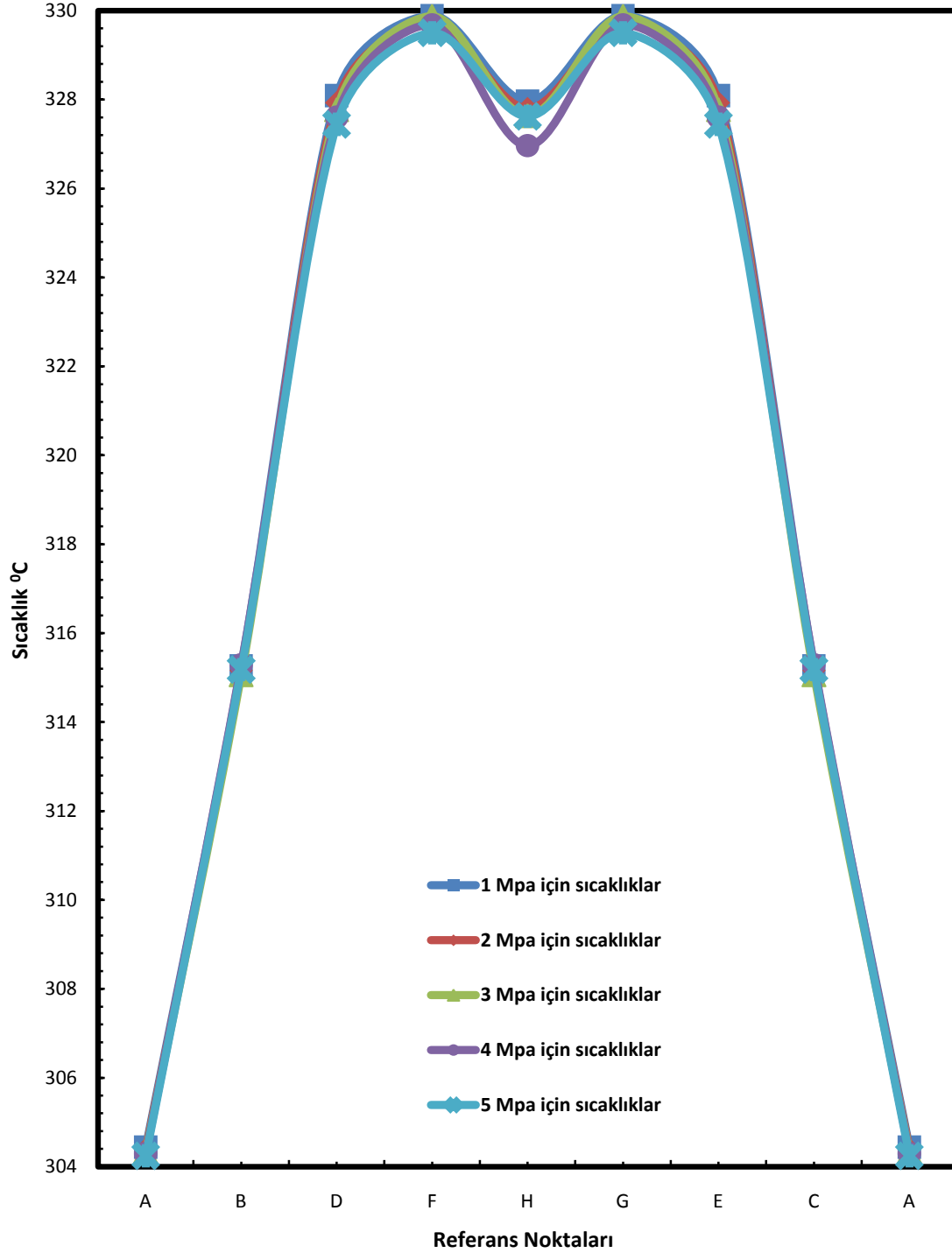
Şekil 6.14. 300 °C sıcaklık ve 1 kg/s kütleli debide 1; 2; 3; 4 ve 5 MPa basınçta giriş basıncına bağlı sürtünme faktörü grafiği ve korelasyonu

### Basınca Bağlı Basınç Kaybı Grafiği



Şekil 6.15. 300 °C sıcaklık ve 1 kg/s kütleli debide 1; 2; 3; 4 ve 5 MPa basınçlarda, giriş basıncına bağlı basınç kaybı grafiği ve korelasyonu

**300 °C Sıcaklık ve 1 kg/s Kütlesel Debi için 1; 2; 3; 4 ve 5 MPa Basıncıta Sıcaklık Dağılım Grafiği**



Şekil 6.16. 300 °C sıcaklık ve 1 kg/s kütlesel debide 1; 2; 3; 4 ve 5 MPa basınçta sıcaklık dağılım grafiği

Yapılan son analiz sonucunda sürtünme faktörü ile giriş basıncı arasındaki ters orantı şekil 6.14'de görülebilmektedir. Giriş basıncı arttıkça sürtünme faktörü

azalmaktadır. Bu çalışmada basınca bağlı olarak hız çok değişkenlik göstermektedir. Aynı sıcaklıkta basınç arttıkça yoğunluk artmaktadır. Kesit alanı ve kütleli debi sabit olduğundan yoğunluk arttığı zaman da hız azalmaktadır. Aynı kütleli debilerde ve sıcaklıklarda basınç azaldıkça yoğunluk azalacak, dolayısıyla da hız artacaktır. Hızın artması basınç kayıplarını da arttıracaktır. Yani basınç arttığı zaman hız azalacak ve buna bağlı olarak basınç kaybı azalacaktır. Bunu şekil 6.15'de görmek mümkündür. Ayrıca şekil 6.16'dan da basıncın değişkenlik göstermesinin sıcaklık dağılımına fazla etki etmediği görülmektedir. Basıncın değişkenlik göstermesiyle malzeme özelliklerinde de değişkenliklerin görülmesi, basınç değişiminin sıcaklık dağılımına etkisinin az olmasına neden olmaktadır. Bu giriş basıncı sıcaklık dağılımı grafiğinden ayrıca en fazla sıcaklık değişiminin 4 MPa basınçta olduğu görülmektedir.

Son olarak sürtünme faktörü - Re, basınç kaybı - Re korelasyonları aşağıda verilmiştir.

240,4 °C sıcaklık ve 3,21 MPa basınç için;

$$f = 0,0948 Re^{-0,156} \quad R^2 = 0,9939 \quad (5.10)$$

$$\Delta P = 3E^{-8} Re^{1,8388} \quad R^2 = 0,9999 \quad (5.11)$$

500 °C sıcaklık ve 10 MPa basınç için;

$$f = 8,8936 Re^{-0,48} \quad R^2 = 0,9988 \quad (5.12)$$

$$\Delta P = 2E^{-6} Re^{1,5697} \quad R^2 = 0,998 \quad (5.13)$$

300 °C sıcaklık ve 1 kg/s kütleli debide 1; 2; 3; 4 ve 5 MPa basınç için sürtünme faktörü - giriş basıncı ve basınç kaybı – giriş basıncı korelasyonları aşağıda verilmiştir.

$$f = 0,0106e^{-3E-09P} \quad R^2 = 0,9948 \quad (5.14)$$

$$\Delta P = 9E + 10P^{-1,081} \quad R^2 = 0,9995 \quad (5.15)$$

Yapılan çalışmalar sonucunda yukarıdaki korelasyonlar elde edilmiş ve literatüre kazandırılmıştır.

## 7. SONUÇ ve ÖNERİLER

Sayısal model hazırlanmadan önce ilk olarak PSES'den alınan veriler gözden geçirilmiştir. Eleme yapılarak en uygun sonuç seçilmiş sonra da deneysel verilere bağlı kalınarak sayısal model kurulmuştur. Kurulan modelin öncelikle sayısal ağdan bağımsızlığı ispatlanmış, daha sonra modelin çözümlenmesi sonucunda modelin yakınsaması ile ikinci adım tamamlanmıştır. Son adım olarak da sayısal modelin sıcaklık değerleri ile deneysel değerler karşılaştırılmış ve maksimum % 0,79 fark ile deneysel sonuçlara yaklaşılmıştır ve sonuçlar uyumlu çıkmıştır. Bu sayısal model, bir HAD yazılım programı olan ANSYS-FLUENT 13.0 sürümünde kurulmuştur. Sonuçların uyumlu çıkması bu yazılım programının güvenilirliğini göstermektedir.

Deneysel sonuçlarla uyumlu sonuç veren sayısal model üzerinden üç farklı çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan birincisi deneysel sıcaklık ve basınçlarla uyumlu olan 240,4 °C sıcaklık ve 3,21 MPa basınçta sırasıyla 0,499; 0,55; 0,6; 0,65; 0,7 ve 0,8 kg/s kütleli debilere sahip kızgın buharla yapılan çalışmadır. İkinci olarak 500 °C sıcaklık ve 10 MPa basınç gibi yüksek sıcaklık ve yüksek basınçta 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5 ve 1,6 kg/s kütleli debilerde kızgın buharla yapılan çalışmadır. Üçüncü ve son yapılan çalışmada da 300 °C sabit sıcaklık, 1 kg/s sabit kütleli debide, 1; 2; 3; 4 ve 5 MPa basınçlarda yapılan çalışmadır.

Çözümü yapıp grafikleri çizilen bu çalışmalarda kurulan modelin çalışılan 240,4 °C sıcaklık ve 3,21 MPa basınçta, 0,499 kg/s kütleli debinin altında olan debilerde, 500 °C sıcaklık ve 10 MPa basınçta da, 1,1 kg/s kütleli debinin altında kalan debilerde çözümlerin sonuçsuz kaldığı görülmüştür. Ayrıca yapılan bu çalışmalarda Re'nin basınç faktörü ile ters oranlı, basınç kayıpları ile de doğru orantılı olduğu görülmüştür. İlk iki çalışmada kütleli debinin azalmasıyla hızın azaldığı ve hızın azalmasıyla da sıcaklık değişimlerinin arttığı ispat edilmiştir. Akışkan yavaşladıkça giriş sıcaklıkları ile çıkış sıcaklıkları arasındaki fark da artmaktadır. Üçüncü çalışmada ise basıncın artması hız ve kinematik viskoziteyi düşürmüş bunun yanında yoğunluğu arttırmıştır. Yapılan hesaplamalarda ayrıca basıncın artmasının basınç faktörünü azalttığı tespit edilmiştir. Ayrıca sabit kütleli

debide, basıncın artması yoğunluğu arttırdığından hızın azalmasına neden olmaktadır. Hızın azalması da basınç kayıplarını azaltmıştır. Basıncın artması sıcaklık değişimlerini azaltmış fakat bu değişimlerin etkisi çok büyük oranda olmamıştır.

Günümüzde dünyada güneş enerjili direk buhar üretim santralleri üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan bu çalışma ile iç akış hakkında daha detaylı bilgi edinilmiş ve bu çalışmalara katkı sağlanmıştır. Sayısal model ile çalışılması maliyet olarak daha ucuz ve sonuç alınan süre bakımından daha kısadır. Sayısal modellerde, farklı akışkanlarla, çoklu fazlarla ve farklı sınır koşullarıyla çalışılarak daha ucuza ve daha kısa sürede bilgi edinilebilir.

Sonuç olarak bu çalışmada 240,4 °C sıcaklık 3,21 MPa basınç ve 500 °C sıcaklık 10 MPa basınç için farklı Re'de basınç faktörü ve basınç kaybı korelasyonları elde edilmiş ve literatüre kazandırılmıştır. Hazırlanan sayısal modelin maksimum sıcaklık farkı 2,10 °C ve %0,79 olarak hesaplanmıştır. Termokupların hassasiyetlerinin  $\pm 2$  °C olduğu göz önüne alındığında deneysel verilere çok uygun bir model kurulmuş olup bu modelde farklı çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmaların sonuçlarının da akışkanlar mekaniği ve termodinamik kanunlarına uygun olduğu gözlemlenmiştir.

Gelecek çalışmalarda farklı akışkanlar üzerinde, suyun kaynama noktasında çift fazda çalışmalar yapılabileceği gibi bu modelin Türkiye şartlarında deneysel modeli de kurulabilir. Bu kurulan model üzerinde çalışmalar yapılarak verimli ve kullanılabilir bir PGK elektrik santrali için gerekli hazırlıklar yapılarak bir altyapı kurulmuş olur. Ayrıca dünyada kurulmuş olan santrallerin aracı akışkan olarak termal yağdan direk buhar üretimli santrallere geçişi sağlanabilir.

## KAYNAKLAR

1. Roldan, M.I., Valenzuela, L. ve Zarza, E. (2013). Thermal analysis of solar receiver pipes with superheated steam. *Applied Energy*, 103, 73-84.
2. Valan Arasu, A. ve Sornakumar, T. (2006). Performance characteristics of parabolic trough solar collector system for hot water generation. *International Energy Journal*, 7(2), 137-145.
3. Alaydi, J.Y. (2013). Modeling of a parabolic solar-collector system for water desalination. *Global Journals Inc.*, 13(1), 30-39.
4. Brooks, M.J., Mills, I. ve Harms, T.M. (2006). Performance of a parabolic trough solar collector. *Journal of Energy in Southern Africa*, 17(3), 71-80.
5. Lobon, D.H., Baglietto, E., Valenzuela, L. ve Zarza, E. (2014). Modeling direct steam generation in solar collectors with multiphase CFD. *Applied Energy*, 113, 1338-1348.
6. Romero, A., Garcia, I., Arenas, M.A., Lopez, V. ve Vazquez, A. (2013). High melting point metals welding by concentrated solar energy. *Solar Energy*, 95, 131-143.
7. SethiE, V.K., Pandey, M. ve Shukla, P. (2012). Concentrating solar power, seawater desalination, parabolic troughs, Fresnel systems. *International Journal of Advanced Renewable Energy Research*, 1(3), 167-171.
8. Kuravi, S., Trahan, J., Goswami, D.Y., Rahman, M.M. ve Stefanakos, E.K. (2013). Thermal energy storage technologies and systems for concentrating solar power plants. *Progress in Energy and Combustion Science*, 39, 285-319.
9. Zemler, M.K., Bohl, G., Rios, O. ve Boetcher, S.K.S. (2013). Numerical study of wind forces on parabolic solar collectors. *Renewable Energy*, 60, 498-505.
10. Fend, T., Schwazbözl, P., Smirnova, O., Schöllgen, D. ve Jacop, C. (2013). Numerical investigation of flow and heat transfer in a volumetric solar receiver. *Renewable Energy*, 60, 655-661.
11. Manikandan, K.S., Kumerasan, G., Velraj, R. ve Iniyan, S. (2012). Parametric study of solar parabolic trough collector system. *Asian Journal of Applied Sciences*, 5(6), 384-393.
12. Odeh, S.D. ve Morrison, G.L. (2006). Optimization of parabolic trough solar collector system. *International Journal of Energy Research*, 30, 259-271.
13. Li, L., Kecskemethy, A., Arif, A.F.M. ve Dubowsky, S. (2011). Optimized bones: a new design concepts for concentrating solar parabolic mirrors. *Journal Solar Energy Engineering*, 133 (3).
14. Yassen, T.A. (2012). Experimental and theoretical study of a parabolic trough solar collector. *Anbar Journal for Engineering Sciences*, 5(1), 109-125.

15. Montes, M.J., Abanades, A. ve Martinez-Val, J.M. (2009). Performance of a direct steam generation solar thermal power plant for electricity production as a function of the solar multiple. *Solar Energy*, 83(5), 679-689.
16. Garcia-Valladares, O. ve Velazquez, N. (2009). Numerical simulation of parabolic trough collector: improvement using counter flow concentric circular heat exchangers. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52, 597-609.
17. Pilawjian, G. (2012). Analysis of photovoltaic concentrating solar energy systems. *ARNP Journal of Systems and Software*, 2(3), 110-112.
18. Munoz, J. ve Abanades, A. (2011). Analysis of internal helically finned tubes for parabolic trough design by CFD tools. *Applied Energy*, 88, 4139-4149.
19. Öztürk, H.K., Şanlı, G. ve Yılcı, A. (2009). Parabolik oluk tipi güneş kolektörlerin performans analizi. *Mühendis ve Makina*, 51(609), 19-28.
20. Eck, M., Steinmann, W.D. ve Rheinländer, J. (2004). Maximum temperature difference in horizontal and tilted absorber pipes with direct steam generation. *Energy*, 29, 665-676.
21. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi. (2009). Dünya'da ve Türkiye'de güneş enerjisi. 1-102.
22. İnternet: European Union. (2012). *Cipec.Url: [http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fre.jrc.ec.europa.eu%2Fpvgis%2Fcmis%2Fcmsaf\\_opt%2FPVGIS-EuropeSolarPotential.pdf&date=2015-12-30](http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fre.jrc.ec.europa.eu%2Fpvgis%2Fcmis%2Fcmsaf_opt%2FPVGIS-EuropeSolarPotential.pdf&date=2015-12-30)*, Son Erişim Tarihi: 30.12.2015.
23. İnternet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. *Cipec.Url: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.eie.gov.tr%2FMyCalculator%2FDefault.aspx&date=2015-12-30>*, Son Erişim Tarihi: 30.12.2015.
24. İnternet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. *Cipec.Url: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.eie.gov.tr%2Feie-web%2Fturkce%2FYEK%2Fgunes%2Ftgunes.html&date=2015-12-30>*, Son Erişim Tarihi: 30.12.2015.
25. İnternet: Güneş enerjili titreşimli robot. *Cipec.Url: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.projehocam.com%2Fgunes-enerjili-titresimli-robot%2F&date=2015-12-30>*, Son Erişim Tarihi: 30.12.2015.
26. İnternet: Fotovoltaik. *Cipec.Url: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.ozkanenerji.com%2Fsayfa%2F23%2Ffotovoltaik.html&date=2015-12-30>*, Son Erişim Tarihi: 30.12.2015.

27. İnternet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. Cipec.Url: [http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.eie.gov.tr%2Fyenilenebilir%2Fg\\_enj\\_tekno.aspx&date=2015-12-30](http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.eie.gov.tr%2Fyenilenebilir%2Fg_enj_tekno.aspx&date=2015-12-30), Son Erişim Tarihi: 30.12.2015.
28. İnternet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. Cipec.Url: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.eie.gov.tr%2Fenie-web%2Fturkce%2FYEK%2Fgunes%2Fyoğunlastiricilar.html&date=2015-12-30>, Son Erişim Tarihi: 30.12.2015.
29. İnternet: Gazi Üniversitesi, Stirling motorları. Cipec.Url: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fw3.gazi.edu.tr%2F%7Eyucesu%2Fdersler%2Fc1.htm&date=2015-12-30>, Son Erişim Tarihi: 30.12.2015.
30. İnternet: UNİENERJİ, Yenilenebilir Enerji Blogu. Cipec.Url: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.unienerji.com%2Farsivler%2F563&date=2015-12-30>, Son Erişim Tarihi: 30.12.2015.
31. İnternet: Archimede Solar Energy, Solar Receiver Tubes: The New Frontiers of molten salts. Cipec.Url: <http://www.webcitation.org/query?url=ftp%3A%2F%2Fangelantoni.it%2Fcompany%2520presentation%2FASE%2520-%2520Company%2520Presentation.PDF&date=2015-12-30>, Son Erişim Tarihi: 30.12.2015.
32. İnternet: Carbon Commentary. The World's first molten salt concentrating solar power plant. Cipec.Url: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.carboncommentary.com%2Fblog%2F2010%2F07%2F20%2Fthe-worlds-first-molten-salt-concentrating-solar-power-plant&date=2015-12-30>, Son Erişim Tarihi: 30.12.2015.
33. Mevlana Kalkınma Ajansı. (2012). Konya'da yenilenebilir enerji kaynakları malzeme üretilebilirlik araştırması. 34.
34. Soğancı, S., Erman, C. ve Hepkaya, E. (2012). Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) Kursu. *TMMOB Makine Mühendisleri Odası Ankara Şube Bilgisayarlı Eğitim Merkezi*.
35. White, F.M. (2004). Akışkanlar Mekaniği. (çev. K. Kırkköprü, E. Ayder) (Birinci Baskı) Türkiye: Literatür Yayınevi (Eserin orijinali 1979'da yayımlandı)
36. İnternet: Calculation of thermodynamic properties of water Cipec.Url: [http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.peacesoftware.de%2Ffeinigewerte%2Fwasser\\_dampf\\_e.html&date=2015-12-30](http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.peacesoftware.de%2Ffeinigewerte%2Fwasser_dampf_e.html&date=2015-12-30), Son Erişim Tarihi: 30.12.2015.



**EKLER**

EK-1. ECRES 2015 Antalya Konferans Makalesi Sunumu “NUMERICAL ANALYSES OF CONCENTRATED SOLAR RECEIVER PIPES WITH SUPERHEATED STEAM”



## NUMERICAL ANALYSES OF CONCENTRATED SOLAR RECEIVER PIPES WITH SUPERHEATED STEAM

Mustafa DEMİRÇİ<sup>1</sup>, Turgay POLAT<sup>1</sup>, Erol KURT<sup>2</sup> and H. Mehmet ŞAHİN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Gazi University, Technology Faculty, Department of Energy Systems Engineering

<sup>2</sup>Gazi University, Technology Faculty, Department of Electrics-Electronics Engineering

### Abstract

In this study, pressure drop and temperature distribution on flow in the absorber tubes of parabolic-trough solar collectors have been investigated numerically. The numerical model has been developed by ANSYS-FLUENT which is one of commercial software on the computational fluid dynamics (CFD). Different mesh structures and turbulence models have been performed to validate the experimental results. Results of numerical model were compared with experimental results for the verification of the developed model. Thus,  $k-\epsilon$  turbulence model has been selected for all numerical calculations because of better capturing experimental results. Thus, numerical results are in good agreement with the experimental results.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : DEMİRCİ, Mustafa  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 24.04.1988, Ankara  
Medeni hali : Evli  
Telefon : 0 (312) 507 21 55  
Faks : 0 (312) 507 21 96  
e-mail : mdemirci66@gmail.com



### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Enerji Sistemleri Mühendisliği	Devam Ediyor
Lisans	İstanbul Teknik Üniversitesi/ Makina Mühendisliği	2011
Lise	Özel Ahmet Ulusoy Fen Lisesi	2006

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2011-Halen	Ankara Büyükşehir Belediyesi	Makina Mühendisi

### Yabancı Dil

İngilizce

### Hobiler

Halı saha maçları, Kitap okuma, Bilgisayar oyunları, Sinema



*GAZİ GELECEKTİR..*