T.C

DİCLE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PARABOLİK OLUK TİPİ GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNİN SICAK SU ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİ

Abdulkadir ÖZCAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR

Mayıs- 2021

T.C. DİCLE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

DİYARBAKIR

Abdulkadir ÖZCAN tarafından yapılan "PARABOLİK OLUK TİPİ GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNİN SICAK SU ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİ" konulu bu çalışma, jürimiz tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyesinin

Ünvanı Adı Soyadı

Başkan : Prof. Dr. Vedat ORUÇ

Üye : Doç. Dr. Atilla G. DEVECİOĞLU

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Fatih BAYRAK

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 20/05/2021

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

.../...../.....

Prof. Dr. Neslihan DALKILIÇ

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında karşılaştığım problemleri çözüm konusunda yardımcı olan Sayın hocam Doç. Dr. Atilla G. DEVECİOĞLU'na sonsuz şükranlarımı sunar, katkılarından dolayı Prof. Dr. Vedat ORUÇ ve Dr. Öğr. Üyesi Fatih BAYRAK hocalarıma teşekkür ederim. Çalışmama, MÜHENDİSLİK. 18.006 numaralı projesi ile desteğinden dolayı Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Koordinatörlüğü'ne teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEŞEKKÜR I

İÇİNDEKİLER II

ÖZET V

ABSTRACT VI

ÇİZELGE LİSTESİ VII

ŞEKİL LİSTESİ VIII

KISALTMA VE SİMGELER XV

1. GİRİŞ 1

1.1. Güneş Enerjisi 2

1.2.1. Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli 2

1.2. Güneş Enerjisi Uygulamaları 5

1.2.1. Kullanım Sıcaklığına Göre Uygulama Çeşitleri 6

1.2.1.1. Düşük Sıcaklık Uygulamaları 6

1.2.1.2. Orta Sıcaklık Uygulamaları 7

1.2.1.3. Yüksek Sıcaklık Uygulamaları 7

1.3. Güneş Enerjisi Yoğunlaştırıcı Sistemler 8

1.3.1. Merkezi Alıcı Güneş Kuleleri 10

1.3.2. Parabolik Çanak Tipi Yoğunlaştırıcılar 12

1.3.3. Fresnel Mercekli Odaklayıcı Yoğunlaştırıcılar 14

1.3.4. Parabolik Oluklu Güneş Kollektörleri 14

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 19

3. MATERYAL VE METOT 29

3.1. Materyal 29

3.1.1. Parabolik Oluklu Güneş Kollektörü Tasarımı 30

3.1.2. Parabolik Oluklu Güneş Kollektörü Deney Düzeneği 35

3.1.2.1. Yansıtıcı Yüzey 37

3.1.2.2. Odak Borusu 38

3.1.2.3. Şeffaf Cam Tüp …… 41
3.1.3. Ölçüm Cihazları …… 42
3.1.3.1. Isıl Değerlerin Belirlenmesi …….. 42
3.1.3.2. Güneş Radyasyonunun, Zenit ve Azimut Açı Değerinin Belirlenmesi …… 45
3.1.3.3. Debinin Belirlenmesi …… 46
3.2. Metot ……. 47
3.2.1. Yoğunlaştırıcı Güneş Kolektörleri ile İlgili Kavramlar …… 47
3.2.1.1. Parabolün Denklemi …….. 48
3.2.1.2. Enerji Analizi …… 49
3.2.1.3. Açıklık Alanı (Aa) …… 50
3.2.1.4. Yarım Açı (θc) ……. 51
3.2.1.5. Alıcı Alanı (Ar) ……. 51
3.2.1.6. Yoğunlaştırma Oranı (C) …….. 52
3.2.1.7. Optik verim (ηo) …….. 52
3.2.1.8. Anlık Isıl verim …… 53
3.2.1.9 Kütlesel Debi …… 53
3.2.1.10. Ekserji Analizi …….. 53
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ……. 55
4.1. Yoğunlaştırma Oranı (C) ……..…… 55
4.2. Yapılan Deneyler ve Bulgular …….. 55
4.2.1. Bakır Odak Borusu Kullanılarak Yapılan Deneyler ……. 59
4.2.2. Alüminyum Odak Borusu Kullanılarak Yapılan Deneyler ……... 64
4.2.3. Alüminyum ve Bakır Odak Borusu Kullanılarak Yapılan Deneylerde Suya Aktarılan Isı …….. 68
4.3. Odak Borusunda Sapma Hesabı …… 70
4.4. Simülasyon …… 75
4.4.1. Geometri …….. 76
4.4.2. Sonlu Elemanlara Bölme İşlemi …….. 80
4.4.3. Sınır Şartlarının Belirlenmesi ……... 82
4.4.4. Çözüm ……... 85

4.4.5. Sonuç ……. 86
4.4.5.1. Bakır Boru 0.0017 kg/s Debi Sonucu ……..…… 87
4.4.5.2. Bakır Boru 0.0033 kg/s Debi Sonucu ……..…… 92
4.4.5.3. Bakır Boru 0.0050 kg/s Debi Sonucu……..…… 97
4.4.5.4. Bakır Boru 0.0067 kg/s Debi Sonucu ……..…… 102
4.4.5.5. Bakır Boru 0.0083 kg/s Debi Sonucu ……..…… 107
4.4.5.6. Alüminyum Boru 0.0017 kg/s Debi Sonucu …...……..…… 112
4.4.5.7. Alüminyum Boru 0.0033 kg/s Debi Sonucu …...……..…… 117
4.4.5.8. Alüminyum Boru 0.0050 kg/s Debi Sonucu…...……..…… 122
4.4.5.9. Alüminyum Boru 0.0067 kg/s Debi Sonucu …...……..…… 127
4.4.5.10. Alüminyum Boru 0.0083 kg/s Debi Sonucu …...……..…… 132
4.4.5.11. Bakır ve Alüminyum Borunun Çıkış Sıcaklıklarının Karşılaştırılması …… 137
5. TARTIŞMA VE SONUÇ …...……... 145
6. KAYNAKÇA …...……... 153
ÖZGEÇMİŞ …...……..... 157

ÖZET

PARABOLİK OLUK TİPİ GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNİN SICAK SU ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdulkadir ÖZCAN

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2021

Bu çalışmada yeni bir parabolik oluklu güneş kollektörü tasarlanmış ve sıcak su üretiminde kullanılmak üzere performansı araştırılmıştır. 1 m^2'lik açıklık alanına sahip yüksek yansıtma özellikli alüminyum yansıtıcı kullanılmıştır. Odak borusu olarak alüminyum ve bakır olmak üzere iki farklı alıcı boru kullanılmıştır. Her iki odak borusu malzemesi, 0.0017, 0.0033, 0.0050, 0.0067 ve 0.0083 kg/s olmak üzere beş farklı debi için denenmiştir. Her iki deney setinde en yüksek verim 0.0083 kg/s, en yüksek sıcaklık ise 0.0017 kg/s debide ve bakır odak borusu kullanıldığında elde edilmiştir. Giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki en yüksek sıcaklık farkı 73.1 °C olarak hesaplanmıştır. Bakır odak borusu için en yüksek verim % 74.5, alüminyum için % 72.7 olarak bulunmuştur. Sistemin ekserji verimleri hesaplanmıştır. En yüksek ekserji verimi 0.0017 kg/s debi için alüminyum odak borusu için % 14.7, bakır odak borusu için % 15.6 bulunmuştur. ANSYS programı CFD modülü ile sistemin modeli oluşturulmuş, sistemdeki çıkış sıcaklıkları, akışkan hızları, ısıl dağılımları, basınç dağılımları ve sıcaklık dağılımları modellenmiştir. Program kullanılarak yapılan simülasyonda, su çıkış sıcaklıklarının deneysel sonuçlardan bakır borulu set için % 5.4, alüminyum borulu set için % 6 farklı olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Güneş Enerjisi, Parabolik Oluklu Güneş Kollektörü, Yoğunlaştırıcı Sistemler, CFD analizi, Ekserji

ABSTRACT

USABILITY OF PARABOLIC TROUGH TYPE SOLAR ENERGY SYSTEMS FOR OBTAINING HOT WATER

MSc THESIS

Abdulkadir ÖZCAN

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DICLE UNIVERSITY

2021

In this study, a new parabolic trough solar collector is designed and its performance in obtaining hot water. Aluminium reflector with 1 m^2 aperture area having high reflection property is used. As focus pipe, two different types of receiver pipe made of aluminium and copper are used. Each focus pipe material is tested for five different mass flow rates being 0.0017, 0.0033, 0.0050, 0.0067 and 0.0083 kg/s. In both two test setups, the highest efficiency is seen in 0.0083 kg/s and the highest temperature is obtained in 0.0017 kg/s mass flow rate with copper focus pipe. The highest temperature difference between input and output temperature values is measured to be 73.1 °C. The highest efficiency value for copper focus pipe is found as 74.5%, and for aluminium focus pipe, this value is seen to be 72.7%. Exergy efficiencies of the system are calculated. The highest energy efficiency for 0.0017 kg/s mass flow rate is found as 14.7% for aluminium focus pipe and 15.6% for copper focus pipe. System was modeled with CFD module of ANSYS program, output temperatures of water in the system, fluid velocities, heat distributions, pressure distributions and temperature distributions are modeled. In the simulation made using the program, it was determined that the water outlet temperatures were 5.4% different for the copper tube set and 6% for the aluminium tube set from the experimental results.

Keywords: Solar Energy, Parabolic Trough Solar Collector, CPC, Concentrator Systym, CFD analysis, Exergy

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge No		Sayfa
Çizelge 3.1.	Parabol Denklemi ile elde edilen koordinatlar	30
Çizelge 3.2.	Yansıtıcı yüzey malzeme özellikleri	37
Çizelge 3.3.	Dijital Termometre Teknik Özellikler	43
Çizelge 3.4.	Kızılötesi termometre	44
Çizelge 3.5.	Piranometre teknik özellikleri	46
Çizelge 3.6.	Parabolik oluklu güneş kolektörü ile ilgili hesaplamalarda kullanılan değerler	50
Çizelge 4.1.	Deney tipleri	56
Çizelge 4.2.	Deney setinin normali yakalamak için yatayla yaptığı açı	57
Çizelge 4.3.	Bakır odak borulu deney seti deneyleri debinin verime etkisi	62
Çizelge 4.4.	Alüminyum odak borulu deney seti deneyleri debinin verime etkisi	66
Çizelge 4.5.	Günün saatlerine göre odak sapma miktarı	71
Çizelge 4.6.	Simülasyonda kullanılan en yüksek verime sahip deney verileri	84
Çizelge 4.7.	Bakır ve alüminyum boru deney ve simülasyon çıkış sıcaklıkları	139
Çizelge 5.1.	En yüksek verime sahip deney verileri	150

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No		Sayfa
Şekil 1.1.	Türkiye'de günlük güneşlenme süresi	3
Şekil 1.2.	Türkiye'de global güneş radyasyon dağılımı	4
Şekil 1.3.	Türkiye'de aylık ortalama güneşlenme süresi	5
Şekil 1.4.	Düzlemsel kollektörün yapısı	6
Şekil 1.5.	Yoğunlaştırıcı kollektör konfigürasyonları	9
Şekil 1.6.	Güneş yoğunlaştırma sistemleri	10
Şekil 1.7.	Merkezi alıcı güneş kulesi	11
Şekil 1.8.	Heliostat	12
Şekil 1.9.	Parabolik çanak	13
Şekil 1.10.	Fresnel mercekli odaklayıcı yoğunlaştırıcılar	14
Şekil 1.11.	Parabolik oluklu güneş kolektörü	15
Şekil 1.12.	Parabolik oluklu güneş kollektör reflektörü için bir ışın izi diyagramı	15
Şekil 1.13.	Parabolik oluk güneş kollektörü şematik gösterimi	16
Şekil 1.14	Parabolik oluklu kollektör şematik gösterimi	17
Şekil 3.1.	Parabolik oluklu güneş kollektörü deney seti düzeneği	29
Şekil 3.2.	Deney sistemindeki parabolün ölçüleri	31
Şekil 3.3.	Parabolün gelen ışınları odak noktasında toplaması senaryosu	31
Şekil 3.4.	Parabol formundaki yansıtıcı yüzey boyut bilgileri	32
Şekil 3.5.	Parabolik oluk şase parçaları	33
Şekil 3.6.	Parabolik oluk montajlı şasesi	34
Şekil 3.7.	Yansıtıcı yüzeyin parabolik oluk yay geometrisini yakalaması	35
Şekil 3.8.	Çalışmada kullanılan parabolik oluk kolektör ölçüleri	36
Şekil 3.9.	Dijital proplu termometre ile giriş ve çıkış sıcaklıklarının ölçümü	36
Şekil 3.10.	Deney seti düzeneği ve ölçüm cihazları	37

Şekil 3.11.	Alüminyum yansıtıcı yüzeyin odaklayarak yansıtıcılığı	38
Şekil 3.12.	Odaklanma çapı ile ilgili geometrik açılar	39
Şekil 3.13.	Bakır ve alüminyum malzeme odak borusu	40
Şekil 3.14	Odak borusu kot farkı	41
Şekil 3.15.	Şeffaf borosilikat cam tüp	42
Şekil 3.16.	Dijital Termometre ve Termokupllar	43
Şekil 3.17.	Kızılötesi termometre	44
Şekil 3.18.	Piranometre	45
Şekil 3.19.	Debi ölçer	6
Şekil 3.20.	Parabolik oluk geometrisi	48
Şekil 3.21.	POGK'nün parabol açıklığı şematik gösterimi	50
Şekil 3.22.	Doğrusal bir yoğunlaştırıcı için görüntü boyutları	51
Şekil 3.23.	Güneş ışınlarının yoğunlaşmasının şematik gösterimi	52
Şekil 4.1.	BB-01 0.0083 kg/s debide sisteme suyun giriş ve çıkış sıcaklıkları	57
Şekil 4.2.	Yatay açının zamanla değişimi	58
Şekil 4.3.	Bakır odak borusunun güneş ışınım değerlerinin zamanla değişimi	58
Şekil 4.4.	Alüminyum odak borusunun güneş ışınım değerlerinin zamanla değişimi	59
Şekil 4.5.	Bakır boru ile kurulan deney seti	60
Şekil 4.6.	BB suya aktarılan ısı-zaman grafiği	61
Şekil 4.7.	Bakır odak borulu deney düzeneği ile yapılan deneylerin verim-zaman grafiği	61
Şekil 4.8.	Bakır boru ekserji verimi – zaman grafiği	63
Şekil 4.9.	Alüminyum odak borusu ile kurulan deney seti	64
Şekil 4.10.	AB suya aktarılan ısı-zaman grafiği	65
Şekil 4.11.	Alüminyum odak borulu deney düzeneği ile yapılan deneyler verim-zaman grafiği	65
Şekil 4.12.	Alüminyum boru ekserji verimi – zaman grafiği	67

Şekil 4.13.	Bakır - Alüminyum suya aktarılan ısı miktarları	68
Şekil 4.14	AB-05 ve BB-05 deneylerinde güneş ışınımı ve sıcaklık farkının verime etkisi	69
Şekil 4.15.	Güneş ışınlarının sapması	70
Şekil 4.16.	Gün içerisinde sapan ışın-zaman grafiği	72
Şekil 4.17.	Eşanjöre gömülen kompozit malzemenin görüntüsü	72
Şekil 4.18.	Saat 16:30'da meydana gelen maksimum sapma miktarı	73
Şekil 4.19.	Güneş ışınlarının sapması	74
Şekil 4.20.	BB-05 deneyi sapmadan kaynaklanan enerji kayıpları	74
Şekil 4.21.	Fluid Flow CFD (Fluent) proje çözüm aşamaları	76
Şekil 4.22.	Design Modeler yazılımının kullanılması	77
Şekil 4.23.	Design Modeler yazılımı çizim unsur ağacı	77
Şekil 4.24.	Design Modeler yazılımında çizilmiş üç boyutlu parça	78
Şekil 4.25	Odak borusu güneş ışınlarının yansıma senaryosu	79
Şekil 4.26.	Bakır boruya güneş ışınlarının odaklandığı bölge	79
Şekil 4.27.	Materyal sınır bölgelerinin belirlenmesi	80
Şekil 4.28.	Sonlu küçük elemanlara bölünmüş (Mesh) simülasyon bölgesi	80
Şekil 4.29.	Giriş sınırında boru, akışkan ve ısı transfer bölgesinin eleman bölümü	81
Şekil 4.30.	Boru dış duvarının eleman bölümü izometrik gösterimi	81
Şekil 4.31.	Boru dış duvarının eleman bölümü gösterimi	82
Şekil 4.32.	Odak borusuna uygulanan sınır şartlarının belirlenmesi	82
Şekil 4.33.	Odak borusuna uygulanan enerji sınır şartlarının belirlenmesi	83
Şekil 4.34.	Çözümleme ve iterasyon aşaması	85
Şekil 4.35.	Çözümleme ve iterasyon grafiği	86
Şekil 4.36	0.0017 kg/s debi için odak borusu ısıl dağılımı	87
Şekil 4.37.	0.0017 kg/s debide akışkan sıcaklık dağılımı	88
Şekil 4.38.	0.0017 kg/s debide akışkan giriş sıcaklığı dağılımı	88

Şekil 4.39.	0.0017 kg/s debide akışkan çıkış sıcaklığı dağılımı	89
Şekil 4.40.	0.0017 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin sıcaklığı dağılımı	90
Şekil 4.41.	0.0017 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin hız dağılımı	91
Şekil 4.42.	0.0017 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin basınç dağılımı	91
Şekil 4.43.	0.0033 kg/s debi için odak borusu ısıl dağılımı	92
Şekil 4.44.	0.0033 kg/s debide akışkan sıcaklık dağılımı	93
Şekil 4.45.	0.0033 kg/s debide akışkan giriş sıcaklığı dağılımı	93
Şekil 4.46.	0.0033 kg/s debide akışkan çıkış sıcaklığı dağılımı	94
Şekil 4.47	0.0033 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin sıcaklığı dağılımı	95
Şekil 4.48.	0.0033 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin hız dağılımı	96
Şekil 4.49.	0.0033 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin basınç dağılımı	96
Şekil 4.50.	0.0050 kg/s debi için odak borusu ısıl dağılımı	97
Şekil 4.51.	0.0050 kg/s debide akışkan sıcaklık dağılımı	98
Şekil 4.52.	0.0050 kg/s debide akışkan giriş sıcaklığı dağılımı	98
Şekil 4.53.	0.0050 kg/s debide akışkan çıkış sıcaklığı dağılımı	99
Şekil 4.54.	0.0050 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin sıcaklığı dağılımı	100
Şekil 4.55.	0.0050 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin hız dağılımı	101
Şekil 4.56.	0.0050 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin basınç dağılımı	101
Şekil 4.57.	0.0067 kg/s debi için odak borusu ısıl dağılımı	102
Şekil 4.58.	0.0067 kg/s debide akışkan sıcaklık dağılımı	103
Şekil 4.59.	0.0067 kg/s debide akışkan giriş sıcaklığı dağılımı	103
Şekil 4.60.	0.0067 kg/s debide akışkan çıkış sıcaklığı dağılımı	104

Şekil 4.61.	0.0067 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin sıcaklığı dağılımı	105
Şekil 4.62.	0.0067 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin hız dağılımı	106
Şekil 4.63.	0.0067 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin basınç dağılımı	106
Şekil 4.64	0.0083 kg/s debi için odak borusu ısıl dağılımı	107
Şekil 4.65.	0.0083 kg/s debide akışkan sıcaklık dağılımı	108
Şekil 4.66.	0.0083 kg/s debide akışkan giriş sıcaklığı dağılımı	108
Şekil 4.67.	0.0083 kg/s debide akışkan çıkış sıcaklığı dağılımı	109
Şekil 4.68.	0.0083 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin sıcaklığı dağılımı	110
Şekil 4.69.	0.0083 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin hız dağılımı	111
Şekil 4.70.	0.0083 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin basınç dağılımı	111
Şekil 4.71.	0.0017 kg/s debi için odak borusu ısıl dağılımı	112
Şekil 4.72.	0.0017 kg/s debide akışkan sıcaklık dağılımı	113
Şekil 4.73.	0.0017 kg/s debide akışkan giriş sıcaklığı dağılımı	113
Şekil 4.74	0.0017 kg/s debide akışkan çıkış sıcaklığı dağılımı	114
Şekil 4.75.	0.0017 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin sıcaklığı dağılımı	115
Şekil 4.76.	0.0017 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin hız dağılımı	116
Şekil 4.77.	0.0017 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin basınç dağılımı	116
Şekil 4.78.	0.0033 kg/s debi için odak borusu ısıl dağılımı	117
Şekil 4.79.	0.0033 kg/s debide akışkan sıcaklık dağılımı	118
Şekil 4.80.	0.0033 kg/s debide akışkan giriş sıcaklığı dağılımı	118
Şekil 4.81.	0.0033 kg/s debide akışkan çıkış sıcaklığı dağılımı	119
Şekil 4.82.	0.0033 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin sıcaklığı dağılımı	120

Şekil 4.83.	0.0033 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin hız dağılımı	121
Şekil 4.84	0.0033 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin basınç dağılımı	121
Şekil 4.85.	0.0050 kg/s debi için odak borusu ısıl dağılımı	122
Şekil 4.86.	0.0050 kg/s debide akışkan sıcaklık dağılımı	123
Şekil 4.87.	0.0050 kg/s debide akışkan giriş sıcaklığı dağılımı	124
Şekil 4.88.	0.0050 kg/s debide akışkan çıkış sıcaklığı dağılımı	125
Şekil 4.89.	0.0050 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin sıcaklığı dağılımı	126
Şekil 4.90.	0.0050 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin hız dağılımı	126
Şekil 4.91.	0.0050 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin basınç dağılımı	127
Şekil 4.92.	0.0067 kg/s debi için odak borusu ısıl dağılımı	127
Şekil 4.93.	0.0067 kg/s debide akışkan sıcaklık dağılımı	128
Şekil 4.94.	0.0067 kg/s debide akışkan giriş sıcaklığı dağılımı	128
Şekil 4.95.	0.0067 kg/s debide akışkan çıkış sıcaklığı dağılımı	129
Şekil 4.96.	0.0067 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin sıcaklığı dağılımı	130
Şekil 4.97.	0.0067 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin hız dağılımı	131
Şekil 4.98.	0.0067 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin basınç dağılımı	131
Şekil 4.99.	0.0083 kg/s debi için odak borusu ısıl dağılımı	132
Şekil 4.100.	0.0083 kg/s debide akışkan sıcaklık dağılımı	133
Şekil 4.101.	0.0083 kg/s debide akışkan giriş sıcaklığı dağılımı	133
Şekil 4.102.	0.0083 kg/s debide akışkan çıkış sıcaklığı dağılımı	134
Şekil 4.103.	0.0083 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin sıcaklığı dağılımı	135
Şekil 4.104.	0.0083 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin hız dağılımı	136

Şekil 4.105.	0.0083 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin basınç dağılımı	136
Şekil 4.106.	Artan debiye göre (a) Bakır boru (b) Alüminyum boru için çıkış sıcaklık dağılımları	138
Şekil 4.107.	Bakır boru deney ve simülasyon çıkış sıcaklıkları	140
Şekil 4.108.	Alüminyum boru deney ve simülasyon çıkış sıcaklıkları	140
Şekil 4.109.	Artan debiye göre (a) Bakır boru (b) Alüminyum boru için merkez çizgisi boyuna kesit sıcaklık dağılımları	142
Şekil 5.1.	Alüminyum ve bakır boru malzemeleri ile suya ısı aktarımının karşılaştırılması	145
Şekil 5.2.	AB-05 ve BB-05 verim karşılaştırılması	146
Şekil 5.3.	Işın sapma miktarı	147
Şekil 5.4.	Bakır boru deney ve simülasyon çıkış sıcaklıkları hata okuma	148
Şekil 5.5.	Alüminyum malzeme boru deney ve simülasyon çıkış sıcaklıkları hata okuma	149

KISALTMA VE SİMGELER

EİE : Elektrik İşleri Etüt İdaresi

MGM : Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü

POGK : Parabolik Oluklu Doğrusal Odaklamalı Güneş Kollektörü

BB : Bakır Boru

AB : Alüminyum Boru

D : Çap (m)

T : Sıcaklık (°C)

T_g : Kollektör giriş sıcaklığı (°C)

$T_ç$: Kollektör çıkış sıcaklığı (°C)

η : Kollektör verimi

$\dot{m}$: Kollektörden geçen havanın kütlesel debisi (kg/s)

C_p : Akışkanın sabit basınçta özgül ısısı (kJ/kg·K)

I_g : Kollektör yüzeyine gelen ışınım miktarı (W/m^2)

ΔT_k : Kollektörden çıkan ve kollektöre giren akışkanın sıcaklık farkı (°C)

ρ : Suyun yoğunluğu (kg/m^3), yansıtıcı yüzeyin yansıtıcılığı

$\dot{v}$: Suyun hacimsel debisi (m^3/s)

V : Su akış hızı (m/s)

A_k : Odak borusunun kesit alanı (m^2)

τ : Cam örtü geçirgenliği

α : Alıcının absorbesi

γ : Kesme faktörü

A_f : Geometrik faktör

θ : Geliş açısı (°)

y : Parabol açıklığı (mm)

x : Parabol yüksekliği (mm)

f : Parabolün odak noktası (mm)

r_r : Parabolik yüzey yarıçapı (m)

θ_c : Yarım açı (0.27°)

φ_r : AFB açısı (°)

a : Parabol açıklığı (m)

$\dot{Q}_u$: Faydalı ısı (W)

F_R : Isı giderme faktörü

I : Güneş ışınımı yoğunluğu (W/m^2)

K : Geliş açısı değiştirici faktörü

A_a : Parabolik yansıtıcı yüzeyinin açıklık alanı (m^2)

A_r : Alıcı alanı (m^2)

T_i : Giriş sıcaklığı (°C)

T_a : Çevre sıcaklığı (°C)

U_L : Güneş kollektörü için toplam ısı kaybı katsayısı (W/ m^2·K)

F' : Kollektör verimlilik faktörü

h_{fi} : Alıcı tüpün ısı taşınım katsayısı (W/m^2·K)

D_o : Alıcı boru dış çapı (m^2)

D_i : Alıcı boru iç çapı (m^2)

Nu : Nusselt sayısı

k_{fi} : Alıcı tüpün iç ısıl iletkenliği (W/m·K)

h : Entalpi (J/kg)

$h_{c,g-a}$: Cam örtünün ortama olan taşınım ısı transfer katsayısı (W/m^2·K)

$h_{r,g-a}$: Cam örtünün ortama ışınımla ısı taşınım katsayısı (W/m^2·K)

$h_{r,r-g}$: Alıcı için cam kapağa ışınımla ısı traşınım katsayısı (W/m^2·K)

A_g : Brüt toplayıcı alanı (m^2)

C : Yoğunlaştırma oranı

η_o : Optik verim

$\dot{E}x$: Ekserji

T_o : Ölü hal sıcaklığı (K)

T_s : Güneş yüzey sıcaklığı (K)

s : Entropi (J/kg·K)

Δh : Entalpi değişimi (J/kg)

Δs : Entropi değişimi (J/kg·K)

η_{EX} : Ekserji verimliliği

Alt indisler:

g : Giriş

ç : Çıkış

o : Ölü hal

c : Konveksiyon

r : Işınım

g-a : Cam-alıcı

r-g : Alıcı-cam

1. GİRİŞ

Günümüzde insanlığın ve bilgi toplumunun genel olarak ihtiyaç duyduğu enerjinin önemi giderek artmaktadır. Enerji, gelişimine devam eden insan toplumunun temel girdisi olup, üretim ve tüketimi, kalkınma ve gelişmişlik düzeylerini belirlemede kullanılan en önemli faktörlerdendir.

Sürekli artan enerji ihtiyacını karşılamada geleneksel kaynakların yetersiz kalması neticesinde alternatif enerji kaynaklarını bulma ve geliştirme çalışmaları hız kazanmıştır. Enerji elde etme çalışmalarının klasik yöntemlerle yapılması, özellikle fosil yakıt kaynaklı enerji üretim ve tüketimi, birtakım olumsuzlukları da beraberinde getirmektedir. Dünyadaki yaşanabilir ortamın korunması, enerji üretim ve tüketiminden kaynaklanan çevre tahribatının azaltılması gibi konular tüm insanlığa sorumluluk yüklemektedir. Bu sorumluluğun gereği olarak ülkemiz ve ülkeler bazında hukuki düzenlemelerin yapılması, enerji üretimi teknolojilerinde ve kaynak seçiminde çevresel etkilerin dikkate alınması enerji kullanımında verimliliğe azami özenin gösterilmesi gibi hususlar giderek önem kazanmaktadır. Bu nedenle, küresel ölçekte çevre kirliliğine ve iklim değişikliğine sebep olan geleneksel enerji kaynaklı enerji üretim sistemleri ve geleneksel üretim teknolojileri yerine, çevreye olumsuz etkileri çok düşük olan, yenilenebilir enerji kaynaklarını bulmak ve yeni teknolojiler geliştirmek zorunlu hale gelmiştir.

Hem fosil kaynakların sınırlı ve yenilenemeyecek bir enerji kaynağı olması, hem de üretim ve tüketim yöntemlerinden kaynaklanan çevre kirliliği, yenilenebilir ve sınırsız enerji kaynak ve teknolojilerin araştırılması ve geliştirilmesini zorunlu hale getirmiştir. Bu nedenle, yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yere sahip olan güneş enerjisi ve diğer yenilenebilir enerji kaynakları büyük önem kazanmıştır.

Güneş enerjisi; potansiyeli, kullanım kolaylığı, temizliği ve sürdürülebilirliği gibi nedenlerden dolayı diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına kıyasla daha kolay yaygınlaşabilecek durumdadır (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi 2009). Yenilenebilir enerji kaynakları içinde en çok kullanım alanına sahip enerji kaynağı, güneş enerjisidir. Güneş dünyanın en büyük enerji kaynağıdır (Bakır 2014).

Yapılan tez çalışmasında amaç yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisinden faydalanmaktır. Tezin hedefi, güneş enerjisi orta sıcaklık uygulamalarında kullanılan, yoğunlaştırıcı güneş enerji sistemlerinden biri olan parabolik oluklu güneş

kollektörlerini incelemek, tasarımını yapmak, kollektör üretiminde kullanılan malzemelerin özelliklerini araştırmak ve temin etmek, deney düzeneği kurmak, tasarımı yapılan kollektörün performansını incelemek, deney sonuçları kullanılarak ekserji analizi yapmak, deney düzeneğinin modelini oluşturmak, model üzerinde simülasyon ve CFD analizi yapmaktır.

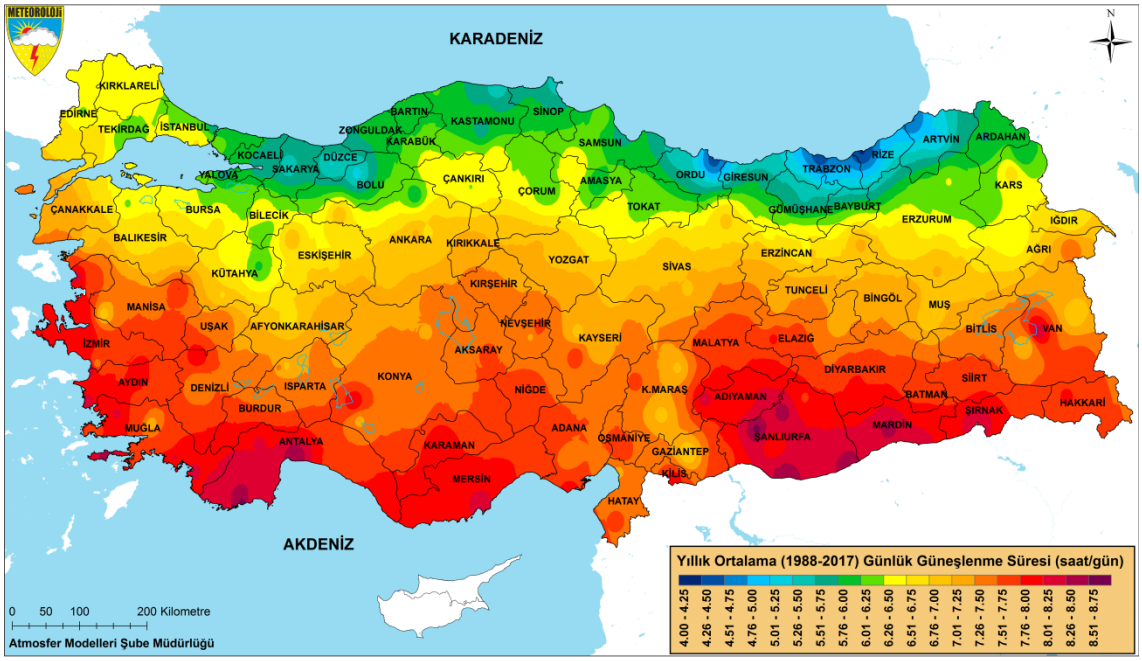
1.1.Güneş Enerjisi

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında basta gelen enerji kaynağı güneş enerjisidir. Güneş, sıcak gazlardan oluşmuştur. Güneş küresi 1.39 x 10^9 m çapındadır. Güneş ile dünya arasındaki mesafe 1.5 x 10^{11} m'dir. Güneşin etkili siyah kütle sıcaklığı 5762 K'dir. Güneşin yüzeyinden merkezine doğru inildikçe sıcaklık artar. Güneşin merkezinde sıcaklık tahminen 8 ~ 40 x 10^6 K'dir. Güneşin birim yüzey alanından 63 MW, toplam yüzeyinden ise 3.8 x 10^{20} MW enerji yayılır. Bu enerjinin dünya yüzeyine ulaşan kısmı 1.7 x 10^8 MW'dır (Kreith ve Kreider 1978).

Dünyanın en önemli enerji kaynağı olan güneş, yer ve atmosfer sistemindeki fiziksel oluşumları etkileyen asıl enerji kaynağıdır. Bilinen yenilenebilir enerji kaynaklarının büyük bir kısmı araştırılmış, sonuç olarak güneş enerjisinin, yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde kullanım açısından en pratik düzeyde olduğu ve en fazla enerjiyi sağladığı sonucuna ulaşılmıştır (Hepbaşlı 2004). Güneş enerjisinden daha fazla faydalanmak ve yüksek sıcaklıklara ulaşmak amacıyla yoğunlaştırıcılı güneş enerjisi sistemleri kullanılmaktadır (Erdoğan ve ark. 2009). Bu sistemlerin teknik olarak yeterliliği ispatlanmıştır. Hem ısı kaybının meydana geldiği alanın küçülmesi ile hem de sönümlenen ışınım miktarının artması sayesinde daha yüksek sıcaklıklara ulaşılabilmektedir (Türkoğlu ve Pehlivan 2002).

1.2.1. Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli

Ülkemiz, bulunduğu coğrafi konum nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır (Varınca ve Gönüllü 2006). Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından yapılan çalışmada Türkiye'de, 1988 ile 2017 yılları arasında günlük toplam güneşlenme sürelerine göre, yıllık ortalama güneşlenme süresi en düşük 6.37 saat olarak 1988 yılında, en yüksek güneşlenme süresi ise 7.30 saat olarak 1990 yılında ölçülmüştür (MGM 2019).



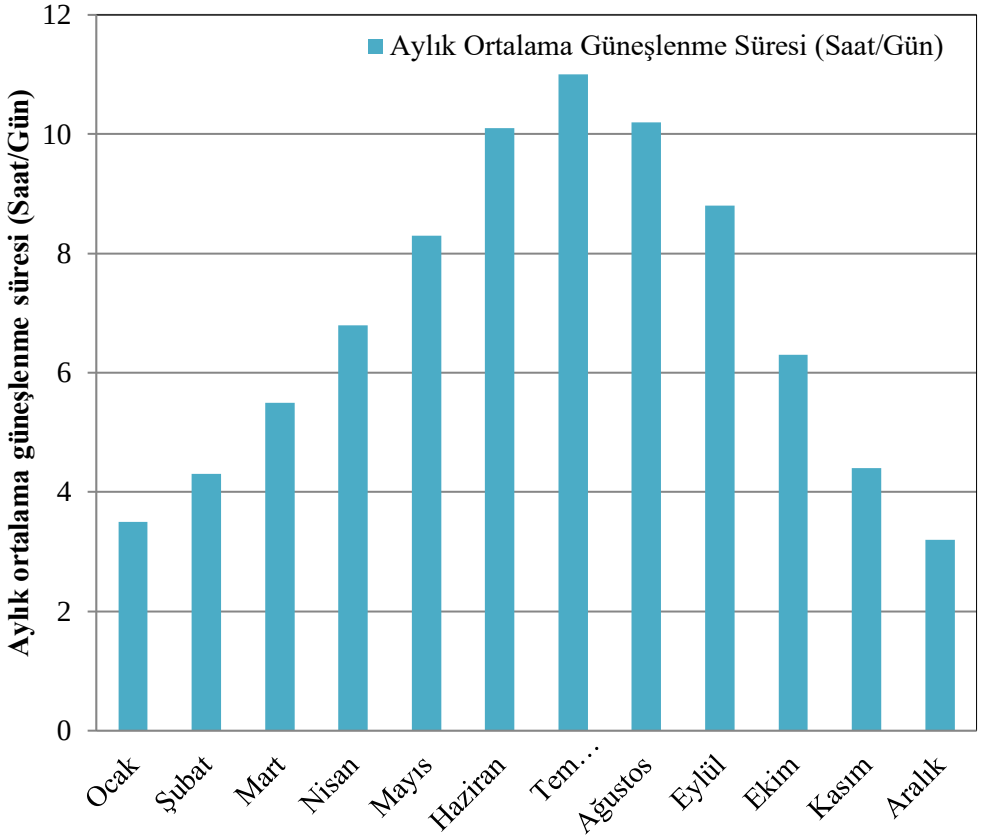
Şekil 1.1. Türkiye'de günlük güneşlenme süresi (saat/gün) (MGM 2017)

Şekil 1.1.'de Türkiye'de 1988 - 2017 yılları arasında yıllık ortalama günlük en düşük ve en yüksek güneşlenme süreleri verilmiştir. Görüldüğü üzere Türkiye'nin kuzeyinde en düşük yıllık ortalama günlük güneşlenme süresi 4.00 - 4.25 (saat/gün) iken, Türkiye'nin güneyinde ise en yüksek yıllık ortalama günlük güneşlenme süresi 8.51 - 8.75 (saat/gün) mertebesinde olduğu görülmektedir (MGM 2017).



Şekil 1.2. Türkiye'de global güneş radyasyon dağılımı (kWh/m^2/gün) (MGM 2016)

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından yapılan çalışmada, ülkemizde 2004 ile 2016 yılları arasında yapılmış ölçümler neticesinde güneş radyasyon dağılımı Şekil 1.2.'de görülmektedir. Gün içerisinde metre kare başına düşen güneş radyasyon miktarı, 5.51 - 5.60 kWh/m^2/gün aralığında iken, kuzey kısımlarında bu yoğunluk azaldığından bu değer 3.21 - 3.30 kWh/m^2/gün mertebesinde olduğu görülmektedir.



Şekil 1.3. Türkiye'de aylık ortalama güneşlenme süresi (saat/gün) (MGM 2016)

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından yapılan çalışma sonucunda, Şekil 1.3.'de Türkiye'de gün içerisinde güneşlenme süresinin en uzun olduğu ayın Temmuz ayı, en kısa olduğu ise aralık ayı olduğu gözlemlenmektedir. Gün içerisinde ortalama güneşlenme süresi Temmuz ayında 11 saat, Aralık ayında ise 3.2 saat olduğu görülmektedir.

1.2. Güneş Enerjisi Uygulamaları

Güneş enerjisi uygulamaları kullanım sıcaklığına göre sınıflandırılmaktadır. Düşük sıcaklık uygulamalarında kullanılan sistemler, gelen güneş ışınımını doğrudan kullanırken, orta ve yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılan sistemler ise gelen güneş ışınımını yoğunlaştırarak belli bir bölgeye odaklayan sistemlerdir. Bu sayede yüksek sıcaklıklara ulaşmak mümkün olmaktadır.

1.2.1.Kullanım Sıcaklığına Göre Uygulama Çeşitleri

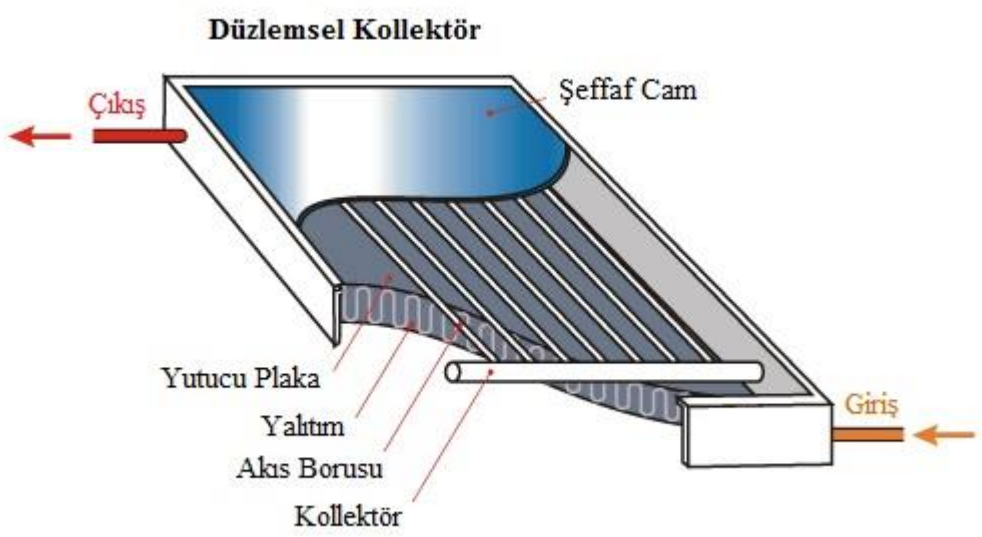
Güneş enerjisi sistemleri, uygulamada kullanılacak sıcaklıklara göre, düşük, orta ve yüksek sıcaklıklar uygulamaları olarak sınıflandırılmaktadır.

Bu uygulamalar;

- Düşük sıcaklık uygulamaları 20 ile 100 °C sıcaklık aralığında çalışan
- Orta sıcaklık uygulamaları 100 ile 300 °C sıcaklık aralığında çalışan
- Yüksek sıcaklık uygulamaları 300 °C sıcaklık üzerinde çalışan sistemler şeklinde sınıflandırılır (Bakır 2014).

1.2.1.1. Düşük Sıcaklık Uygulamaları

Düzlemsel kollektörler, düşük sıcaklık uygulamalarında en yaygın kullanılan kollektör tipidir. Gelen güneş ışınları doğrudan kollektörün yutucu yüzeyi tarafından sönümlenir. Sönümlenen güneş enerjisi yutucuya gömülü boru demetinde bulunan akışkana transfer edilerek akışkanın sıcaklığı arttırılır.



Şekil 1.4. Düzlemsel kollektörün yapısı (SOLAR ADVİCE 2020)

Düzlemsel kollektörler, ısı kaybını önlemek için yutucu, yalıtım malzemesi ile kaplanmış panel içerisine yerleştirilmiştir. Böylece düzlemsel kollektörlerin şeffaf camdan sisteme giren güneş enerjisini çevreye transfer etmesi en aza indirgenmiştir (Bakır 2014).

Düşük sıcaklık uygulamalarının bazıları aşağıda verilmiştir.

- Konutların ısıtılması, soğutulması
- Yüzme havuzlarının ısıtılması
- Konutlardaki sıcak su ihtiyacının karşılanması
- Saf su elde edilmesi
- Tarım ve endüstri ürünlerinin kurutulması
- Tuz üretimi
- Seraların ısıtılması
- Güneş ocakları ve fırınlarıdır.

1.2.1.2. Orta Sıcaklık Uygulamaları

Orta sıcaklık uygulamalarında yoğunlaştırıcı sistemler kullanılmaktadır. Bu sistemler güneş ışınlarını yoğunlaştırarak, doğrusal veya noktasal bir şekilde alıcıya odaklamaktadır. Orta sıcaklık uygulamalarında yoğunlaştırma işlemi ile akışkan sıcaklığı 300 °C'ye kadar ulaşabilir. Bu uygulamalarda, yüksek sıcaklıklara ulaşmak ve verimi arttırmak için güneş takip sistemi kullanılır. Güneş ışınlarını yoğunlaştırmak için yansıtıcı yüzey olarak, yansıtıcılığı iyi olan ayna veya yüzeyi parlatılmış alüminyum levhalardan yararlanılmaktadır (Bakır 2014).

Orta sıcaklık uygulamalarının bazıları aşağıda verilmiştir.

- Sanayi için sıcak su ve buhar üretimi
- Endüstriyel bazda büyük alanların ısıtılması ve soğutulması
- Elektrik üretimi.

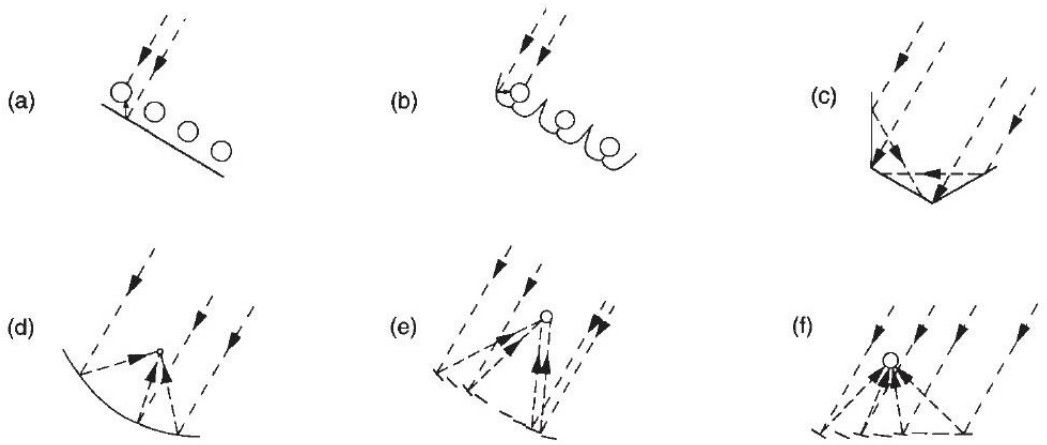
1.2.1.3. Yüksek Sıcaklık Uygulamaları

Güneş ışınlarını noktasal olarak yoğunlaştırarak odaklayan bu sistemlerde akışkan, 300 °C'nin üzerinde sıcaklıklara ulaşmaktadır. Güneş ışınlarını alıcıda yoğunlaştırmak için heliostat adı verilen düzlemsel aynalardan yararlanılmaktadır. Metallerin eritilmesi, ısıl işlemi, kesilmesi, kalıplanmasında ve elektrik üretilmesinde bu sistemlerden yararlanılabilmektedir (Bakır 2014).

1.3. Güneş Enerjisi Yoğunlaştırıcı Sistemler

Birçok güneş enerjisi uygulamasında akışkanı, düzlemsel toplayıcılarla mümkün olduğundan daha yüksek sıcaklıklara ulaştırmak amaçlanır. Enerji dağılımı sıcaklıkları, ısı kayıplarının meydana geldiği alan azaltılarak arttırılabilir. Bu işlem, radyasyon kaynağı ile enerji emici yüzey arasına bir optik cihaz yerleştirilerek yapılır. Küçük alana sahip emici, aynı emici sıcaklığında düzlemsel toplayıcıya kıyasla daha küçük ısı kayıplarına sahip olacaktır. Bu sayede ısı kaybı daha düşük olan sistemlerin tasarımına gidilmiştir.

Güneş enerjisi yoğunlaştırıcı sistemleri için birçok tasarım ortaya konmuştur. Yoğunlaştırıcılar, güneş ışınlarını yansıtan veya kıran, silindirik veya dönel ve sürekli veya bölümlere ayrılmış olabilir. Alıcılar dışbükey, düz veya içbükey olabilir. Birçok geometrik tasarım mümkündür. Yoğunlaştırma oranları (yansıtıcı yüzey açıklık alanının emici alana oranları) birkaç büyüklük sırasına göre değişebilir. Bu geniş tasarım yelpazesi ile tüm yoğunlaştırıcılar için geçerli genel analizler geliştirmek zordur. Bu nedenle, yoğunlaştırıcılar iki grupta incelenmektedir. Bunlar, düşük ve orta yoğunlaştırma oranlarına sahip doğrusal yoğunlaştırıcı kollektörlerdir. Doğrusal yoğunlaştırıcı sistemler, yansıtıcı yüzeye gelen güneş ışınlarını odak borusu üzerinde doğrusal olarak yoğunlaştırırken, Noktasal yoğunlaştırıcı sistemler yansıtıcı yüzeye gelen güneş ışınlarını odak borusu üzerinde noktasal olarak yoğunlaştırmaktadır. Noktasal yoğunlaştırıcı sistemlerin yoğunlaştırma oranları maksimum 45000 iken, doğrusal yoğunlaştırıcı sistemlerde bu oran maksimum 212'dir. Artan oranlar, enerjinin verilebileceği sıcaklıkların artması ve optik kalitede hassasiyet ve optik sistemin konumlandırılması için artan gereksinimler anlamına gelir. Dolayısıyla, yoğunlaştırıcı bir toplayıcıdan iletilen enerjinin maliyeti, mevcut olduğu sıcaklığın bir fonksiyonudur (Duffie ve Beckman 2005).



Şekil 1.5. Yoğunlaştırıcı kollektör konfigürasyonları (a) Arkadan yansıtıcılı borulu emiciler; (b) Tepe yansıtıcılı tüplü emiciler; (c) Düzlemsel yansıtıcılı yoğunlaştırıcı; (d) Parabolik yoğunlaştırıcı; (e) Fresnel yansıtıcı; (f) Merkezi alıcıya sahip heliostat dizisi (Duffie ve Beckman 2005)

Şekil 1.5.'de görüldüğü üzere yoğunlaştırıcı sistemlerin yapısal tasarımları ve güneş ışınlarını yoğunlaştırma şekli verilmiştir. Bunlar, Arkadan yansıtıcılı borulu emiciler (a), Tepe yansıtıcılı tüplü emiciler (b), Düzlemsel yansıtıcılı yoğunlaştırıcılar (c), Parabolik yoğunlaştırıcılar (d), Fresnel yansıtıcılar (e), Merkezi alıcıya sahip heliostat dizisi (f) şeklinde sıralanmıştır (Duffie ve Beckman 2005).

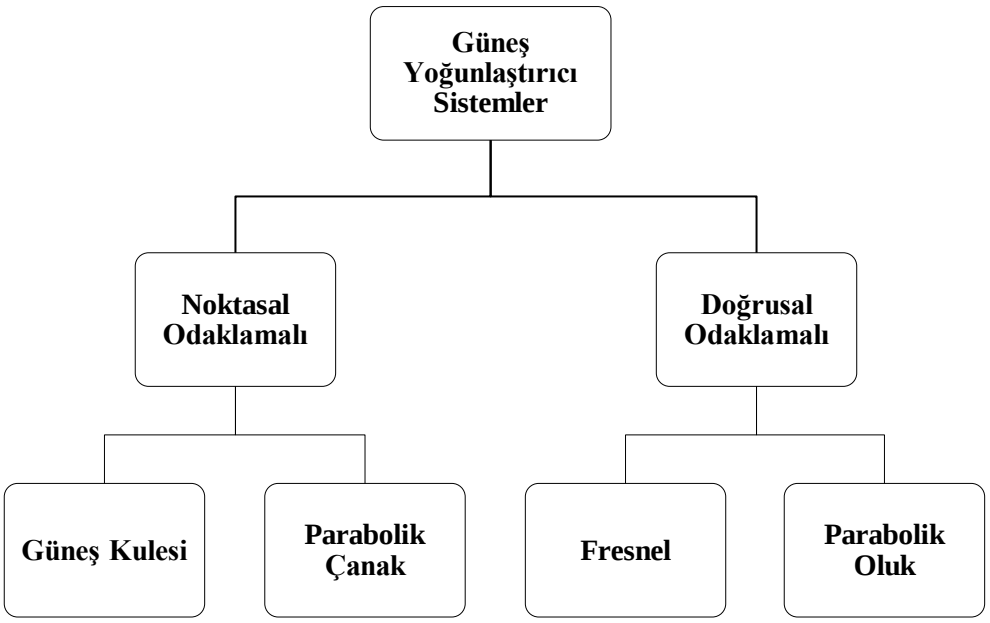
Yansıtıcı yüzey üzerine düşen güneş ışınlarının bir kısmı yüzey tarafından soğurulur. Bu sebeple güneş ışınları belirli bir kayıpla yoğunlaştırılmaktadır. Güneş ışınlarının yoğunlaştırıldığı yüzey olan odak bölgesinin sıcaklığı yükselmektedir. Sıcaklığı artan yüzeyden akışkana iletim ya da taşınım ile ısı geçişi meydana gelmektedir. Odak bölgesinin dış yüzeyinin sıcaklığı belli bir süreden sonra çevre sıcaklığından daha yüksek olacağından dış yüzeyden çevreye taşınımla ısı geçişi olur. Bu da sistem için ısıl kayıptır.

Güneş enerjisi yoğunlaştırma sistemleri aşağıda verilmiştir.

- Merkezi güneş kulesi
- Parabolik çanak tip yoğunlaştırıcı
- Fresnel tip yoğunlaştırıcı
- Parabolik oluklu yoğunlaştırıcı
- Düzlem yansıtıcılı yoğunlaştırıcı

olarak sınıflandırılabilir.

Burada parabolik oluk tipi güneş kollektörleri, Fresnel tip yoğunlaştırıcı kollektörler güneş ışınlarını doğrusal olarak odaklarken, parabolik çanak tipi kollektörler ve merkezi güneş kulesi ise güneş ışınlarını noktasal olarak odaklar (Bakır 2014).



Şekil 1.6. Güneş yoğunlaştırma sistemleri

1.3.1. Merkezi Alıcı Güneş Kuleleri

Merkezi alıcı veya güç kulesi, güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi için, çok büyük yoğunlaştırıcı toplayıcıların kullanımına dayanmaktadır. Optik sistem, her biri merkezi bir alıcıya güneş ışınlarını yansıtan çok sayıda heliostattan oluşan bir alandan oluşur. Güneş kulesi uygulamalarında gölgeleme ve engelleme meydana gelebilir. Çünkü gelen güneş ışınlarının gölgelenmesi, bir heliostatın başka bir heliostat tarafından güneş ışınları bloke edilmesi veya bir heliostattan yansıyan güneş ışınları diğeri tarafından bloke edilmesi, güneş ışınlarının alıcıya ulaşmasını önleyebilir. Bu düşüncelerin bir sonucu olarak, heliostatlar aralıklı olarak yerleştirilir ve zemin alanının sadece bir kısmı heliostat aynalarla kaplanır (Duffie ve Beckman 2005).

Sistem, heliostat adı verilen büyük bir alana dizili çok sayıda yansıtıcılarla gelen güneş ışınlarını heliostatların merkezinde bulunan alıcı kulenin tepesine yoğunlaştırır. Heliostatlar, merkezi bir bilgisayar yardımı ile güneşi takip ederek güneş enerjisini alıcı kuleye yansıtırlar. Yoğunlaştırılmış yüksek güneş enerjisi alıcıdan geçen akışkanı ısıtır.

Isınan akışkan ısı değiştirgeci yardımıyla ısısını suya aktararak buhar üretilir. Üretilen buharda buhar türbininden gönderilerek elektrik enerjisi elde edilir. Çevrimi tamamlayan buhar yoğuşturucuda soğutma suyu ile soğutulur ve sisteme geri beslenir. Isı transfer akışkanı ısı değiştirgecinden geçtikten sonra ısısını suya transfer ederek tekrar ısı kazanımı için alıcıya gönderilir (Şanlı 2010).



Şekil 1.7. Merkezi alıcı güneş kulesi

Isı transfer akışkanı olarak yağ ya da su kullanılabilir. Sistemde kullanılan ısı transfer akışkanının yapısına göre ortalama 600 °C üzerinde sıcaklıklara ulaşılabilir.



Şekil 1.8. Heliostat

Heliostatların dizilimi için büyük alanlara ihtiyaç vardır. Güneş kulesini çevreleyen heliostat alanı, tesisin yıllık verimini optimize edecek şekilde planlanır. Tipik bir kurulumda güneş enerjisinin toplanması, türbine buhar sağlayacak maksimum gereksinim değerinin aşılmasıyla meydana gelir. Güneşin olmadığı zamanlarda güneş kulelerinin çalışmasını sağlamak için depolama sistemleri geliştirilmiştir. Böylece sistem kesintisiz çalışması sağlanır.

Merkezi alıcı güneş kulesi sisteminde, 290 °C'de akışkan haldeki tuz eriği, soğuk depolama tankından alıcıya ısı sönümlemek için pompalanır. Burada eriyik tuz, sıcaklığı 565 °C'ye kadar yükseltilerek sıcak depolama tankına gönderilir. Isı ihtiyacı olduğunda sıcak tuz, klasik bir Rankine çevrim sisteminde kullanılmak üzere ısı değiştirgeci sayesinde aşırı kızdırılmış buhar üretilmektedir. Isısını akışkana transfer eden eriyik tuz soğumuş bir şekilde tanka geri dönerek depolanır ve sonunda da alıcıda yeniden kızdırılır (Şanlı 2010).

1.3.2. Parabolik Çanak Tipi Yoğunlaştırıcılar

Parabolik çanak tip yoğunlaştırıcılar noktasal olarak yoğunlaştırma yapan sistemlerdir. Yansıtıcı yüzey olarak iç bükey aynalar kullanılmaktadır. Sistemin çalışma prensibi, iç bükey geometriye sahip yansıtıcı yüzeye gelen güneş ışınları sistemin

odağında yer alan Stirling motor üzerine noktasal olarak yoğunlaştırılarak enerji elde etme yöntemine dayanmaktadır. Odak noktasına yoğunlaştırılan ısı enerjisi, sistemin odak bölgesinden uygun bir ısı transfer sıvısına transfer edilerek, Rankine çalışma prensibine dayanan bir dolaşıma gönderilebilir. Alternatif olarak odak bölgesine monte edilen bir Stirling motor yardımı ısı enerjisi elektrik enerjisine çevrilebilir. Sistemin güneşi iki eksende takip etmesi sayesinde, sistemin ısıl verimi arttırılır (Şanlı 2010).



Şekil 1.9. Parabolik çanak

Parabolik çanak tip yoğunlaştırıcılar küçük modüllerden oluştuğu için, enerji ihtiyacı duyulan yerlerin yakınında ve ihtiyaç duyulan kapasitede tesis edilebilirler. Genel olarak farklı yöntemlerle elektrik üreten santrallere enerji takviyesi amacıyla, maden ocakları, radar istasyonları veya elektriğin ulaştırılması zor yerleşim alanlarının elektrik ihtiyacının karşılanmasında kullanılır. Elektrik üretiminin dışında, bu kollektörlerin ürettikleri yüksek ısı, buhar ya da sıcak hava üretimi için de kullanılmaktadır. Ayrıca endüstride, yer altı enjeksiyonu, petrol çıkartılması gibi farklı uygulama alanlarında da kullanıldığı görülmektedir (Şanlı 2010).

1.3.3. Fresnel Mercekli Odaklayıcı Yoğunlaştırıcılar

Fresnel tipi yoğunlaştırıcılar, küçük modüllere ayrılmış parabolik bir yansıtıcıdır (Duffie ve Beckman 2005). Fresnel tip yoğunlaştırıcıların, parabolik oluk tipi yoğunlaştırıcılardan en belirgin farkı, yansıtıcı yüzey olarak düzlemsel aynaların kullanılmasıdır. Fresnel tip odaklayıcı yoğunlaştırıcılar güneşi tek eksende takip ettiklerinden ve doğrusal odaklama yaptıklarından dolayı verimleri diğer odaklayıcı yoğunlaştırıcılara göre düşüktür. Bu sebeple güneşi iki eksende takip eden sistemlere göre maliyetleri daha düşüktür. Parabolik oluk tipi yoğunlaştırıcıların kullanıldığı her yerde kullanılabilirler (Şanlı 2010).



Şekil 1.10. Fresnel mercekli odaklayıcı yoğunlaştırıcılar

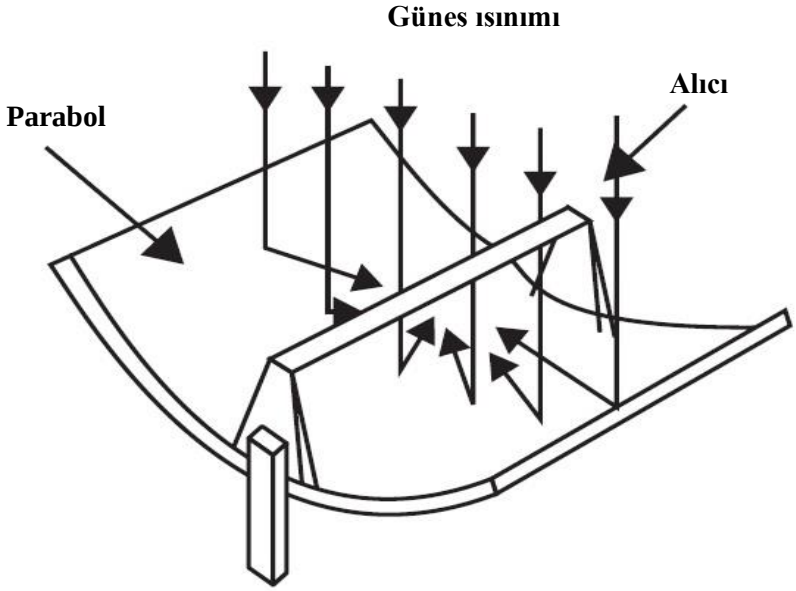
1.3.4. Parabolik Oluklu Güneş Kollektörleri

Parabolik oluklu güneş enerjisi yoğunlaştırma sistemleri teknolojisi en gelişmiş yoğunlaştırıcı güneş enerjisi tasarımıdır. Yeterliliği teknik olarak kanıtlanmış sistemlerdir (Huang ve ark 2012). Güneş ışınlarını doğrusal olarak yoğunlaştırarak odaklayan, orta ve yüksek sıcaklık uygulamaları grubunda yer alan sistemlerdir. Hem ısı kaybının gerçekleştiği alanın küçülmesi, hem de sönümlenen ışınım miktarının artması, daha yüksek sıcaklıklarda çalışmalarını sağlamaktadır (Barlev ve ark 2011).



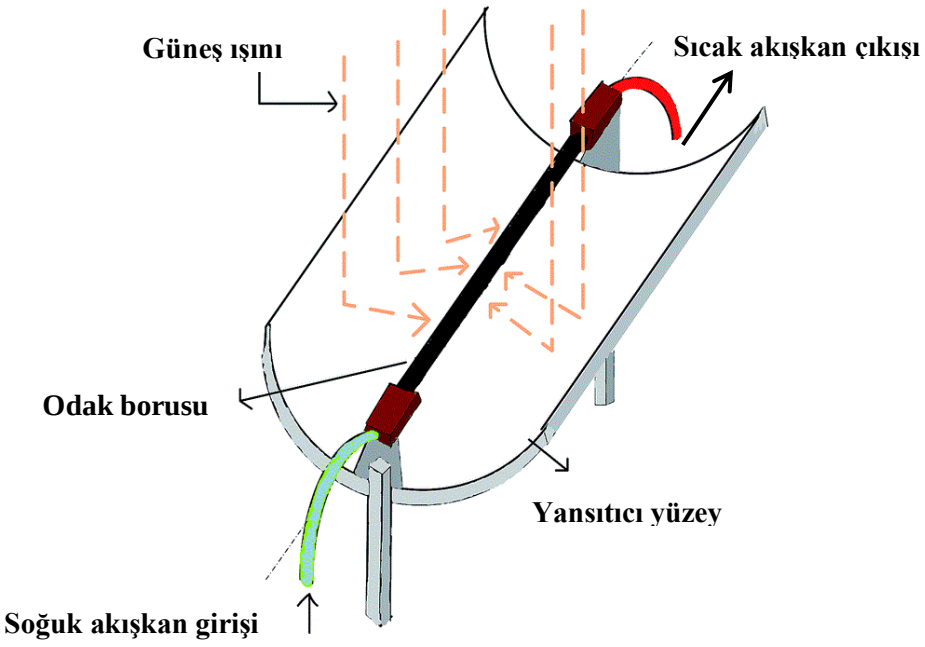
Şekil 1.11. Parabolik oluklu güneş kolektörü (DLR 2020)

İspanya Almeria'daki enerji üretim tesisinin bir kısmı olan parabolik oluklu güneş kollektörü Şekil 1.12.'de gösterilmektedir. Bu yoğunlaştırıcıların çalışma prensibini anlamak için, yoğunlaştırıcıların optik özelliklerini ve ışınların nasıl yoğunlaştırıldığının tanımlanması gerekir. Mükemmel şekilde yoğunlaştırılarak odaklanmış ışınlar, geometrik tasarımı mükemmel yoğunlaştırıcılar tarafından üretilir (Duffie ve Beckman 2005).



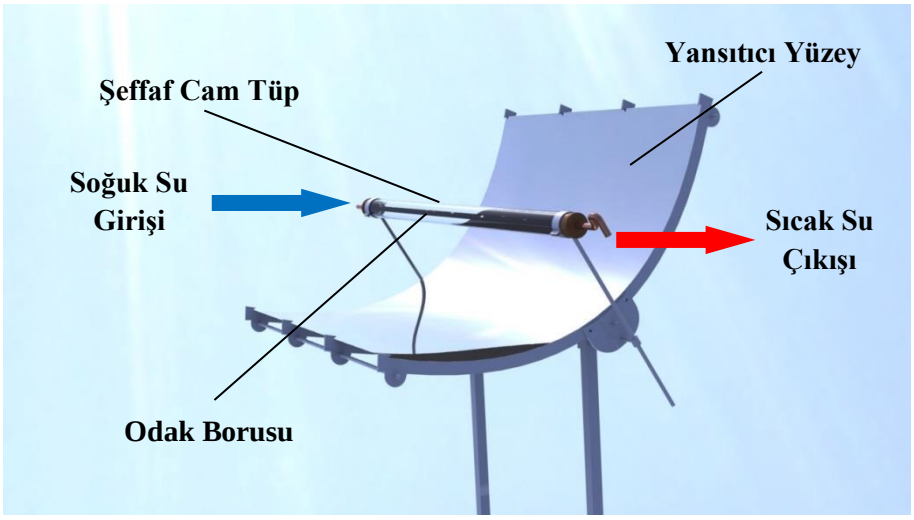
Şekil 1.12. Parabolik oluklu güneş kollektör reflektörü için bir ışın izi diyagramı (Kaloigoru 2009)

Şekil1.13.'de görüldüğü üzere yansıtıcı yüzeyden yansıyan güneş ışınları, yansıtıcı yüzey ile aynı açıyı yaparak odak borusunda yoğunlaşmaktadır. Bu durum yansıtıcı yüzeyin geometrisinin parabolik şekilde tasarlanması ile ilgilidir (Duffie ve Beckman 2005). Güneş enerjisini yoğunlaştırarak odaklayan sistemlerin performansının hesaplanması, düzlemsel toplayıcılarla genel olarak ana hatlarıyla aynıdır. Açıklık, birim alana gelen güneş ışınımı, yoğunlaştırıcı ve alıcının ışımalarından ve optik özelliklerinden hesaplanmalıdır. Alıcıdan kaynaklanan termal kayıplar, genellikle alıcı alanını temel alan kayıp katsayısı cinsinden tahmin edilmelidir. Alıcılarda meydana gelen ısıl kayıpların hesaplanma yöntemleri, düzlemsel toplayıcılardaki gibi kolayca özetlenemez. Şekiller ve tasarımlar büyük ölçüde farklılıklar göstermektedir. Sıcaklıklar daha yüksek, geometrik açı ve ölçülerin etkileri daha belirgindir. Alıcılar üzerinde güneş ışınlarının odaklanma şeklinin düzensiz olması probleme yol açabilir. Bu da emici yüzeylerde enerji dağılımında, ciddi sıcaklık dağılım farklılıklarına neden olabilir. Termal kayıpları tahmin etmenin tek bir genel yöntemini sunmak zordur. Her alıcı geometrisi özel bir durum olarak analiz edilmelidir (Duffie ve Beckman 2005).



Şekil 1.13. Parabolik oluk güneş kollektörü şematik gösterimi (Dabiri ve Rahimi 2016)

Yoğunlaştırıcı sistemlerin alıcıları için termal kayıpların niteliği, düzlemsel kollektörlerle aynıdır. Alıcıların güneş ışığını geçiren, ancak çevreye ısının ışınımla transfer olmasını engelleyen şeffaf cam örtüleri olabilir. Eğer bu şekilde şeffaf cam örtü kullanılmışsa, alıcıdan atmosfere iletim ve ışınım yoluyla dışa doğru kayıplar meydana gelebileceğinden hesaplamalar buna uygun olarak düzenlenir. Bu durumda, odaklama sistemleri için etkili bir güneş ışınımını sönümlemeden geçiren şeffaf cam malzeme kullanılabilir. Bunlar, geçirgenliği iyi emiciliği çok düşük olan kaplama malzemeleridir (Duffie ve Beckman 2005).



Şekil 1.14. Parabolik oluklu kollektör şematik gösterimi

Parabolik oluklu güneş kollektörleri, yansıtıcı yüzey malzemesine parabolik bir form verilmesiyle elde edilmektedir. Yansıtıcı yüzeye gelen güneş ışınları, kollektörün odak ekseni boyunca doğrusal olarak odaklanmasıyla, alıcı boru üzerinde yoğunlaştırılır (Kalogirou 2012).

Alıcı boru üzerinde yoğunlaştırılan güneş enerjisini transfer edebilmek için; alıcı boru içerisinde bir ısı transfer akışkanı dolaştırılır. Performansı en iyi olan ısı transfer akışkanı sentetik yağdır (Odeh ve ark. 1998). Eriyik tuz ve su, sentetik yağ dışında alternatif ısı transfer akışkanı olarak kullanılmaktadır. Günümüzde, alternatif ısı transfer akışkanları üzerinde iyileştirilmeye yönelik çalışmalar yapılmaktadır (Feldhoff ve ark. 2012).

Sistemin verimli çalışması için önemli faktörlerden biri de ısı transfer akışkanının uygun seçilmesidir. Isı transfer akışkanının sağlaması gereken özellikler şunlardır:

- Parlama noktasının yüksek olması
- Yoğunluğunun yüksek olması
- Buharlaşma basıncının düşük olması
- Düşük sıcaklıklarda akışkanlığının yüksek olması
- Yüksek sıcaklıklarda sürekli çalışabilmesi.

Güneş enerjisinin üzerinde yoğunlaştırıldığı alıcı boruda kullanılan malzeme genellikle; bakır, alüminyum ve paslanmaz çeliktir (Mwambur ve Wackelgard 2000). Alıcı borunun üzeri güneş ışınımını sönümlemesi yüksek, ısıl yayınımı düşük olan selektif malzeme ile kaplanarak; parabolik toplayıcının verimi arttırılmaktadır (Öztürk ve ark. 2009).

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Şimşek (2012) yapmış olduğu çalışmada, elektronik olarak güneş takip sistemine sahip, yüzeyi parlatılmış alüminyum yansıtıcılı, alıcı borusu bakır malzeme olan, ısı kaçaklarını minimize etmek için alıcı borunun dışında pyreks borusu bulunan parabolik oluklu güneş kollektörü tasarlamıştır. Tasarlanan bu kollektör ile deneyler yapılmıştır. Sistem, 1.68 m^2 açıklık alanına sahiptir. Isınan akışkan, yoğunluk farkından doğan hareketle, sistemin üst kısmına yerleştirilmiş olan 40 litre hacme sahip depoya ilerlemekte, deponun alt kısmından soğuk akışkan kollektöre girmektedir. Deneylerde üç farklı akışkan, arıtılmış su, % 50 hacim yoğunluklu antifriz, arıtılmış su karışımı, % 20 kütle yoğunluklu NaCl – saf su kullanılmıştır. Deneylerde akışkanın sıcaklığını 30 °C'den 50 °C'ye çıkarma süreleri tespit edilmiştir. Bulunan deneysel veriler, teorik hesaplamalar sonucu elde edilmiş veriler ile kıyaslanmıştır.

Şanlı (2010) yaptığı çalışmada, parabolik oluklu güneş yoğunlaştırıcılarını teorik olarak ele incelemiştir. Sistemin, yansıtıcı yansıtıcı yüzeyi, alıcı borusu, şeffaf cam örtüsü ve güneş takip mekanizması detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu çalışmada, teorik olarak parabolik oluklu güneş kollektörü tasarlanmıştır. Tasarlanan bu kollektör, 2009-2010 yılları arasındaki Denizli ili güneş verilerine göre testi gerçekleştirilmiştir. Teorik deney sonuçlarında sistemin buhar türbinine kadar olan verimi % 67 bulunmuş, sistem için gerekli buhar türbini kapasitesinin 300 - 500 kW arasında olacağı belirtilmiştir.

Diğer çalışmada, parabolik oluklu güneş kollektörünün yansıtıcı yüzey, alıcı boru ve şeffaf cam örtü tasarımları yapılmış, deneyler için prototip imal edilmiştir. Tasarlanan 1.40 m x 3.00 m boyuta sahip parabolik oluk tipi güneş kollektörüyle yapılan deneyler sonucu optik ve ısıl verim hesaplamaları yapılarak ısı transfer sıvısına aktarılan faydalı enerji belirlenmiştir. Hesaplamalar neticesinde sistemin ortalama ısıl veriminin % 85 ve ortalama optik veriminin % 20 olduğu belirlenmiştir. Optik verimi büyük oranda etkileyen şeffaf cam örtü optik veriminin ortalama % 25 olduğu belirlenmiştir. Isı transfer akışkanına aktarılan faydalı enerji ile Organik Rankine Çevrimi prensibi prosesi ile elektrik üretimi teorik olarak simüle edilmiş ve çevrimin çalışma koşullarındaki termodinamik analizi yapılmıştır. Organik Rankine Çevrimi prosesinin ekserji analizi yapılmış ve birinci yasa verimi % 9, ikinci yasa verimi % 45

olarak hesaplanmıştır. Simüle edilmiş deney sonuçlarına göre, sistem için buhar türbininde net güç çıkışının yaklaşık 50 W olduğu belirlenmiştir (Cicibıyık 2012).

Ercoşkun (2013) yapmış olduğu çalışmada, tasarımı yapılan parabolik oluklu güneş kollektörü iki eksenli güneş takip sistemine sahiptir. Isı transfer akışkanı olarak su kullanılmıştır. Deneyler, Tarsus iklim koşullarında gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda, güneş ışınım şiddeti, ortam sıcaklığı, rüzgâr ve nem etkenlerine bağlı olarak kollektörlerün performansında meydana gelen değişim gözlenmiştir. Araştırma bulguları grafiklerle değerlendirilmiş ve sistemden elde edilen faydalı ısı incelenmiştir. Kollektör açıklık alanına düşen güneş ışınım miktarının büyük bir kısmından faydalanılabildiği ve sistemin kullanılabilir özellikte olduğu gözlemlenmiştir.

Bakır (2014) bu çalışmada, Karabük ili iklim şartlarına göre imalatı yapılan parabolik oluklu güneş kolektörünün evde kullanılmak üzere sıcak su hazırlama performansını incelemiştir. Farklı set değerlerine göre ölçümler yapılmış ve deney sonuçları incelenmiştir. Deneylerde sıcaklık kontrolü yapılarak en yüksek debide 96 kg iken, su sıcaklık değeri 40 °C olarak ölçülmüştür. En yüksek sıcaklık değeri 100 °C iken, suyun debisi 15 kg'dır.

Kıral (2016) çalışmasında, polimerik kompozit parabolik güneş enerjisi kollektörünün mekanik tasarımını yapmış ve üretmiştir. Bu kollektörün mekanik dayanımı incelenmiş, Solidwroks programında analizleri yapılmıştır.

Duffie ve Beckman (2005) parabolik oluklu güneş enerjisi yoğunlaştırıcıları hem matematiksel hem de deneysel olarak kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Yoğunlaştırma oranları orta sıcaklık uygulamaları ile aynı olduğundan, 100 °C ile 500 °C aralığında sıcaklık gerektiren uygulamalar için önerilmiş ve kullanılmıştır. Bu yoğunlaştırıcılarda kullanılan alıcı, doğrusal boru şeklinde olup, içi boş bir boru şeklindeki cam tüp içine yerleştirilmiştir. Düzlemsel alıcılar da kullanılan yansıtıcılar, bu tip sistemlerde de yansıtıcı parabolik oluk şeklinde kullanılmıştır.

Eltez (1990), güneş enerjisi yoğunlaştırıcı sistemlerin, hareket sistemlerini ve ısıl özelliklerini incelemiştir. Bu çalışmasında güneş yoğunlaştırıcı sistemlerin, enerji ihtiyacını hesaplamış olduğu bir tekstil fabrikasının, enerji ihtiyacına katkısını incelemiştir.

Tatara vd. (1991), 1.27 m^2 açıklık alanına sahip 4 adet parabolik oluk tipi yoğunlaştırıcıları seri bir şekilde bağlayarak yapılan deneylerde yoğunlaştırıcıların farklı

koşullarda performans eğrilerini elde etmiştir. Deneylerde alıcı boruların yüzeyi farklı spektrum özellikleri sunan bir malzeme ile kaplanarak sistem verimliliği arttırılmıştır.

Bellos vd. (2017) yaptıkları çalışmalarında parabolik oluklu kollektör kullanmışlardır. Bu çalışmada 3 m^3 ten 15 m^3 e kadar farklı hacimlerine sahip tanklarda depolama yapmışlardır. Yılın her periyodunda ölçüm yapılmış ve termal ısı verimliliği ölçülmüştür. Konsantre güneş kollektörleri için yenilikçi bir özellik olan solar termal sistemin günlük değerlendirmesi için bir giriş-çıkış yöntemi uygulanmıştır. Nihai sonuçlara göre, farklı depolama tankı hacimleri benzer termal çıkışlara, ancak ortalama depolama tankı sıcaklığının depolama tankı hacmine yüksekliğe bağlı olası nedeniyle aşırı farklı çıkışlara yol açmıştır. En düşük ve en yüksek değerler sırasıyla aralık ayında % 37.1, haziran ayında % 68.7 olarak tespit edilmiştir.

Garcia vd. (2017) yaptıkları çalışmada güneş ışınlarının yansıtılmasında kullanılan materyaller üzerine çalışılmıştır. Bu çalışmada yansıtıcı malzemelerin yansıtma kalitesini ölçmek için farklı alternatifler değerlendirilmiştir. Eksik bilgiyi tahmin etmek için kullanılan yansıma modelleri tanımlanmış ve prototip reflektometreler üzerinde güncel araştırma çalışmaları yapılmıştır.

Jaramillo vd. tarafından yapılan çalışmada 2.6 m^2'lik yüzey alanına sahip ve yoğunlaştırma oranı 14 olan güneş kollektörü tasarlanmıştır. Termal ve optik analiz verimleri 45 °C'lik açıda en yüksek verim %35, 90°'lik açıda en yüksek verim % 67 olarak ölçülmüştür. 110 °C sıcaklığa sahip kalitesi düşük buhar elde edilmiştir. Sistem verimi ise % 25 ile % 45 arasında olduğu belirlenmiştir. Maliyet analizi neticesinde m^2 başına 170 Amerikan doları maliyet tespit edilmiştir (Jaramillo ve ark. 2013).

Reddy ve arkadaşları 5 m'den 7.5 m'ye kadar uzunluğa sahip parabolik oluklu güneş kollektörleri ile'direk buhar üretme üzerine çalışmışlardır. Parabolik oluklu kollektörde ışın akış dağılımının çizgisel odaklamalı alıcı boru çevresindeki etkileri önemsenmiştir. Toplayıcı boru üzerinde bulunan cam tüpün iç kısımdaki yansımaları, cam tüpün ışınları sönümlemesi, toplayıcı borunun ışınları yansıtması, yüzey hatalarını ve yansımayı önleyici kaplamanın toplamının etkilerini dikkate almışlardır. Kollektörler tesisin karakteristik gücüne göre değerlendirilmiş, nominal güç 50 MW olarak kurulmuştur (Reddy ve ark. 2018).

Grigoriu vd. tarafından sera ısıtılmasında kullanılan bir parabolik oluk güneş kollektörü geliştirilmiştir. Sera iç sıcaklığının dengelenmesi sıcaklık kontrol sistemi

kullanılarak sağlanmış ve bitki yetiştirmek için en iyi durum tespit edilmiştir. Bu sıcaklık kontrol sistemi aynı zamanda parabolik oluk borusu içindeki akışkanın sıcaklık durumunu da göstermektedir. Bunun için iki sistem oluşturulmuştur. Bunlar sera modeli ve parabolik oluk kollektör modelidir. Her bir model için gerçek datalar kullanılarak doğrulandı. Günün 24 saati ölçüm yapılarak doğrulama endeksi dikkate alındığında gerçek ve simülasyon verileri arasında maksimum hata doğrulanmıştır (Grigoriu ve ark. 2015).

Bu çalışmada, parabolik oluk üç boyutlu doğrusal olmayan bir dinamik termohidrolik toplayıcı ve güneş enerjisi endüstriyel ısı santrali modellenmiştir ve bir simülasyon ortamı gerçekleştirilmiştir. Güneş takip sistemi geliştirilerek parabolik oluk kollektöründe lokal bölgelerde yoğunlaşma oranları hesaplanmıştır. Deneysel verilerle kıyaslanarak hatalar belirlenmiştir. Bu çalışma, 100 kW'lık güneş enerjisi sunan 1000 m^2'lik güneş panel tarlasının yılda % 67 güneş enerjisine ihtiyaç duyduğunu göstermiştir (Silva ve ark. 2013).

Bu çalışmada doğrudan yansıtarak odaklama (birincil yoğunlaştırıcılar) ve yansıtılanı yansıtarak odaklama (ikincil yoğunlaştırıcılar) yapan sistemler ele alınmıştır. Bu sistemlerde kullanılan yansıtıcı malzemelerin dayanıklılığı üzerinde çalışılmıştır. Yansıtıcı malzemeler, çevre koşullarına maruz kaldıklarından dolayı deformasyona uğramaktadır. Bu çevre şartları simüle edilerek hangi sistem için hangi malzemenin daha dayanıklı olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada soğutmalı ve soğutmasız sistemler ele alınmıştır. Yansıtıcı malzemeler çevre şartlarında yüksek ışın akısından dolayı meydana gelen sıcaklık artışı, mekanik gerilmeye ve bozulmalara neden olmaktadır. Çalışmada yansıtıcı malzemenin bozulması incelenmiştir. Hızlandırılmış eskime simüle edilerek birkaç ortam parametresinin neden olduğu yansıtıcı malzemenin bozulmasına radyasyonun etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, bir alüminyum yapıya yapıştırılmış alüminyum reflektörler ve ince gümüşlenmiş cam reflektörler, soğutulmuş üç boyutlu ikincil yoğunlaştırıcıların (güneş kule sistemleri) çalışma koşulları altında minimum yansıma kayıpları ve yapısal bozulma göstermiştir. Yüksek radyasyonun mekanik gerilmelere dönüşerek malzemenin yansıtıcılığını bozmasını engellemek için gümüş ve cam malzeme ince bir yapıştırıcı ile yapıştırılmış ve uygun yapıştırıcı malzeme tespit edilmiştir. Böylece yansıtıcı malzeme olan gümüş ile cam arasında uygun bir yapı oluşturulmuştur. Alüminyum soğutma sistemi cam malzemenin

kenarlarını kaplayarak muhafaza edecek şekilde tasarlanmıştır. Soğutma sistemi kullanılmadan tasarlanmış olan düzlemsel yansıtıcı sistemlerde (Fresnel tip yoğunlaştırıcı sistemler) ise yapılan hızlandırılmış eskime simülasyonunda yansıtıcı malzemelerde bozulmaların daha sık olduğu gözlemlenmiştir. Sıcaklık artışından dolayı meydana gelen mekanik gerilmeler cam malzemenin çatlaması ve kırılmasına sebep olduğu görülmüştür (Fernandez-Garcia ve ark. 2014).

Wirz vd. çalışmalarında parabolik oluklu güneş kollektörleri üzerinde çalışmışlardır. Parabolik oluklu güneş kollektörlerinde toplayıcı element olan odak borusunun konstrüksiyon yapısı incelenmiştir. Toplayıcı boruyu taşıyan yataklarının gölgelemesinden kaynaklı meydana gelen kayıplar gözlemlenmiştir. Sistem, gölgelemeleri en aza indirmek ve verimi arttırmak için daha az taşıyıcı yatak kullanılacak şekilde tasarlanmıştır. Çalışmada odak borusu tarafından sönümlenemeyen veya odak borusundan yansıyan ışınların çevreye yayılmadan tekrar odak borusuna yönlendirmek için cam tüpün iç yüzeyine kaplama yapılarak verim artışı sağlanmıştır. İyileştirilmiş bu parabolik oluklu güneş kollektörleri, standart parabolik oluklu güneş kollektörlerine göre % 4.3 ile % 7.3 arasında termal verim artışı meydana gelmiştir. Genel olarak tüm iyileştirmelerin kombinasyonları % 23 gibi bir artış göstermiştir (Wirz ve ark. 2014).

Felinski ve Sekret yapmış oldukları çalışmalarında enerjiyi depolamak için faz değişim malzemesi kullanma konusunda yeni bir konsept sunulmaktadır. Birleşik parabolik oluklu güneş kollektörü ile donatılmış toplayıcı içerisine çok yüksek verimliliğe sahip ısı yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Ayrıca gizli ısıyı da kullanmak üzerinde de durulmuştur. Parabolik oluklu güneş kollektörü toplayıcısında faz değişim malzemesi kullanılmasının geleneksel güneş enerjili su ısıtıcılarına göre avantajları gözlemlenmiştir. Geleneksel güneş enerjili su ısıtıcıları güneş görmeyen alanlarda enerji döngüsü söz konusu değilken, faz değişim malzemesi kullanılan parabolik oluklu güneş kollektörü toplayıcısında bu sorunun önlenebildiği gözlemlenmiştir. Sistemde toplayıcı sayısının faz değişim malzemesinin de sıcaklığını etkilediği gözlemlenmiştir. Güneş ışınlarını yoğunlaştırmak için parlatılmış alüminyum yansıtıcı kullanılmıştır. Sistemde, faz değişim malzemesi olarak 51.24 °C erime sıcaklığına sahip parafin kullanılmıştır. Parafin malzemesinin erime sırasında ve sonrasında güneş görmeyen alanlarda sıcaklığın hızlı bir şekilde artmasına sebep olmuştur. Geleneksel güneş enerjili su ısıtıcı

sistemlere entegre edilmiş faz değişim malzemesi olarak parafinin kullanılması ortalama % 31 ile % 36 arasında depolama verimi sunduğu hesaplanmıştır. Maksimum depolama verimi ise, % 40 ile % 49 arasında olduğu hesaplanmıştır (Felinski ve Sekret 2017).

Abu Hamdeh ve Alnefai yapmış oldukları çalışmalarında, güneş enerjisi ocağında enerji depolamak için bir faz değişim malzemesi kullanımının fizibilite çalışması yapılmıştır. Kullanılan faz değişim malzemesi yüksek oranda gizli ısı saklama kapasitesine sahip olduğu için, katılaşma ve erime sırasında büyük miktarlarda enerji emebilmekte ve serbest bırakabilmektedir. Parabolik oluk toplayıcısına alüminyum kapsüller monte edilmiştir. Alüminyum kapsüller içerisinde faz değişim malzemesi olarak asetamid kullanılmıştır. Güneş ocağı üç farklı hava debisinde analiz edilmiştir. Çalışmada enerjiyi depolamak için kullanılan asetamid malzemesinin iyi pir performans sergilediği gözlemlenmiştir (Abu-Hamdeh ve Alnefaie 2019).

Heyhat vd. 2020 de yapmış oldukları çalışmalarında, nano partiküllü akışkan ve metal köpük kombinasyonunun parabolik oluklu güneş kollektörü termal performansı üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Bu kombinasyon, üstün optik özellikler, termal kayıpların daha düşük olmasını sağlaması ve daha iyi akış karıştırma gibi özellikleri nedeniyle kullanılmıştır. Nano partiküllü akışkan ve metal köpüğün optik özelliklerini karşılaştırmak için spektrometrik deneyler de yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, hem nano partiküllü akışkanın hem de metal köpüğün iyi güneş ışını emiciler olduğunu doğrulamıştır. Bu nedenle, farklı hacim derişimlerinde (% 0.01, % 0.05 ve % 0.1) CuO/Su nano partiküllü akışkan hacimsel güneş ışını emicileri olarak incelenmiştir. Öte yandan, hacimsel emici olarak % 95 oranında (10 PPI (inç başına gözenek)) gözenek yoğunluğuna sahip bakır metal köpük kullanılmıştır. Sonuçlar, uygulamanın metal köpük sürtünme faktörünü, metal köpük içermeyen saf suyun 50 ile 80 katı kadar yükseltmektedir (Heyhat ve ark. 2020).

Cheng vd., ışın izleme yöntemi üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmada parabolik oluk güneş kollektörlerinde ışın izleme yöntemi yoğunluk bazlı parçacık algoritması ile birleştirerek optik verimlilik ampirik formülleri içeren yeni bir hesaplama yöntemi ele alınmıştır. Işın takip sistemlerinin ışının en yüksek akıda olduğu yönü bulup takip etme, yoğunluk bazlı parçacık algoritması metoduyla, süresi düşürülmüştür. Parçacık sürüsü optimizasyon hesaplama süresinin yaklaşık % 90'ını azalttığı gözlemlenmiştir. Bu yeni yöntem, optik verim ile ilgili analizler ve parabolik oluk güneş kollektörleri için bu

sistemlere karşılık gelen yoğunluk bazlı optimizasyonlar üzerindeki diğer uygulamalar için yüksek potansiyel ortaya koymaktadır (Cheng ve ark. 2018).

Manikandan vd., yaptıkları bu çalışmada, parabolik oluklu güneş kollektörünün, optik ve ısıl verimliliğinin arttırılması, proses ısısı, buhar üretilmesi ve sisteme beslenmesi ve ekonomik analizler yapılmıştır (Manikandan ve ark. 2019).

Gong vd. tarafından yapılan çalışmada, iki kısımdan oluşan büyük bir açıklığa sahip parabolik oluklu yoğunlaştırıcının verimliliği, iki parabolik oluktan oluşan ikincil bir yansıtıcı ile yenilikçi bir tasarım yöntemi kullanılarak iyileştirilmiştir. Birincil yansıtıcının odağı, ikincil yansıtıcıların odağı olacak şekilde tasarlanmıştır. Tasarım yöntemi, güneş ışımasının birincil yansıtıcı tarafından yansıtılan ancak alıcı boru tarafından yakalanmayan kısmı, alıcı boruya tekrar yansıtılmak üzere aşamalı olarak ikincil yansıtıcılar tarafından alıcı boruya tekrar yansıtılması yaklaşıma dayanmaktadır. Odak noktaları aynı olan birincil ve ikincil yansıtıcılar, farklı odak uzunluklarına sahip birkaç parabolden oluşan bir tasarıma dayanmaktadır. Bu tasarım sayesinde, birincil yansıtıcıdan alıcı boruya yoğunlaştırılan ancak sönümlenemeyen güneş ışınımı, ikincil yansıtıcı tarafından tekrar alıcı boruya yansıtılmaktadır. Parabolik oluklu güneş kollektörünün optik ve termal verimliliği, ikincil yansıtıcısı olmayan bir sisteme kıyasla sırasıyla % 5.2 ve termal verimlilik % 4.9 oranında artırılabildiği belirlenmiştir (Gong ve ark. 2020).

Yang vd. 2020 yılında yapmış oldukları çalışmalarında, endüstriyel proses ısı uygulamaları için fabrika çatılarındaki güneş enerjisini değerlendirmek üzere tasarlanmış yeni bir güneş kolektörünün fizibilitesini araştırmışlardır. Çalışmada kullanılan güneş kolektörü, paralel mikro-parabolik oluklardan, vakum tüpü alıcılarından ve büyük binalara kolayca monte edilebilen camlı bir kutuda bulunan dâhili bir izleme mekanizmasından oluşmaktadır. Sistem, 4.2 yoğunlaştırma oranına sahip olmakla beraber, binalara kolayca monte edilebilir. Sunulan toplayıcının optik performansı, gölgeleme, eğim ve yönelim etkisi dikkate alınarak teorik ve sayısal olarak analiz edilmiş ve modellenmiştir. Ayrıca, vakum basıncının, ışın radyasyonunun ve seçici kaplamaların emisyonunun etkisiyle birlikte termal verimliliğini ve durgunluk sıcaklığını hesaplamak için geçici bir termodinamik model geliştirilmiştir. TRNSYS simülasyonları ve bir dış mekân deneyi ile doğrulanan teorik analiz neticesinde,

sistemin yıllık optik verimliliğinin yaklaşık % 66.7 olduğu ve 200 °C'de termal verimin yaklaşık % 59.3 olduğu belirlenmiştir (Yang ve ark. 2020).

Yahi vd. tarafından yapılan çalışmada, üç farklı Kuzey Afrika bölgesinin iklim koşulları altında parabolik oluklu güneş kollektörü modellenmiş ve ekserji analizi değerlendirilmiştir. Sistemin durum denklemi, birleşme yerleri,'direnç elemanları ve kapasitans elemanlarından geliştirilmiştir. Sistemin sayısal simülasyonu Matlab yazılım ortamı üzerinden gerçekleştirilmiş ve tahmin edilen sonuçlar, benzer çalışmaların deneysel sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yapılan testlerde, elde edilen ortalama bağıl hatalar ısı transfer akışkanı çıkış sıcaklığı için yaklaşık % 0.17 ve enerji verimliliği için yaklaşık % 0.96, ısı transfer akışkanı yaklaşık çıkış sıcaklığı için hesaplanan ortalama bağıl hata % 0.08 ve ısı kayıpları mutlak hatası 4.9 (W/m2) olarak tahmin edilmiştir (Yahi ve ark. 2020).

Bu çalışma, sistemin radyal ve eksenel sıcaklık profilinin elde edildiği bir parabolik oluk kollektöründe ısı transferini hesaplamak için basit bir matematiksel model sunulmuştur. Modellemenin sonuçları, iki farklı ısı transfer akışkandan alınan verilerle doğrulanır.

Model, ısı transfer akışkanlar olarak su, termal yağ ve nano partiküllü akışkan kullanarak termal verimliliği belirlemek için kullanılır. Sonuçlar, parabolik oluk toplayıcının termal verimliliğinin, daha yüksek hacimde nano partikül fraksiyonu içeren nano partiküllü akışkanda daha yüksek olduğunu göstermektedir. Hacim fraksiyonu, 0.04 ve 0.02 olan nano partiküllü akışkan ile ısıl verim sırasıyla % 80 ve % 79'dur. Termal yağda ise, % 76 maksimum ısıl verim ile en düşük verime sahiptir. Nano partiküllü akışkan, parabolik oluklu kollektörde basınçlı suya kıyasla düşük basınç seviyelerinde çalışmaktadır (Garcia ve ark. 2019).

Narayanan ve Vijay bu çalışmada, kuraklık ve çöl bölgesinde güneş enerjisi ile elde edilen ısı ile parabolik kollektör kullanarak sert suyun pH değerini düşürerek arıtma sistemi modellemeyi amaçlamışlardır. Bu çalışma ürünlerin tuzluluğu azaltmak için de kullanılabilmektedir. İç içe boru şeklindeki toplayıcıların içerisinden geçen su tuzdan arınmış bir şekilde depolama tankına dolmaktadır (Narayanan ve Vijay 2020).

Özcan ve ark. tarafından yapılan çalışmada yeni parabolik oluklu güneş kollektörü tasarlanmıştır. Sistemde alüminyum ve bakır malzeme olarak iki farklı odak borusu kullanılmış ve performansları incelenmiştir. Deneylerde, 0.0017, 0.0033, 0.0050,

0.0067 ve 0.0083 kg/s debide çalışılmış ve debinin verim üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sistemin simülasyonu oluşturulmuş ve deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Alüminyum ve bakır malzeme odak borulu sistemlerde sırasıyla en yüksek termal verim 0.0083 kg/s debide % 72.7 ve % 74.5 olarak hesaplanmıştır (Özcan ve ark. 2021).

3. MATERYAL VE METOT

3.1 Materyal

Çalışmada parabolik oluklu güneş enerjisi kollektörü tasarlanmış ve imal edilmiştir. Böylece, üretilen kollektör sayesinde, geniş alana düşen güneş ışınlarını yoğunlaştırarak, akışkanın içinden geçtiği boruya odaklayarak, daha yüksek sıcaklıklara ulaşmış bir akışkan elde edilmesi hedeflenmiştir. Odak noktasında bulunan, içerisinden akışkanın geçtiği boru malzemesinin verimliliğe olan etkisini incelemek için alüminyum ve bakır odak borusu kullanılmıştır. Alüminyum ve bakır boruların aynı debide ve aynı güneş ışını etkisi altında akışkanın sıcaklık artışına etkileri mukayese edilmiştir. Ayrıca her boru malzemesinin farklı debilerdeki en iyi performansı incelenmiştir.



Şekil 3.1. Parabolik oluklu güneş kollektörü deney seti düzeneği

Çalışmada kullanılacak parabolik oluklu güneş kollektörünün (POGK) üretimine başlanmadan önce çalışma Solidworks'de tasarlanmış daha sonra üretime geçilmiştir. Deney seti, taşıyıcı ayaklar ve yatak üzerine konmuştur. Odak noktasına konacak, yoğunlaştırılacak güneş enerjisini toplayacak olan eşanjör, yataklanarak Şekil 3.1.'de görüldüğü gibi montajlanmıştır.

3.1.1. Parabolik Oluklu Güneş Kollektörü Tasarımı

Parabolik oluklu güneş kollektörü imalatının en önemli kısmı parabol geometrisinin, odaklama işlevini yerine getirebileceği şekilde tasarlanmasıdır. Parabolik oluklu güneş kollektörü tasarımı, matematiksel modelleme yapmada kullanılacak denklemlerin referans olarak kullanılması ve bu denklemlere bağlı kalınarak tasarlanması ile mümkündür. Parabol tasarımında kullanılan denklemler aşağıda verilmiştir (Duffie ve Beckman 2005).

$$y^2 = 4fx \tag{3.1}$$

Tasarlanan parabolün denklemi aşağıda verilmiştir.

y : parabol açıklığı
x : parabol yüksekliği
f : parabolün odak noktası

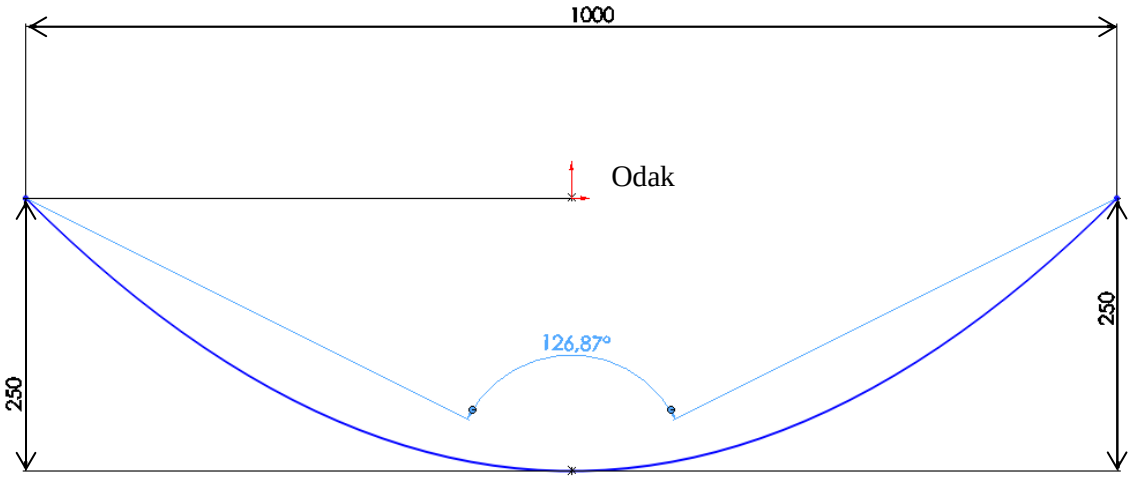
x değerinin önündeki katsayı 1000 olduğundan, f değeri 250 mm bulunur. Deney sisteminin odak mesafesi, parabolün merkezinden 250 mm uzaktadır.

Çizelge 3.1. Parabol denklemi ile elde edilen koordinatlar

x (mm)	y (mm)	x (mm)	y (mm)	x (mm)	y (mm)	x (mm)	y (mm)	x (mm)	y (mm)
10	100.0	60	244.9	110	331.7	160	400.0	210	458.3
20	141.4	70	264.6	120	346.4	170	412.3	220	469.0
30	173.2	80	282.8	130	360.6	180	424.3	230	479.6
40	200.0	90	300.0	140	374.2	190	435.9	240	489.9
50	223.6	100	316.2	150	387.3	200	447.2	250	500.0

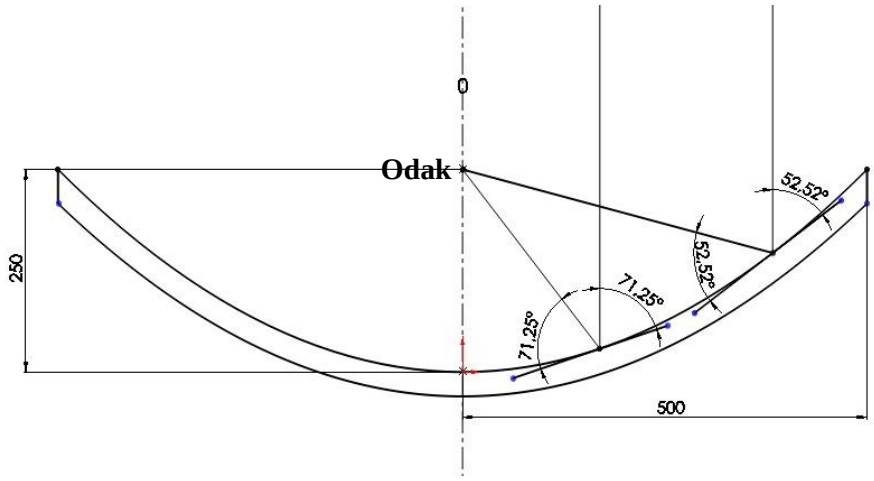
Çizelge 3.1.'de tasarlanan parabolün koordinat değerleri verilmiştir. Denklemde x değeri yerine yazıldığında y değeri bulunmuştur. x'e verilen değerler 10 mm hassasiyette olup parabolün koordinatları belirlenmiştir. Çizelge 3.1.'deki veriler kullanılarak Solidworks bilgisayar destekli program aracılığıyla parabol geometrik

olarak çizilmiştir. Şekil 3.1.'de görüldüğü gibi açıklık 1000 mm, yükseklik 250 mm ve odak noktası 250 mm mesafededir.



Şekil 3.2. Deney sistemindeki parabolün ölçüleri

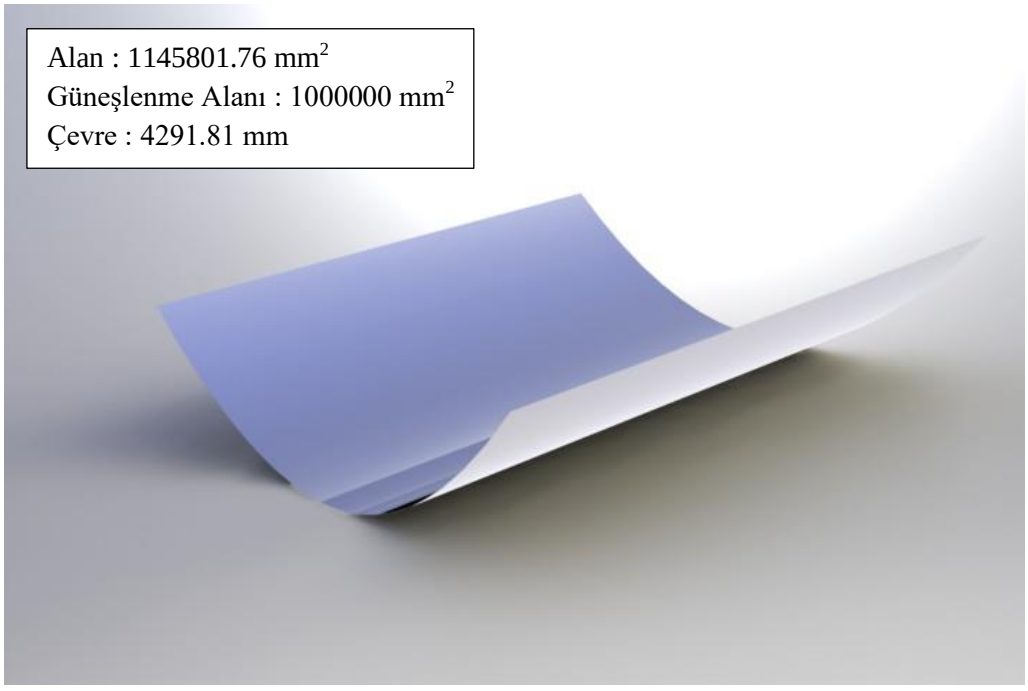
Şekil 3.2.'de çizilen parabolün odak noktasında ışınları toplayabildiğinin geometrik ispatı Şekil 3.3.'de gösterilmiştir. Parabolün açıklığına dik düşen ışınlar aynı açı ile yansıması gerekmektedir. Parabolün açıklığına dik düşen ışınlar aynı açı ile yansıması neticesinde odak noktasında toplanmaktadır. Parabolün iki ayrı noktasına düşen ışınlar, geldikleri noktanın teğetiyle aynı açıyı yaparak yansımakta ve odak noktasında toplanmaktadır. 52.52 ° ve 71.25 ° ile gelen ışınlar aynı açıyı yaparak yansıdıkları ve odak noktasında toplandıkları görülmektedir. Bu çizim parabolün ve odak noktasının tasarımının geometrik olarak doğruluğunu göstermektedir.



Şekil 3.3. Parabolün gelen ışınları odak noktasında toplaması senaryosu

Şekil 3.3.'de görüldüğü üzere parabolik oluk formundaki yansıtıcı yüzeye gelen tüm güneş ışınları geldikleri açıyı yaparak yansıyıp odak noktasında toplanacaktır. Yansıtıcı yüzeye gelen güneş ışınımı miktarınca enerji odak noktasında toplanacaktır. Yansıtıcı yüzey alanı 1145801.8 mm^2 olarak Şekil 3.4.'de verilmiştir. Ancak yansıtıcı yüzeye parabolik form verildikten sonra iz düşüm alanı miktarınca güneş ışınımı sönümleyecektir. Tasarım aşamasında yansıtıcı yüzey, parabolik form verildikten sonra iz düşüm yüzey alanı 1 m^2 olacak şekilde hesaplanmıştır.

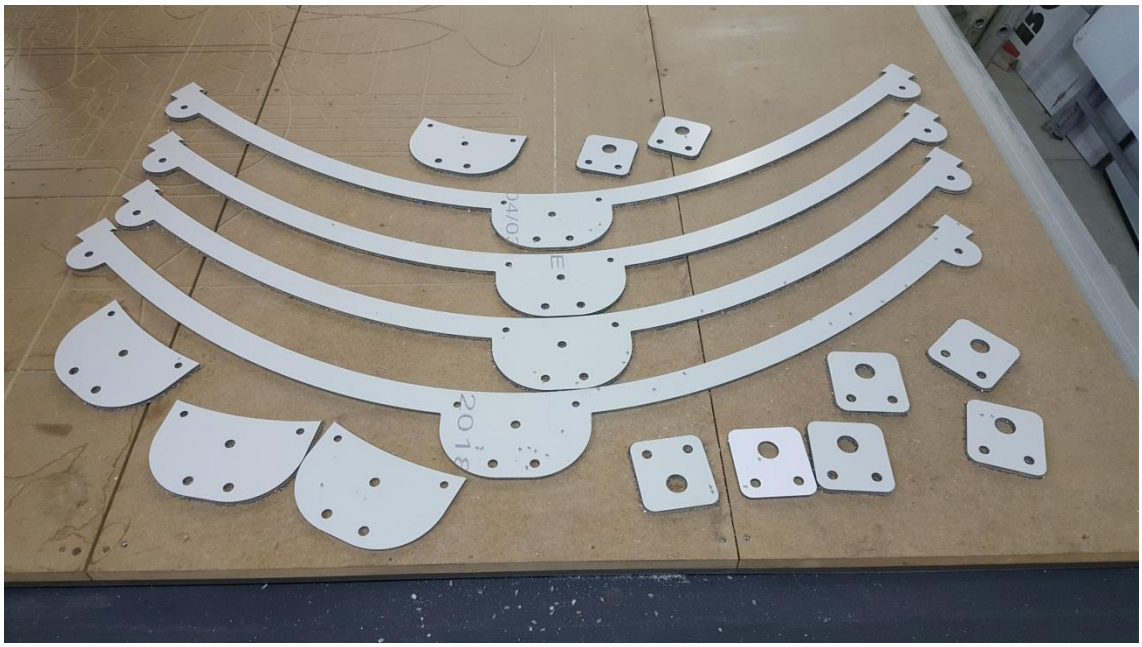
Yansıtıcı yüzeye parabolik form verilmeden önce, düzlemsel olarak yansıtıcı yüzey ölçüleri 1000 mm x 1143 mm olarak hesaplanmıştır. Çevresi 4291.81 mm ve yüzey alanı 1145801.76 mm^2'dir. Bu boyutlardaki düzlemsel yansıtıcı yüzeyin parabolik form verildikten sonraki iz düşüm yüzey alanı 1000000 mm^2 olmuştur. Bu geometrik tasarım, metre kare başına düşen ışınım hesaplanması ve diğer hesaplamalar için standart bir güneş ışınım alanı sağlamıştır.



Şekil 3.4. Parabol formundaki yansıtıcı yüzey boyut bilgileri

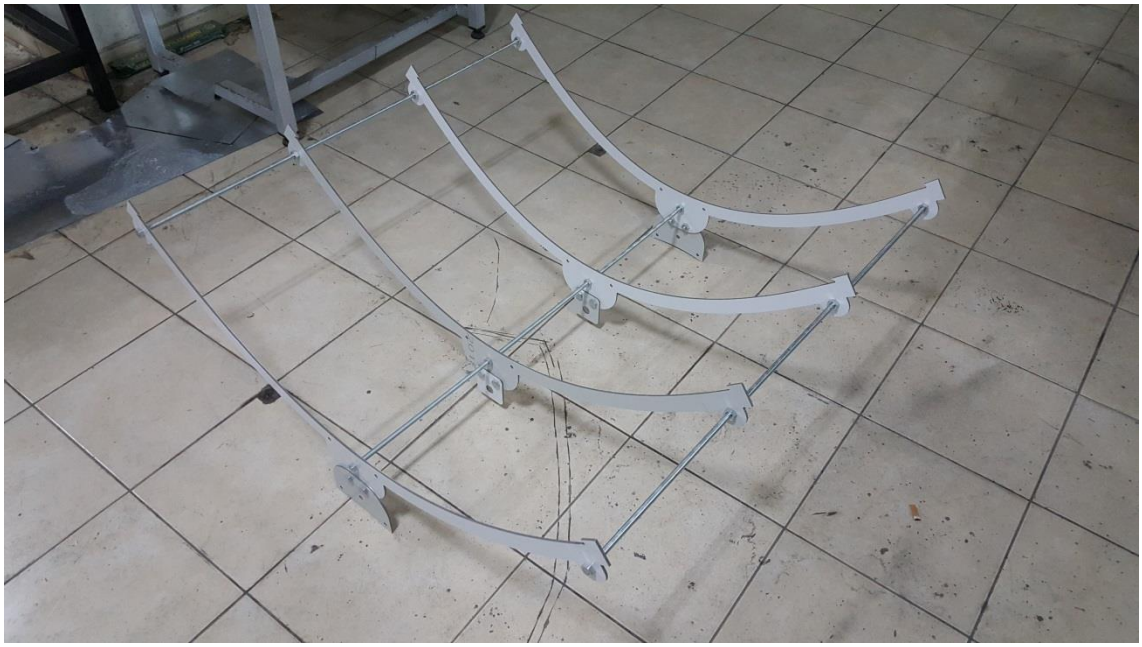
Yansıtıcı yüzeyin hesaplamalar neticesinde bu boyutları alması güneş ışınımı ölçüm cihazı olan piranometrenin metre kare başına düşen ışınımdaki standardın yakalanmasını sağlamış olup hesaplamaları kolaylaştırmıştır. Şekil 3.4.'de parabolik formu vermesi için bilgisayar destekli çizim kullanılarak, bilgisayar destekli üretim

tezgâhında alüminyum kompozit malzemeden parabolik oluk şasesi üretilmiştir. Parabolik oluk şasesi, bağlantı noktaları, yataklama konum delikleri ve yansıtıcı yüzeyin tam olarak parabol denklemindeki geometriyi yakalaması için kert oyukları ile birlikte Şekil 3.5.'de görüldüğü gibi üretilmiştir.



Şekil 3.5. Parabolik oluk şase parçaları

Şekil 3.5.'de parçalar üretildikten sonra, saplama, cıvata ve üretilen tutturma parçaları montajlanarak Şekil 3.6.'da verilmiş olan parabolik konstrüksiyon elde edilmiştir.



Şekil 3.6. Parabolik oluk montajlı şasesi

Parabolik oluk montajlı şasesi parabol yay uzunluğu ile yansıtıcı yüzey uzunluk ölçüleri aynı olduğundan yansıtıcı yüzey parabolik yay üzerine tam oturmuştur. Böylece parabolik denklemi doğrulayan parabolik form elde edilmiştir.

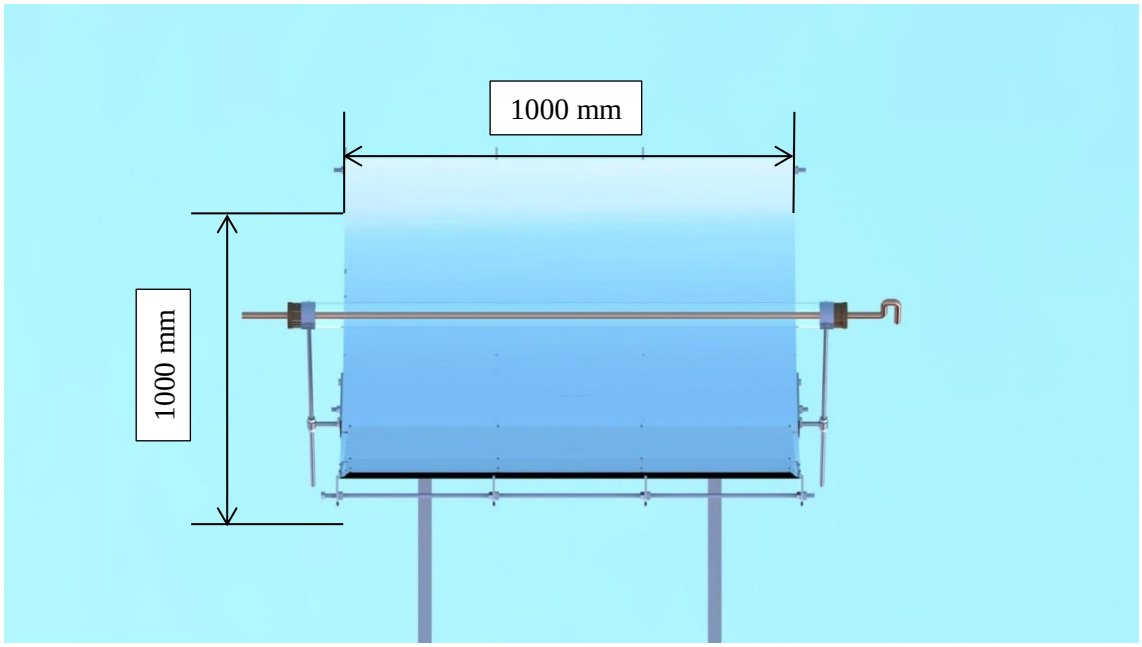


Şekil 3.7. Yansıtıcı yüzeyin parabolik oluk yay geometrisini yakalaması

Yansıtıcı yüzeyin parabolik formu aldığı Şekil 3.7.'de görülmektedir. Yansıtıcı yüzey, parabolik yayın kertleri arasına kıstırılarak sabitlenmiş ve parabolik yayın şeklini almıştır.

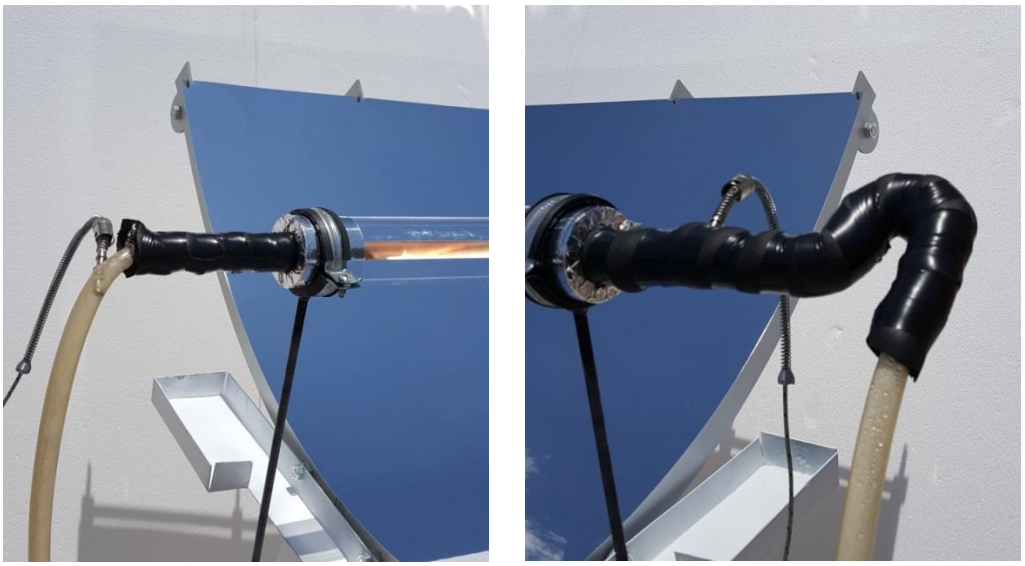
3.1.2. Parabolik Oluklu Güneş Kollektörü Deney Düzeneği

Yapılan tasarım hesaplamaları sonucunda odak noktası belirlenerek, odak borusu yataklanmıştır. 1200 mm boyunda, 50 mm çapında ve 4 mm et kalınlığına sahip borosilikat şeffaf cam boru içerisine yerleştirilen toplayıcı borunun çevreye taşınımla olan ısı transferi önlenmiştir.



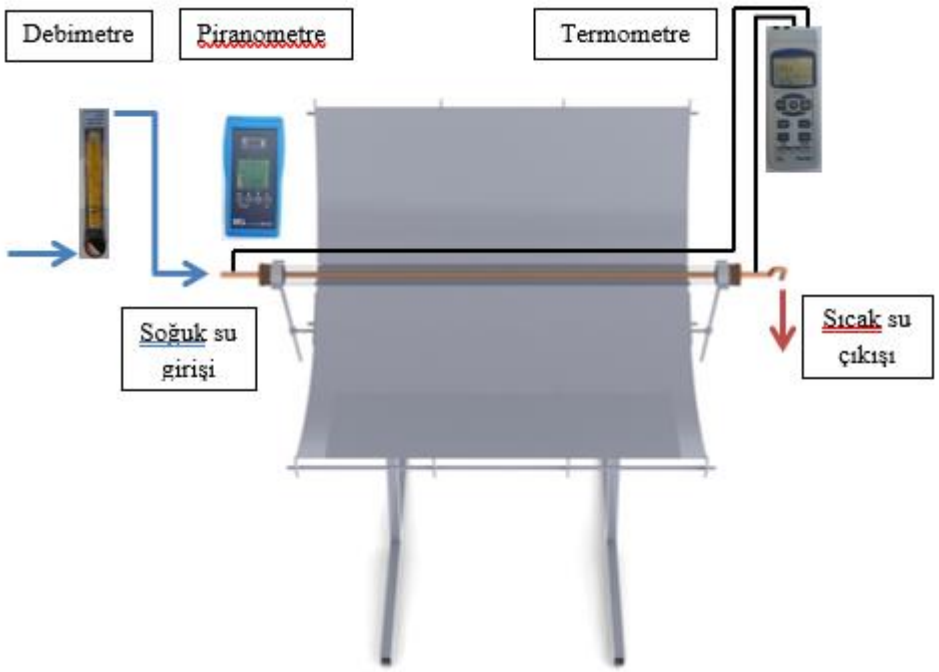
Şekil 3.8. Çalışmada kullanılan parabolik oluk kolektör ölçüleri

POGK'nün ölçüleri Şekil 3.8.'de verilmiştir. Deney seti düzeneği ve kullanılan ölçüm cihazları ise Şekil 3.10.'da şematik olarak gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi soğuk su odak borusuna giriş ve çıkış yapmaktadır. Bu akış sırasında giren soğuk suyun sistemden kazandığı ısının tespiti için, odak borusunun giriş ve çıkışına Şekil 3.9.'da gösterildiği gibi termokupllar yerleştirilmiştir.



Şekil 3.9. Dijital proplu termometre ile giriş ve çıkış sıcaklıklarının ölçümü

POGK'nün güneş ışınlarını en iyi açıyla alabilmesi için kullanılan Piranometre yardımıyla ölçülerek pozisyon ayarlanmaktadır. Böylece güneş hareketleri, ölçüm cihazının en yüksek değeri yakalaması ile tespit edilerek POGK yönü kuzey-güney doğrultusunda belirlenmektedir.



Şekil 3.10. Deney seti düzeneği ve ölçüm cihazları

3.1.2.1. Yansıtıcı Yüzey

Gelen güneş ışınlarını yansıtarak odak borusunda odaklanmasını sağlayan materyaldir. Çalışmada, POGK'ü için üretilmiş parlak yüzeyli alüminyum yansıtıcı yüzey kullanılmıştır. Malzemenin teknik özellikleri Çizelge 3.2.'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Yansıtıcı yüzey malzeme özellikleri (Almeco teknik döküman)

Ürün adı	Vega 95100 (Almeco)
Malzeme	1090 - Al % 99.99 Saf Alüminyum (EN 573-3)
Yansıtıcılık kalitesi (%)	95
Kalınlık (mm)	0.3
Boyutlar (mm)	1143 x 1000

Malzemenin kalınlığı 0.3 mm olduğu için parabolik forma girebilme özelliğine sahiptir. Yansıtıcı yüzey parabolik yayların üzerine yerleştirilerek yayların uç kısmında bulunan kertlerle sabitlenmiştir. Böylece malzemeye parabolik form verilmiştir.

Yansıtıcı yüzey odaklama yapabilmesi için parabolik yaylar üzerine monte edilmiştir. Böylece güneş ışınlarının odak noktasında yoğunlaştığı Şekil 3.11.'de görülmektedir.



Şekil 3.11. Alüminyum yansıtıcı yüzeyin odaklayarak yansıtıcılığı

3.1.1.2. Odak Borusu

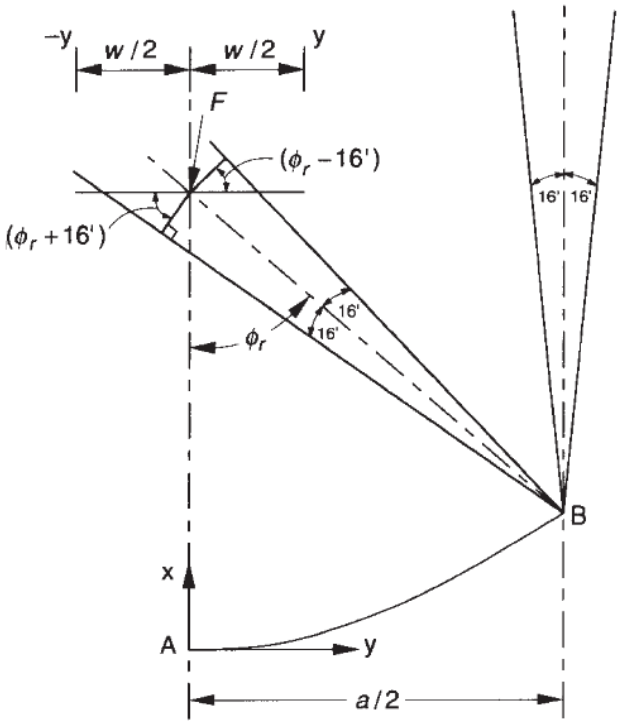
Odak borusu olarak alüminyum ve bakır olmak üzere iki farklı malzemeden üretilmiş odak borusu kullanılmıştır. Odak borusunun malzeme seçiminin verim üzerindeki etkisini belirlemek için iki farklı malzeme kullanılmıştır. Parlak yüzeyin yansıttığı güneş ışınları odak borusunda toplanmaktadır. Mükemmel bir tasarıma sahip parabolik oluklu güneş kollektör için, alıcının tüm güneş ışınımını sönümleyecek boyutu hesaplanabilir. Silindirik bir alıcının çapı D aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Duffie ve Beckman 2005).

$$D = 2r_r \sin\theta_c = \frac{a \sin\theta_c}{\sin\varphi_r} \tag{3.2}$$

$$\varphi_r = \sin^{-1}\frac{a}{2r_r} \tag{3.3}$$

Yansıtıcı yüzeyin yansıttığı güneş ışınları odak noktasında dairesel olarak yoğunlaşmaktadır. Yukarıda verilen denklem kullanılarak, dairesel olarak yoğunlaştırılan güneş ışınlarının kesit alan çapı hesaplanabilmektedir.

Parabol tasarımı yapılırken, boyut tespitleri yapılmıştır. Bu boyut değerleri kollektörün genel tasarımını da belirlemiştir. Şekil 3.15.'de yarım açı geometrik gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.12. Odaklanma çapı ile ilgili geometrik açılar (Duffie ve Beckman 2005)

a : Açıklık, 1 (m)

r_r : Maksimum parabol kol uzunluğu, 0.5 (m)

θ_c : Yarım açı (0.27°)

φ_r : AFB açısı

$$\varphi_r = \sin^{-1}\left(\frac{1\ m}{2\ x\ 0.5\ m}\right) = 90°$$

$$D = 2\ x\ 0.5\ m\ x\ \sin(0.267) = \frac{1\ m\ x\ \sin(0.27^0)}{\sin(90^0)} = 0.0047\ m$$

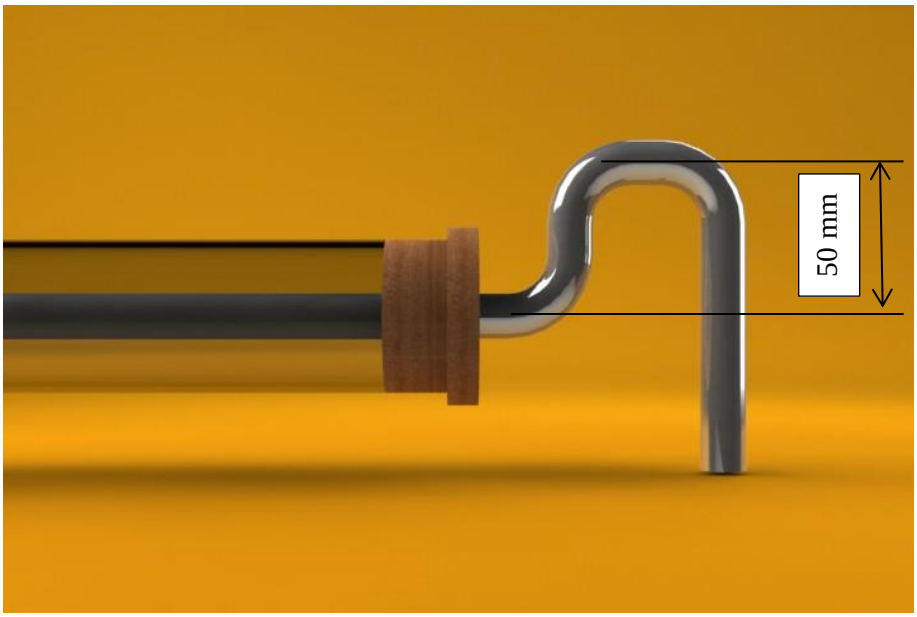
Yukarıda verilen denklem kullanılarak odak noktasında yoğunlaşan güneş ışınları kesit alan çapı, 4.66 mm olarak hesaplanmıştır. Ancak, güneş ışınlarının odaklanırken bozulma durumu, tasarımda meydana gelebilecek hatalar ve çevre şartları göz önünde bulundurularak, boyutları 15 mm dış, 13 mm iç çap, et kalınlığı 1 mm ve uzunluğu 1200 mm olan, standart ölçülerde alüminyum ve bakır boru kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan odak borusu bakır ve alüminyum malzemeden üretilmiştir. Bakır ve alüminyum malzemeden imal edilmiş odak boruları 15 mm dış, 13 mm iç çap, 1 mm kalınlık ve 1200 mm uzunluğa sahiptir. İki farklı deney setinde, aynı ölçülere sahip olan farklı malzemelerin odaklanan güneş ışınlarını suya aktarma kabiliyetleri gözlemlenmiştir.



Şekil 3.13. Bakır ve alüminyum malzeme odak borusu

Odak borusunun giriş ile çıkışı arasında bükümler ile kot farkı oluşturulmuştur. Kot farkının oluşturulması borunun bütün iç yüzeyinin akışkan ile kaplanmasını ve temasını sağlamaktadır.



Şekil 3.14. Odak borusu kot farkı

Yapılan bu kot farklı tasarım sayesinde akışkan ile odak borusu arasında meydana gelecek olan ısı transferi iyileştirilmiştir. Böylece akışkan tarafından sönümlenecek olan ısının, daha az kayıpla akışkana transfer edilmesi hedeflenmiştir.

3.1.1.3. Şeffaf Cam Tüp

Çalışmada ısıya karşı dayanıklı, yüksek sıcaklıklarda çalışma kabiliyetine sahip borosilikat şeffaf cam tüp kullanılmıştır. Odak borusunda odaklanan güneş ışınlarının depoladığı ısı enerjisinin çevreye transfer edilmesini engelleyerek yalıtım görevini şeffaf cam tüp sağlamaktadır.



Şekil 3.15. Şeffaf borosilikat cam tüp

3.1.3. Ölçüm Cihazları

3.1.3.1. Isıl Değerlerin Belirlenmesi

Deney çalışması sırasında sıcaklık ölçümleri Şekil 3.16.'da verilmiş olan dijital termometre ve çift proplu termokupl ve Şekil 3.17.'de verilmiş olan kızılötesi termometre ile yapılmıştır. Sisteme giren ve çıkan suyun sıcaklığını ölçebilmek için odak borusunun giriş ve çıkış bölümüne proplar yerleştirilmiştir. Sıcaklık değerleri dijital termometreye bağlı sensörler ile ekranda okunmuştur.



Şekil 3.16. Dijital Termometre ve Termokupllar

Dijital termometreye ait teknik özellikler Çizelge 3.3.'de verilmiştir. Dört kanal girişli Lutron TM-946 modern dijital termometre, akışkanın giriş ve çıkış sıcaklık değerlerindeki değişimleri aynı anda aynı ekranda okuyabilme olanağı tanımaktadır.

Çizelge 3.3. Dijital termometre teknik özellikler

K / J, PT100 Ohm
K tipi: -100 ile 1300 °C
Çözünürlük: 0.1 °C / °F

Kızılötesi termometre, temas ile sıcaklık ölçme olasılığı olmayan yüzeylerin sıcaklıklarının belirlenmesinde kullanılmıştır. Şeffaf cam boru içerisinde bulunan odak borusunun sıcaklık ölçümü yapılarak sistem kontrol edilmiştir.



Şekil 3.17. Kızılötesi termometre

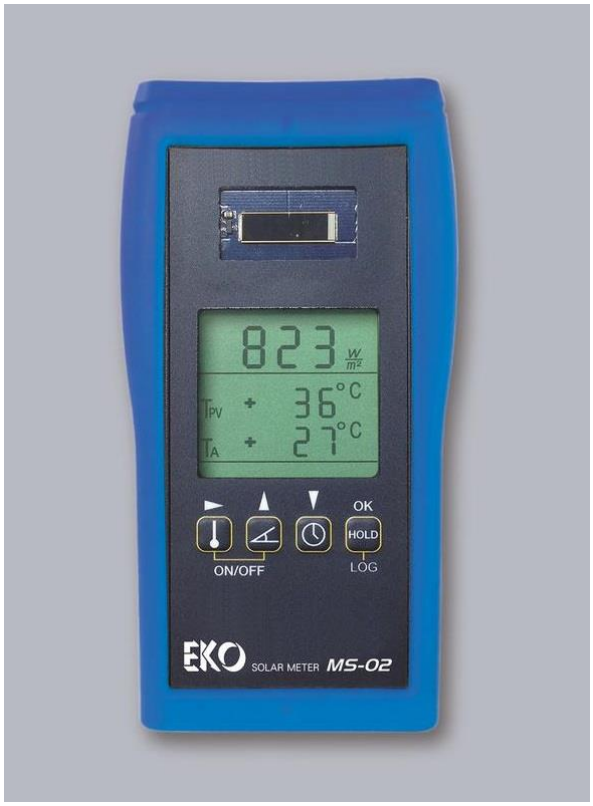
Kızılötesi termometre, akışkanın giriş ve çıkış sıcaklıklarının Testo 831 dijital termometre ile ölçümünün doğruluğunu teyid etmek amacıyla da kullanılmıştır. Ancak dijital termometre, akışkan ile temas ederek daha doğru sonuçlar yakalarken, kızılötesi termometre, yansımalardan kaynaklanan kayıplar ve kızılötesi ışınların farklı renklerdeki yüzeylerden farklı dalga boyutları ile yansıması, küçük hata payları ile sonuç verebilmektedir. Bu nedenle ihtiyaç doğrultusunda, doğru ölçüm için uygun termometre kullanılarak, bu sorunların önüne geçilmiştir.

Çizelge 3.4. Kızılötesi termometre

Ölçüm aralığı	-30 … +210 °C
Doğruluk	±1.5 °C ya da ± % 1.5 ölçülen değerin (-20 - +210 °C)
İnfrared çözünürlük	0.1 °C
Koruma sınıfı	IP30
Ölçüm hızı	0.5 s

3.1.3.2. Güneş Radyasyonunun, Zenit ve Azimut Açı Değerinin Belirlenmesi

Güneş ışınım miktarını tespit edebilmek, sistemin pozisyonunu ve açılarını belirleyebilmek için Piranometre cihazı kullanılmıştır. Deney setinin her iki yanında konumlandırılmış olan Piranometre taşıyıcı aparatlar, ölçüm sırasında Piranometrenin sistem ile aynı açıda kalmasını sağlamıştır. Böylece sistemin güneşin hareketine bağlı olarak pozisyon değiştirmesi neticesinde açılarda ve güneş ışınımında meydana gelen değişimler Piranometre aracılığıyla belirlenmiştir.



Şekil 3.18. Piranometre

Açıya bağlı olarak, Şekil 3.18.'de görüntüsü verilmiş olan Piranometre metre kare başına düşen güneş ışınımını ölçerek anlık veri alınmasını sağlamaktadır. Çizelge 3.5.'de verilmiş olan teknik özelliklerde görüldüğü üzere, 1 W/m^2 hassasiyetle ölçüm yapmaktadır.

Çizelge 3.5. Piranometre teknik özellikleri

Teknik Özellikler	EKO Solar Meter MS-02
Işınım Görüntü Aralığı	0 - 1500 W/m^2
Işınım ölçüm aralığı	100 - 1250 W/m^2
Işınım Çözünürlüğü	1 W/m^2
Sıcaklık ölçüm aralığı	-30 - 125 °C
Sıcaklık çözünürlüğü	1 °C
Pusula yatağı ölçüm aralığı	0 - 360 °
Pusula rulman çözünürlüğü	1 °
Eğim ölçeği ölçüm aralığı	0 - 90 °
Eğim ölçeği çözünürlüğü	1 °

3.1.3.3. Debinin Belirlenmesi

Akışkanın hacimsel debisi, rotametre ölçüm cihazı ile tespit edilmiştir. Rotametre, Şekil 3.19.'da görüldüğü gibi şeffaf bir cam tüpten oluşmaktadır. Ölçüm esnasında, şeffaf cam tüp içerisinde bulunan şamandranın konumu, hacimsel debi değerini vermektedir.



Şekil 3.19. Debi ölçer (rotametre)

Ölçüm esnasında akışkanın sisteme girdiği hat, rotametrenin giriş kanalına bağlanır. Akışkan giriş kanalından girerek şamandırayı kaldırmaya çalışır. Çıkış kanalından çıkarak istenen debi ile sisteme girer. Akışkanın hangi debide akması isteniyorsa, akış vanasından ayarlanarak tespit edilir. Ayarlanmak istenen debi değeri ile şamandıra düşey doğrultuda eşleştirilerek istenen akış sağlanır.

3.2. Metot

Mühendislik çalışmalarında işlemler, deneysel yöntemlerle veya matematiksel hesaplamalarla incelenebilir. Çalışmalar, matematiksel olarak incelendiğinde sonuçlandırılması hızlı ve maliyetsiz olmasına rağmen, varsayım ve yaklaşımlara dayalı olması hata payı doğurabilmektedir. Ancak, çalışmaların deneysel olarak incelenmesi uzun süreli ve maliyetli olmasına rağmen, daha tahlili ve fiili olduğundan sonuçlar ölçülerek belirlenmektedir. Çalışmaların deneysel olarak incelenmesi, deney sırasında yapılan hatalar, dezavantaj oluşturmaktadır. Ancak deneyin tekrar edilmesi, bu hataların tespit edilip önüne geçilmesini sağlamaktadır.

Bu çalışmada, tasarımı yapılmış, parabolik oluklu güneş kollektörü kullanılarak, odak noktasında güneş ışınlarının yoğunlaştırılması ile ısı enerjisi elde edilmesi ve bu ısının akışkana aktarılması amaçlanmıştır. Bakır malzeme odak borulu ve alüminyum malzeme odak borulu olmak üzere, iki farklı deney seti kullanılarak ölçümler yapılacaktır. Yapılacak olan ölçümlerde beş farklı debi kullanılacaktır. Çalışmada, iki farklı deney seti için, beş farklı debide, yansıtıcı yüzeye gelen güneş ışınım miktarı, deney setinin pozisyonu ve akışkanın sisteme giriş ve çıkış sıcaklığı ölçülecektir. Akışkana aktarılan ısı miktarı termodinamiğin birinci kanununa göre hesaplanacak ve sistemin ısıl verimi belirlenecektir.

3.2.1. Yoğunlaştırıcı Güneş Kolektörleri ile İlgili Kavramlar

Parabolik oluklu güneş kolektörlerin termal verim hesaplamalarında kullanılan tanımlar, parametreler, kullanılabilir enerjinin belirlenmesi için gerekli matematiksel bağıntılar ve sistemin performansını etkileyen parametreler ele alınacaktır. Sistem verimliliğine etkiyen yapısal veya çevresel etkenler listelenecektir. Bu toplayıcıların nasıl çalıştığını anlamak için, yoğunlaştırıcıların optik özelliklerini ve görüntülerini

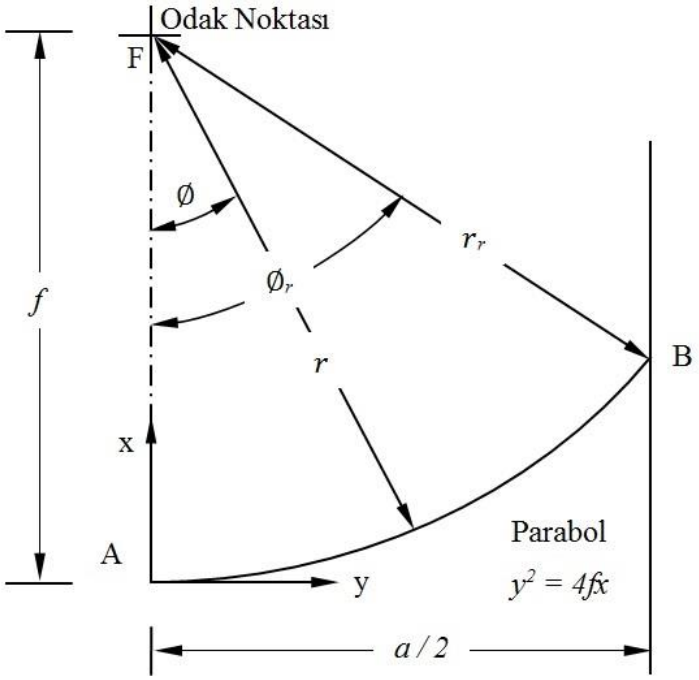
(odaklandıkları güneş ışınımı akışının dağılımı) tanımlamak gerekir (Duffie ve Beckman 2005).

3.2.1.1. Parabolün Denklemi

Parabolün denklemi,

$$y^2 = 4fx \tag{3.4}$$

Açıklık a'dır. Odak uzaklığı (odak noktasından tepe noktasına olan mesafe) f'dir.



Şekil 3.20. Parabolik oluk geometrisi (Duffie ve Beckman 2005)

Uygulamada, görüntüler genellikle iyi tanımlanmış sınırlara sahip değildir ve genellikle yansıtıcı radyasyonun tümünden daha az etkileyebilecek bir alıcı kullanmak daha iyi sonuçlar verir. Uzun vadeli toplayıcı performansını optimize etmek için artan alanla artan termal kayıplar ile azalan alanla optik kayıpların artması arasında bir denge kurmak gerekir. Bu optimizasyon problemi çok çeşitli koşullar için optimum boyuttaki alıcının olası radyasyonun % 90 ile % 95'ini yakalayacağı sonucuna varılmıştır.

Böylece bu tip kolektörde % 5 ile % 10 aralığında bir optik kayıp meydana gelecektir (Duffie ve Beckman 2005).

3.2.1.2. Enerji Analizi

Parabolik oluklu güneş kollektörlerinde akışkana aktarılan faydalı ısı ($\dot{Q}_u$) şu şekilde hesaplanır (Kalogirou 1996; Erdoğan ve ark. 2017);

$$\dot{Q}_u = F_R.[I.\rho.\gamma.\tau.\alpha.K.A_a - A_r.U_L.(T_i - T_a)] \tag{3.5}$$

(4) Eşitliğindeki ρ, γ, τ, α ve K parametreleri Çizelge 3.6.'da verilmiştir.

$$F_R = \frac{\dot{m}.C_p}{A_r.U_L}\left[1 - exp\left(-\frac{U_L.F'.A_r}{\dot{m}.C_p}\right)\right] \tag{3.6}$$

$$F' = \frac{\frac{1}{U_L}}{\frac{1}{U_L}+\frac{D_o}{h_{fi}D_i}+\left(\frac{D_o}{2k}.\ln\frac{D_o}{D_i}\right)} \tag{3.7}$$

$$h_{fi} = \frac{Nu.k_{fi}}{D_i} \tag{3.8}$$

Nu, odak borusundaki akan akışkanın Nusselt sayısıdır. Akış laminer ise (Reynolds sayısı < 2300) Nusselt sayısı 4.364 değer alınabilir (Erdoğan ve ark. 2017). Parabolik oluklu güneş kollektörünün ısı kaybı katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$U_L = \left(\frac{A_r}{(h_{c,g-a}+h_{r,g-a})A_g} + \frac{1}{h_{r,r-g}}\right)^{-1} \tag{3.9}$$

Sistemin ısıl verimi (η), faydalı enerjinin absorbe edilen güneş enerjisine oranı olarak tanımlanır.

$$\eta = \frac{Q_u}{A_a I} \tag{3.10}$$

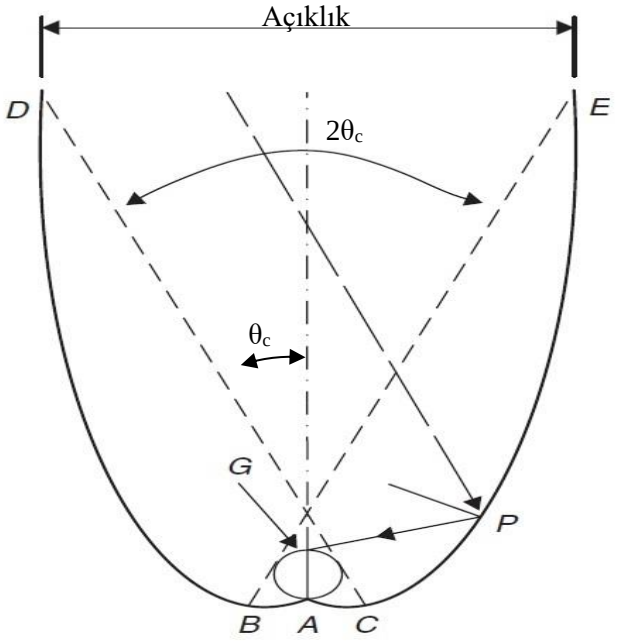
Burada A_a, metre kare cinsinden parabolik yüzeyin açıklık alanıdır ve I, W/m^2 cinsinden gelen güneş ışınımıdır.

Çizelge 3.6. Parabolik oluklu güneş kolektörü ile ilgili hesaplamalarda kullanılan değerler

Parametreler	Değerler
ρ	0.95
γ	1
τ	0.96
α	0.95
K	0.98

3.2.1.3. Açıklık Alanı (A_a)

Güneş ışınımının sisteme girdiği yansıtıcı yüzeyin iz düşüm alanıdır. Şekil 3.21.'de görüldüğü gibi parabolün kolları arasında kalan mesafe parabol açıklığını oluşturur. Parabol açıklığı, kollektörün uzunluğu ile işleme alındığında açıklık alanını oluşturur (Kalogirou 2009).



Şekil 3.21. POGK'nün parabol açıklığı şematik gösterimi (Kalogirou 2009)

3.2.1.4. Yarım Açı (θ_c)

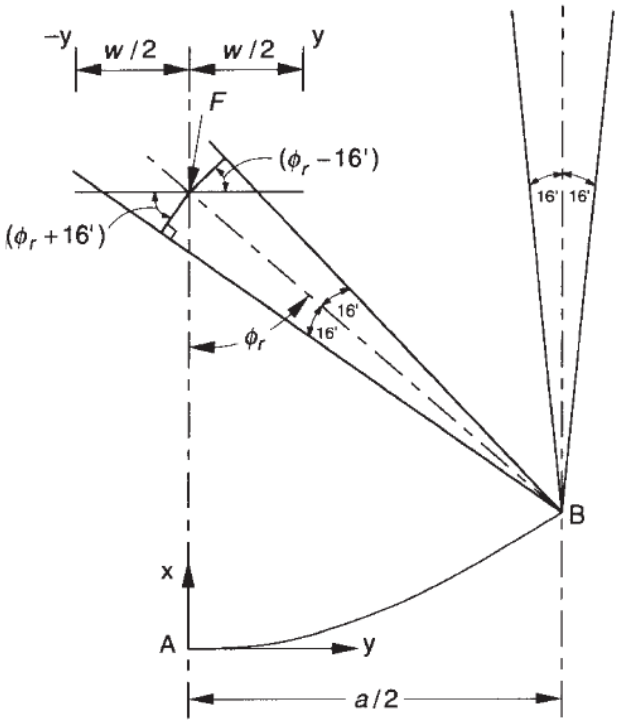
Kollektör yarı kabul açısı olarak adlandırılan θc açısı Şekil 3.21.'de verilmiştir. Işık kaynağının hareket ettirilebildiği ve alıcıda birleştiği açı olarak tanımlanır (Kalogirou 2009). Gelen bir güneş ışınının açısal genişliği 0.53° olan bir konidir (Duffie ve Beckman 2005). Yani yarım açı θ_c, Şekil 3.21.'de görüldüğü gibi 0.27°'ye eşittir (Kalogirou 2009).

3.2.1.5. Alıcı Alanı (A_r)

Mükemmel bir tasarıma sahip parabolik oluklu güneş kollektör için, alıcının tüm güneş ışınımını sönümleyebilmek için gerekli silindirik alıcı boyutu (çapı D) aşağıdaki trigonometrik ifadeler ile hesaplanabilir (Kalogirou 2009).

$$\varphi_r = \sin^{-1}\frac{a}{2r_r} \tag{3.11}$$

$$D = 2r_r \sin 0.27 = \frac{a \sin 0.27}{\sin \varphi_r} \tag{3.12}$$



Şekil 3.22. Doğrusal bir yoğunlaştırıcı için görüntü boyutları (Duffie ve Beckman 2005)

3.2.1.6. Yoğunlaştırma Oranı (C)

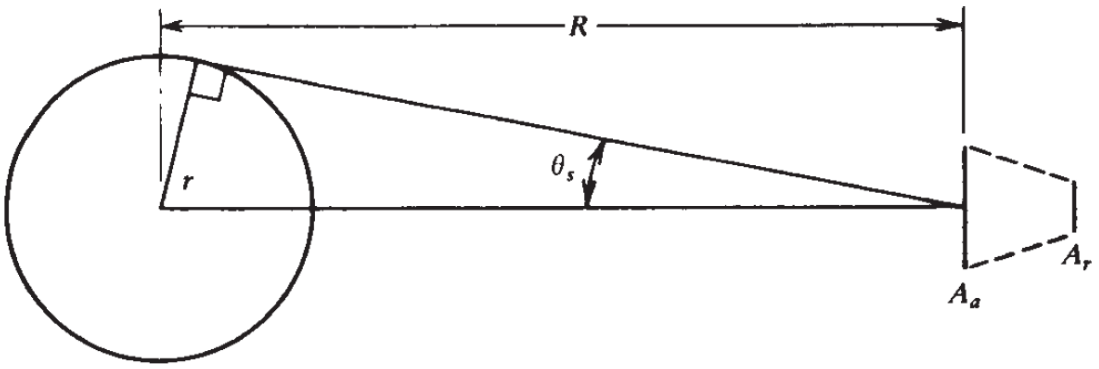
Yoğunlaştırma oranının en yaygın tanımı ve burada kullanılan, bir alan yoğunlaştırma oranı, açıklık alanının alıcı alanına oranıdır. Bir akı konsantrasyonu oranı, alıcı üzerindeki ortalama enerji akısının açıklık açıklığına oranı olarak tanımlanır, ancak genellikle bir alıcının yüzeyi üzerinde enerji akısında önemli değişiklikler vardır. Yerel bir akı konsantrasyonu oranı, alıcı üzerindeki herhangi bir noktadaki akının, alıcı boyunca değişecek olan açıklıktaki orana oranıdır.

Alan konsantrasyon oranı;

$$C = \frac{A_a}{A_r} \tag{3.13}$$

A_a : Açıklık alanı

A_r : Alıcı alanı



Şekil 3.23. Güneş ışınlarının yoğunlaşmasının şematik gösterimi (Duffie ve Beckman 2005)

Açıklık alanı A_a ve alıcı alanı A_r olan bir yoğunlaştırıcıya gelen güneş ışınlarının R mesafesindeki yoğunlaşmasının şematik gösterimi Şekil 3.23.'de gösterilmiştir.

3.2.1.7. Optik verim (η_o)

Odak borusu tarafından sönümlenen enerjinin, kollektör açıklığına gelen güneş ışınım enerjisine oranıdır. Optik verim, kullanılan yansıtıcı yüzey malzemesinin yansıtıcılık kalitesine, kollektörün tasarım ve parabol geometrisinin mükemmelliğine bağlıdır (Sodha ve ark. 1984).

$$\eta_o = \rho\tau\alpha\gamma\left[\left(1 - A_f \tan(\theta)\right)\cos(\theta)\right] \quad (3.14)$$

A_f, açıklık alanının etkili bir şekilde azalmasına sebep olan, geometrik yapı hatasından kaynaklanan yansıtıcı yüzeydeki yansıma kayıplarını ifade etmektedir. θ, güneş ışınlarının yansıtıcı yüzeye geliş açısı olarak ifade edilmektedir (Kalogirou 2009). ρ, τ, α ve γ faktörlerinin değerleri Çizelge 3.6.'da verilmiştir.

3.2.1.8. Anlık Isıl verim

Anlık ısıl verim, kullanılabilir enerjinin absorblanan yüzeye gelen ışınıma oranı olarak şu şekilde tanımlanır;

$$\eta = \frac{Q_u}{A_a I} \quad (3.15)$$

3.2.1.9. Kütlesel Debi

Kütlesel debi, odak borusu içerisinden kilogram cinsinden saniyede geçen akışkan miktarıdır.

$$\dot{m} = \rho\,\dot{V} = \rho V A_k \quad (3.16)$$

3.2.1.10 Ekserji Analizi

Ekserji denklemleri bazı varsayımlar yapılarak yazılabilir. Ekserji oranı dengeleri kinetik ve potansiyel enerji değişiklikleri ihmal edilerek ifade edilebilir; akışın kararlı durum olduğunu varsayarsak, suyun özgül ısısı sabittir (Devecioğlu vd. 2018; Hedayatizadeh vd., 2016; Kalaiarasi vd., 2016).

$$\sum \dot{E}x_{\text{kayıp}} = \sum \dot{E}x_{\text{giriş}} - \sum \dot{E}x_{\text{çıkış}} \quad (3.17)$$

$$\dot{E}x_{\text{kayıp}} = \left(1 - \frac{T_o}{T_s}\right) I A_a - \dot{m}\left[\left(h_ç - h_g\right) - T_o\left(s_ç - s_g\right)\right] \quad (3.18)$$

Burada $\dot{E}x_{\text{kayıp}}$, W cinsinden tersinmezliği gösteren ekserji yıkım hızıdır. Ekserji hesaplamalarında T_o (ölü hal sıcaklığı) ve T_s (güneşin yüzey sıcaklığı) sırasıyla 293 K ve 6000 K olarak kabul edilmiştir. Kollektördeki havanın entalpi (J/kg) ve entropi (J/kg·K) değişimleri sırasıyla Δh ve Δs olarak ifade edilir.

$$\Delta h = h_{\text{ç}} - h_{\text{g}} \tag{3.19}$$

$$\Delta s = s_{\text{ç}} - s_{\text{g}} \tag{3.20}$$

(3.19, 3.20) numaralı denklemler (3.21) numaralı eşitlikte yerine yazıldığında;

$$\dot{E}x_{\text{kayıp}} = \left(1 - \frac{\text{T}_\text{o}}{\text{T}_\text{s}}\right) I A_a - \dot{m}\left[\left(h_{\text{ç}} - h_{\text{g}}\right) - T_o\left(s_{\text{ç}} - s_{\text{g}}\right)\right] \tag{3.21}$$

İkinci yasa verimliliği, yani ekserji verimliliği şu şekilde hesaplanır (Kalogirou 2009):

$$\eta_{\text{EX}} = \frac{\dot{E}x_{\text{ç}}}{\dot{E}x_{\text{g}}} = \frac{\dot{m}\left[\left(h_{\text{ç}} - h_{\text{g}}\right) - T_o\left(s_{\text{ç}} - s_{\text{g}}\right)\right]}{\left(1 - \frac{T_o}{T_{\text{s}}}\right) I A_a} \tag{3.22}$$

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışmada yeni bir parabolik oluklu güneş kollektörü tasarlanmıştır. Kollektörde yansıtıcı yüzey olarak yüzeyi parlatılmış alüminyum yansıtıcı yüzey kullanılmıştır. Odak borusu olarak iş absorbesinin farkını değerlendirmek için bakır boru ve yüzeyi siyah renk boyalı alüminyum boru kullanılmıştır. Tüm deneyler kolektörün yönü güney yapılmıştır. Kollektör her 30 dakikada kuzey-güney yönünde ışınların dik gelmesi için ayarlanmıştır. Deney setinde kollektörün farklı boru malzemeleri ve farklı debiler ile performans analizi yapılmıştır.

4.1. Yoğunlaştırma Oranı (C)

Tasarlanan parabolik oluklu kollektör yoğunlaştırma oranı denklem (12)'de verildiği üzere, açıklık alanının alıcıda yoğunlaşan ışın alanına oranıdır.

A_a : Açıklık alanı $(a\ x\ l)$, $(1x1) = 1\ m^2$

A_r : Alıcı alanı $\left(\left(\frac{\pi\ x\ D}{2}\right) xl\right)$, $\left(\frac{\pi\ x\ 0.0047}{2}\right)\ x\ 1 \cong 0.0073\ m^2$

Buradan yoğunlaştırma oranı,

$$C = \frac{1}{0.0073} \cong 137\ kat$$

4.2. Yapılan Deneyler ve Bulgular

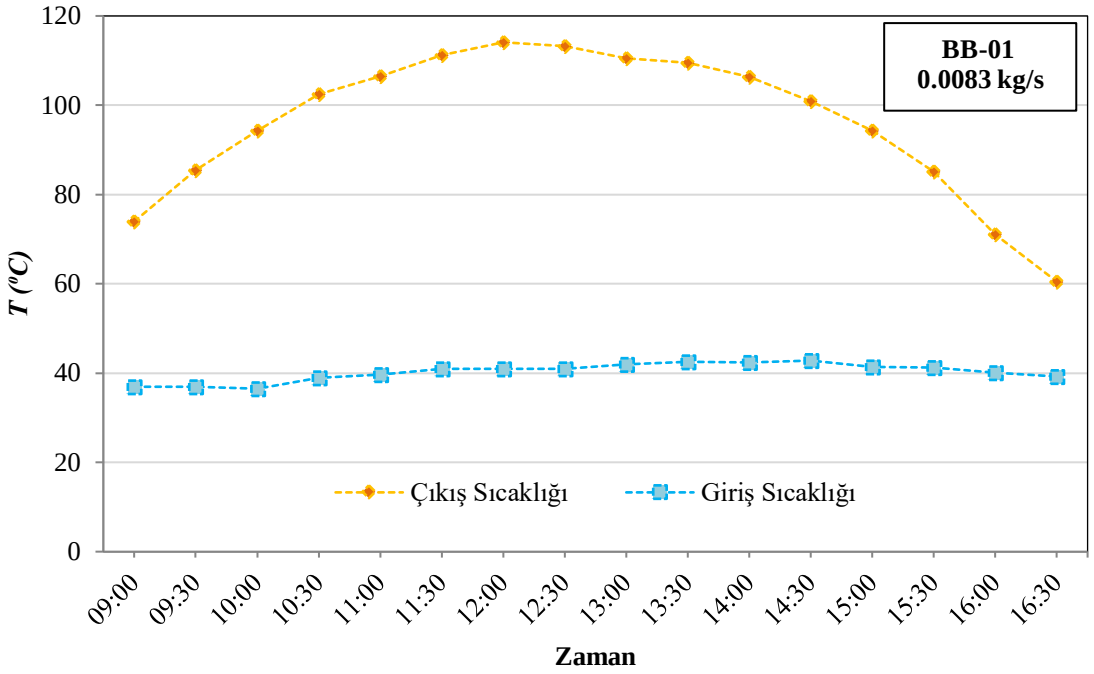
Deneysel çalışma, 19 Temmuz - 3 Ağustos 2019 tarihleri arasında Siirt'te yapılmıştır. Sonuçlar her gün saat 09:00 ile 16:30 arasında her yarım saatte bir kayıt altına alınmıştır. Çalışmada şebeke suyu kullanılmıştır. Odak borusunda toplanan enerjiyi belirlemek için, suyun kütlesel debisi, odak noktasındaki sıcaklık ve suyun yutucuya giriş-çıkış sıcaklığı kaydedilmiştir. Güneşten gelen ışınım miktarını ölçmek için bir Piranometre kullanılmıştır. Böylece güneşten elde edilen enerji girdisi hesaplanmıştır. Pusula verileri olan eğim açısı ölçümü ve güney yönü tespiti de Piranometre ile belirlenmiştir. Bu bilgilerle sistemin genel verimi hesaplanmıştır.

Debiler, debimetre ile ölçülmüştür. Deneylerde, 0.0017 kg/s, 0.0033 kg/s, 0.0050 kg/s, 0.0067 kg/s ve 0.0083 kg/s debide çalışılmıştır. Bakır ve alüminyum odak borulu deney setlerinde Çizelge 4.1.'de görüldüğü gibi 5'er debi olmak üzere, toplamda 10 farklı deney yapılmıştır.

Çizelge 4.1. Deney tipleri

Deney Kodu	Odak Borusu Malzemesi	Debi (kg/s)
BB – 01	Bakır	0.0017
BB – 02	Bakır	0.0033
BB – 03	Bakır	0.0050
BB – 04	Bakır	0.0067
BB – 05	Bakır	0.0083
AB – 01	Alüminyum	0.0017
AB – 02	Alüminyum	0.0033
AB – 03	Alüminyum	0.0050
AB – 04	Alüminyum	0.0067
AB – 05	Alüminyum	0.0083

Sıcaklık dijital proplu termometre ile giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçülmüştür. Sistemin su giriş ve çıkışı, çevreye ısı kaybı olmaması için yalıtılmıştır. Giriş sıcaklığı akışkan sisteme girmeden, sistemin girişine en yakın noktadan prop yardımıyla ölçülmüştür. Çıkış sıcaklığı ise, yalıtım içerisine gömülü prop aracılığıyla sistemin çıkış noktasına en yakın noktadan ölçülmüştür. Kızılötesi termometre kullanılarak ölçümler doğrulanmış ve absorber sıcaklığı ölçülmüştür.



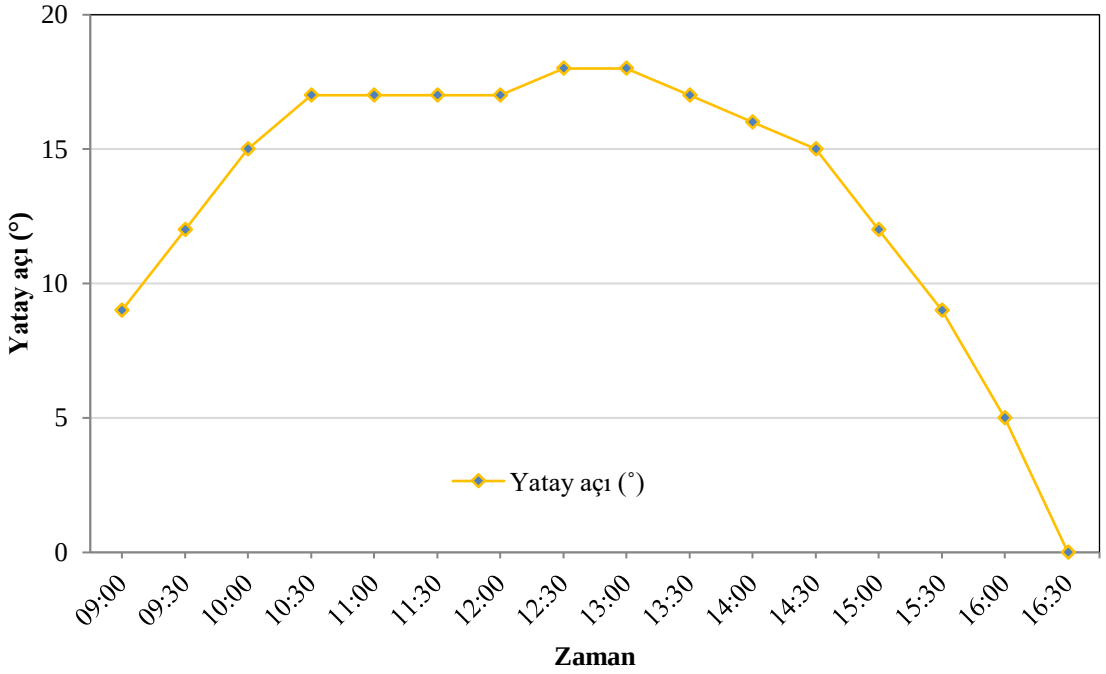
Şekil 4.1. BB-01 0.0083 kg/s debide sisteme suyun giriş ve çıkış sıcaklıkları

Güneş ışınım değerleri Piranometre ile belirlenmiştir. Piranometre yardımıyla güney yönü tespit edilmiştir. Böylece sistem güney yönüne dönük olarak deneyler yapılmıştır. Çizelge 4.2.'de gün içinde deney setinin pozisyon açı değerleri verilmiştir. Deney setinin yatayla yaptığı açı, gün içinde değişkenlik göstermektedir.

Çizelge 4.2. Deney setinin normali yakalamak için yatayla yaptığı açı

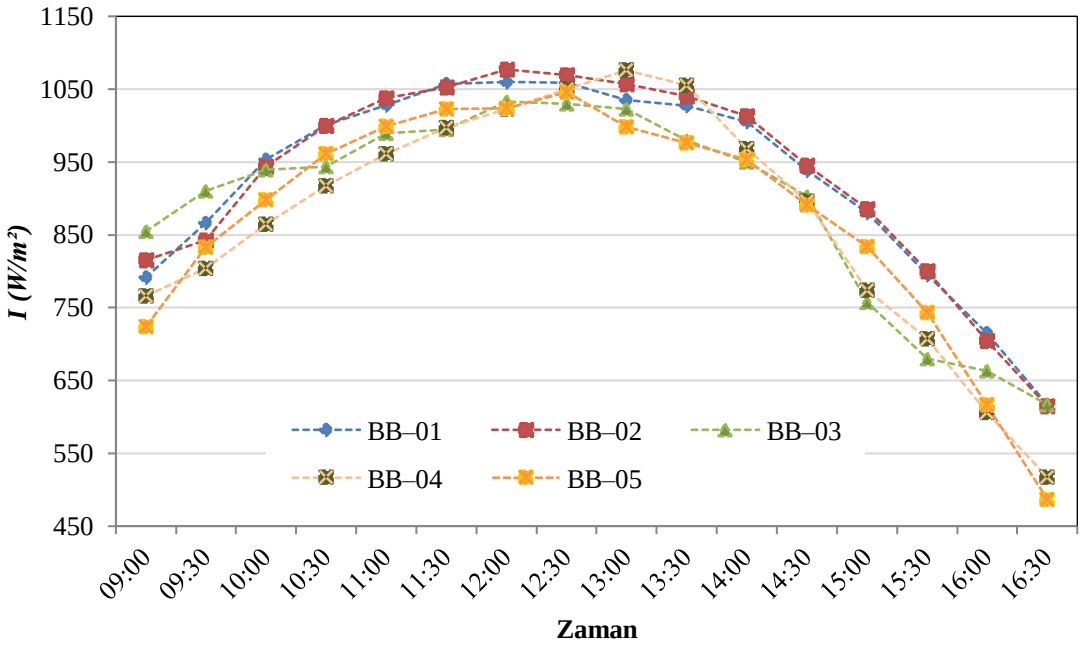
Saat	09:00	09:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30
Yatay açı (°)	9	12	15	17	17	17	17	18	18	17	16	15	12	9	5	(-) 3

Sistemde, yansıtıcı yüzeyin merkez düzlemine güneş ışınlarının dik düşmesini sağlamak gerekmektedir. Yansıtıcı yüzeyden yansıyan güneş ışınlarının odak borusunda toplanması ancak yansıtıcı yüzeye gelen ışınların sistemin düzlemine dik düşmesiyle mümkündür. Güneş ışınlarının yansıtıcı yüzeye dik düşmesini sağlamak için sistem set edilmektedir. Bu açı değişikliği, sistemin yarım saatte bir ölçüm yapılacağı sırada set edilmesinden kaynaklanmaktadır. Öğle 10:30 - 13:30 saatlerinde deney setinin güneş ışınlarını dik olarak alabilmesi için yatay açı değişimleri düşük fark göstermektedir. Bu sebeple Şekil 4.2.'de 10:30 - 13:30 saatlerinde eğri yatay olarak verilmiştir.



Şekil 4.2. Yatay açının zamanla değişimi

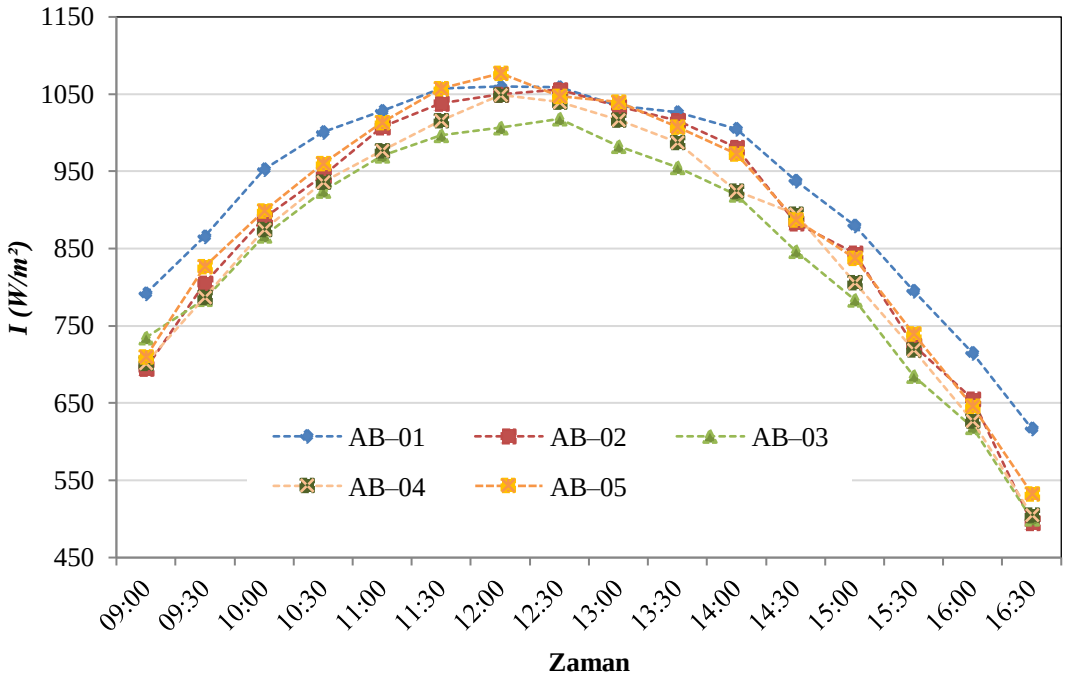
Şekil 4.3.'de bakır odak borusu için farklı debilerdeki ışınım değerleri verilmiştir. En yüksek değer BB-02 deneyinde 12:30 saatlerinde 1077 W/m² olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.3. Bakır odak borusunun güneş ışınım değerlerinin zamanla değişimi

Şekil 4.3.'de görüldüğü üzere BB-02 deneyinde güneş ışınım şiddeti 09:00 saatlerinde 815 W/m² olarak ölçülmüştür. Güneş ışınım şiddeti öğle saatlerinde artış göstererek en yüksek değer, 12:00 saatlerinde 1077 W/m² ölçülmüştür. Güneş ışınım şiddeti öğle saatlerinden sonra gün sonuna doğru düşme eğiliminde olduğu ölçülmüştür.

Şekil 4.4.'de alüminyum odak borusu için farklı debilerdeki ışınım değerleri verilmiştir. En yüksek değer AB-05 deneyinde 12:00 saatlerinde 1077 W/m² olarak ölçülmüştür.



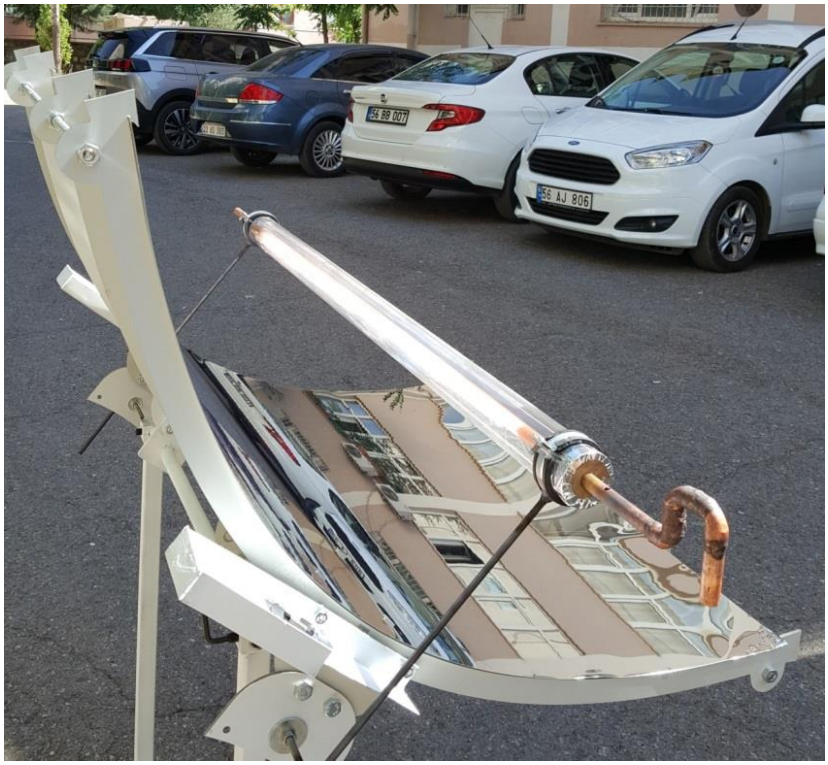
Şekil 4.4. Alüminyum odak borusunun güneş ışınım değerlerinin zamanla değişimi

Şekil 4.4.'de görüldüğü üzere AB-05 deneyinde güneş ışınım şiddeti 09:00 saatlerinde 710 W/m² olarak ölçülmüştür. Güneş ışınım şiddeti öğle saatlerinde artış göstererek en yüksek değer, 12:00 saatlerinde 1077 W/m² ölçülmüştür. Güneş ışınım şiddeti öğle saatlerinden sonra gün sonuna doğru düşme eğiliminde olduğu ölçülmüştür.

4.2.1. Bakır Odak Borusu Kullanılarak Yapılan Deneyler

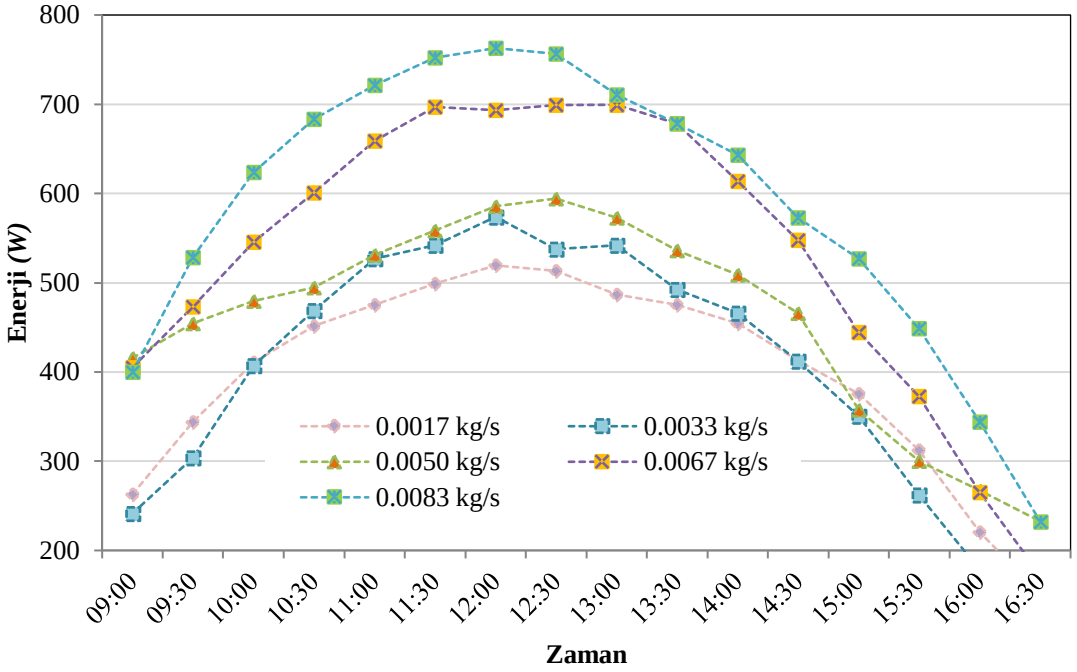
Parabolik oluklu güneş kollektörü odak borusu bakır malzemeden imal edilmiş, 15 mm dış, 13 mm iç çap, 1 mm kalınlık ve 1200 mm uzunluğa sahiptir. Bakır malzemeden imal edilmiş odak borusunun tercih edilmesinin nedeni, ısı iletim

katsayısının yüksek olmasıdır. Şekil 4.5.'de görüldüğü gibi deney setine montajı yapılan bakır boru ile ölçümler yapılmıştır.



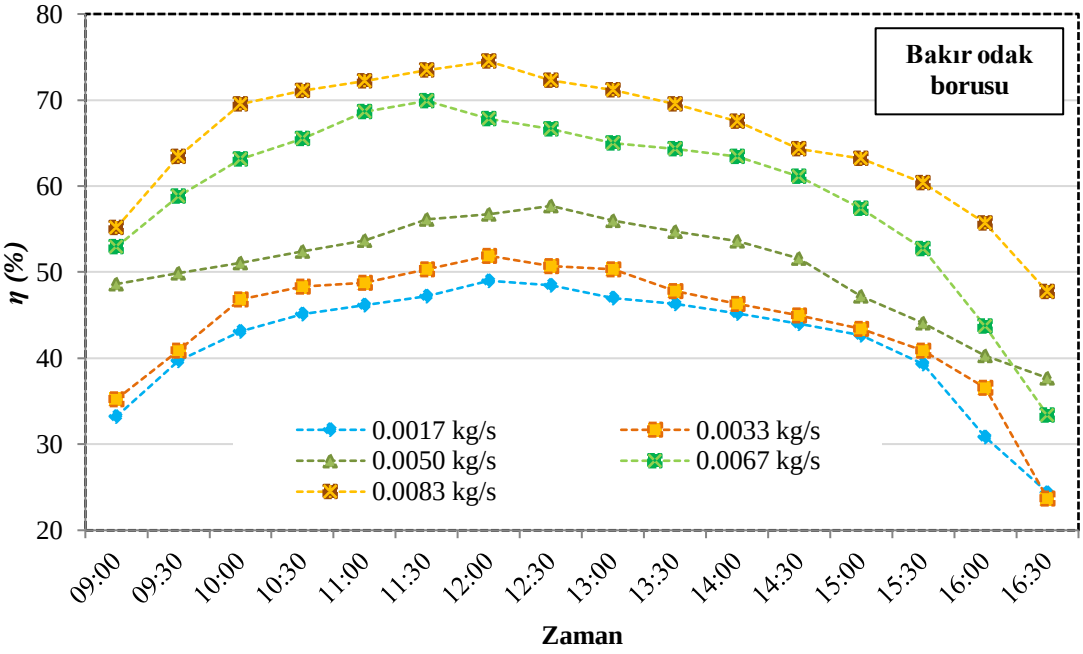
Şekil 4.5. Bakır boru ile kurulan deney seti

Bakır boru ile yapılan deneyde suya aktarılan ısı miktarı Şekil 4.6.'da verilmiştir. Işınım şiddeti zamana bağlı olarak gün içerisinde değişmesi ile suya aktarılan ısı miktarı da değişmektedir. Günün erken saatlerinde ışınım şiddeti düşük iken öğle saatlerinde artış göstererek en yüksek değere ulaşmakta ve gün sonuna doğru düşüş göstermektedir. Şekil 4.6.'da görüldüğü üzere ışınım şiddeti ve debinin artması, suya aktarılan ısı miktarının artmasına sebep olmuştur. Suya aktarılan en yüksek ısı miktarı, saat 12:00'da 0.0083 kg/s debi değerinde 762.9 W olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.6. BB suya aktarılan ısı-zaman grafiği

Şekil 4.7.'de görüldüğü üzere en yüksek verim, güneş ışın şiddetinin en yüksek olduğu öğle saatlerinde, 0.0083 kg/s debi değerinde hesaplanmıştır. 0.0083 kg/s debi değerinde öğle saat 12:00'da 1024 W/m^2 güneş ışınımında verim, en yüksek değer % 74.5 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.7. Bakır odak borulu deney düzeneği ile yapılan deneylerin verim-zaman grafiği

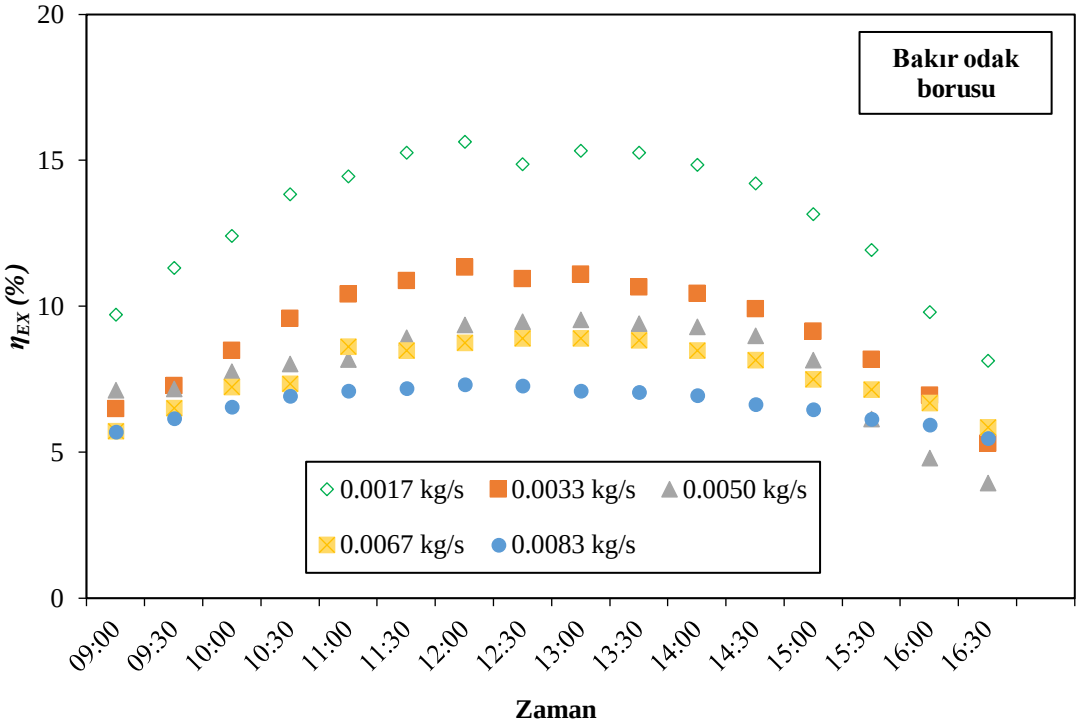
Çizelge 4.3.'de görüldüğü üzere 0.0017 kg/s, 0.0033 kg/s, 0.0050 kg/s, 0.0067 kg/s ve 0.0083 kg/s debiler ile ölçüm yapılmıştır. En düşük debi olan 0.0017 kg/s'de en düşük, en yüksek debi olan 0.0083 kg/s'de en yüksek verim hesaplanmıştır. En düşük debi olan 0.0017 kg/s debide sıcaklık farkı 73.1 °C, suya aktarılan ısı miktarı 519.4 W ve verim % 49.0 olarak hesaplanmıştır. Ancak en yüksek debi olan 0.0083 kg/s debide sıcaklık farkı 21.9 °C, suya aktarılan ısı miktarı 762.9 W ve verim % 74.5 olarak hesaplanmıştır.

Deney sırasında yapılan ölçümler neticesinde farklı debilerde en yüksek verim değerleri Çizelge 4.3.'de gösterilmiştir. 0.0017 kg/s debide sıcaklık farkı 73.1 °C, suya aktarılan ısı miktarı 519.4 W ve verim % 49 iken, 0.0083 kg/s debide sıcaklık farkı 21.9 °C, suya aktarılan ısı miktarı 762.9 W ve verim % 74.5 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.3. Bakır odak borulu deney seti deneyleri debinin verime etkisi

Debi (kg/s)	ΔT (°C)	Q_u (W)	(%)
0.0017	73.1	519.4	49.0
0.0033	41.6	573.8	51.9
0.0050	28.4	594.3	57.7
0.0067	25.0	696.9	69.9
0.0083	21.9	762.9	74.5

Giriş ve çıkış suyu sıcaklık farkının büyük olması ısı transferinin daha verimli olmasını sağlamaktadır. Güneş ışınlarının odaklanarak ısıttığı toplayıcı boruya giren soğuk su, iç yüzeylerden ısıyı absorbe etmeye başlar. Borunun içinde yol aldıkça ısısı artarak sıcaklığı yükselir. Akışkanın debisinin düşük olması akışkanın sıcaklığının daha yüksek değerlere ulaşmasına sebep olacaktır. Bu da akışkan ile borunun iç yüzeyi arasındaki sıcaklık farkının daha düşük olmasına sebep olacağından, ısı transferi daha düşük verimlilikte olacaktır. Böylelikle sistemin veriminin düşük olmasına sebep olmuştur. Debinin yüksek olması akışkan ile borunun iç yüzeyi arasındaki sıcaklık farkının daha yüksek olmasını sağlayacağından ısı transferi daha verimli olacaktır. Böylece sistemin veriminin yüksek olmasına sebep olmuştur.



Şekil 4.8. Bakır boru ekserji verimi – zaman grafiği

Bakır odak borusu kullanılan deneyde her bir debi için hesaplanan ekserji verimleri Şekil 4.8.'de verilmiştir. 0.0017 kg/s debi için değerler % 8.14 ile % 15.64 arasında, 0.0033 kg/s debi için % 5.30 ile % 11.34 arasında, 0.0050 kg/s debisi için % 3.95 ile % 9.55 arasında, 0.0067 kg/s debi için % 5.87 ile % 8.90 arasında ve 0.0083 kg/s debi için % 5.49 ile % 7.34 arasında bulunmuştur. Bakır odak borusu kullanılan deneyde en düşük debi değeri 0.0017 kg/s için ekserji verimi, en yüksek debi değeri 0.0083 kg/s'ye göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. En yüksek ekserji verimi 0.0017 kg/s debide % 15.64 iken, ekserji yıkım miktarı yani tersinmezlik değeri en yüksek değer olan 416 W olmuştur.

Şekil 4.8.'de kütlesel debinin artması ile ekserji veriminin düştüğü gözlemlenmektedir. Bu da ekserji veriminin debi ile ters orantılı olduğunu göstermektedir. Debinin azalması akışkanın çıkış sıcaklığının daha yüksek olmasına, dolayısıyla akışkanın entalpi değerinin artmasına sebep olmaktadır. Bu durumda en düşük debide en yüksek entalpi farkı meydana geldiğinden ekserji verimi en yüksek değere ulaşmaktadır. Debinin artması ile çıkış sıcaklığı düşmekte dolayısıyla akışkanın entropi değerinin azalmasına sebep olmaktadır. Bu durumda en yüksek debide en büyük entropi farkı meydana geldiğinden tersinmezlik en yüksek değere ulaşmaktadır.

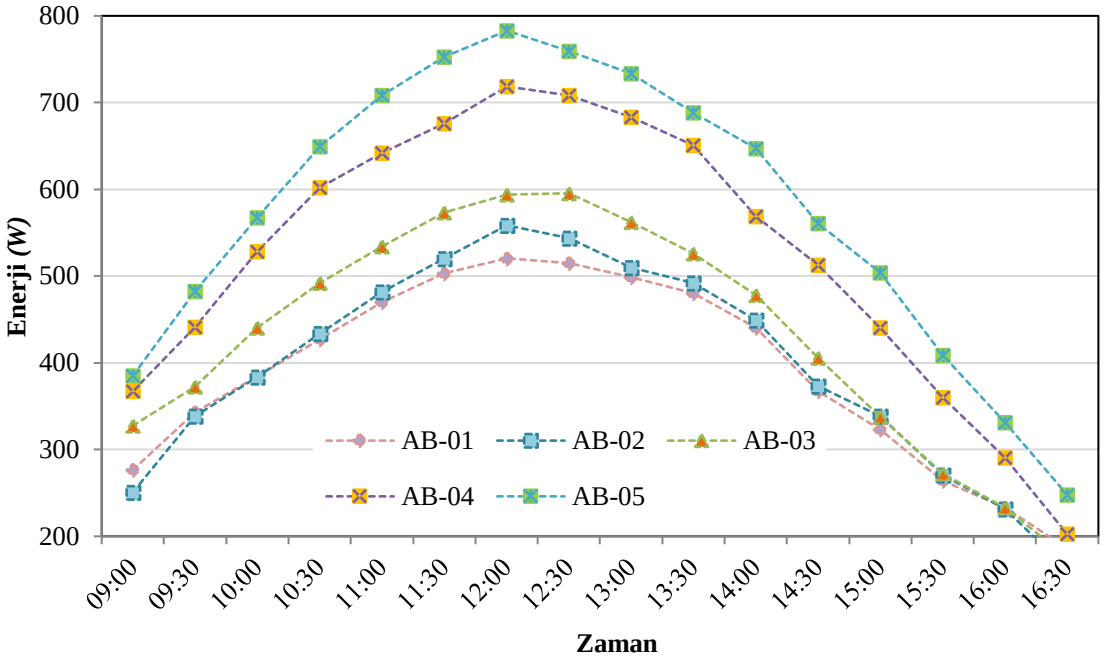
4.2.2. Alüminyum Odak Borusu Kullanılarak Yapılan Deneyler

Parabolik oluklu güneş kollektörü odak borusu alüminyum malzemeden imal edilmiş, 15 mm dış, 13 mm iç çap, 1 mm kalınlık ve 1200 mm uzunluğa sahiptir. Alüminyum malzemeden imal edilmiş odak borusunun tercih edilmesinin nedeni, alüminyumun ısı iletim katsayısının yüksek olmasıdır. Şekil 4.9.'da görüldüğü gibi deney setine montajı yapılan alüminyum boru ile ölçümler yapılmıştır.



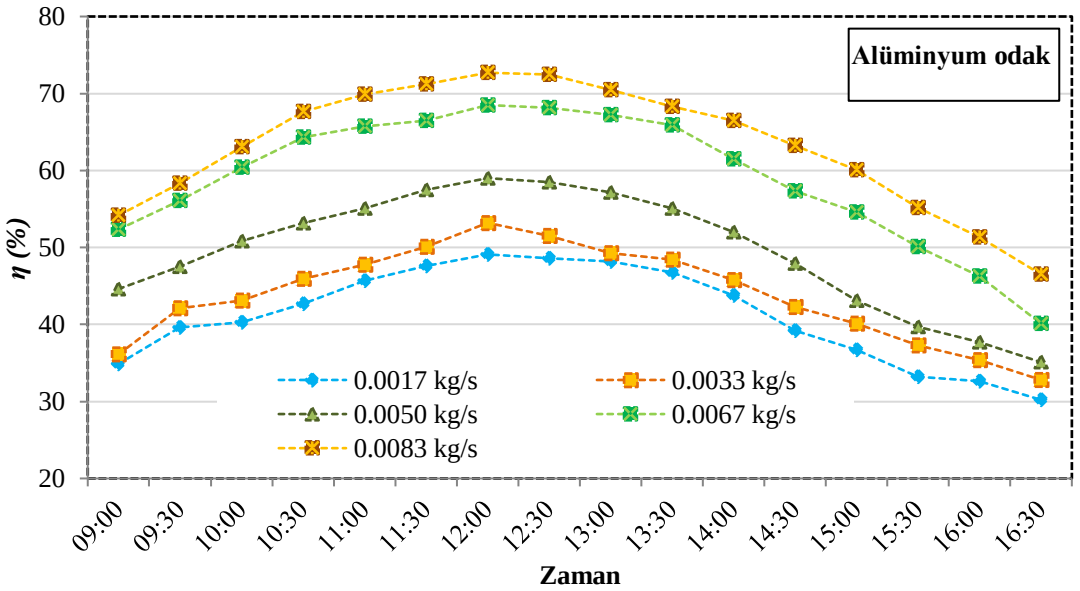
Şekil 4.9. Alüminyum odak borusu ile kurulan deney seti

Alüminyum boru ile yapılan deneyde suya aktarılan ısı miktarı Şekil 4.10.'da verilmiştir. Işınım şiddeti zamana bağlı olarak gün içerisinde değişmesi ile suya aktarılan ısı miktarı da değişmektedir. Günün erken saatlerinde ışınım şiddeti düşük iken öğle saatlerinde artış göstererek en yüksek değere ulaşmakta ve gün sonuna doğru düşüş göstermektedir. Şekil 4.10.'da görüldüğü üzere ışınım şiddeti ve debinin artması, suya aktarılan ısı miktarının artmasına sebep olmuştur. Suya aktarılan en yüksek ısı miktarı, saat 12:00'da 0.0083 kg/s debi değerinde 783.0 W olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.10. AB suya aktarılan ısı-zaman grafiği

Şekil 4.11.'de görüldüğü üzere en yüksek verim, güneş ışın şiddetinin en yüksek olduğu öğle saatlerinde 0.0083 kg/s debi değerinde hesaplanmıştır. 0.0083 kg/s debi değerinde öğle saat 12:00'da 1077 W/m^2 güneş ışınımında verim, en yüksek değer % 72.7 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.11. Alüminyum odak borulu deney düzeneği ile yapılan deneylerin verim-zaman grafiği

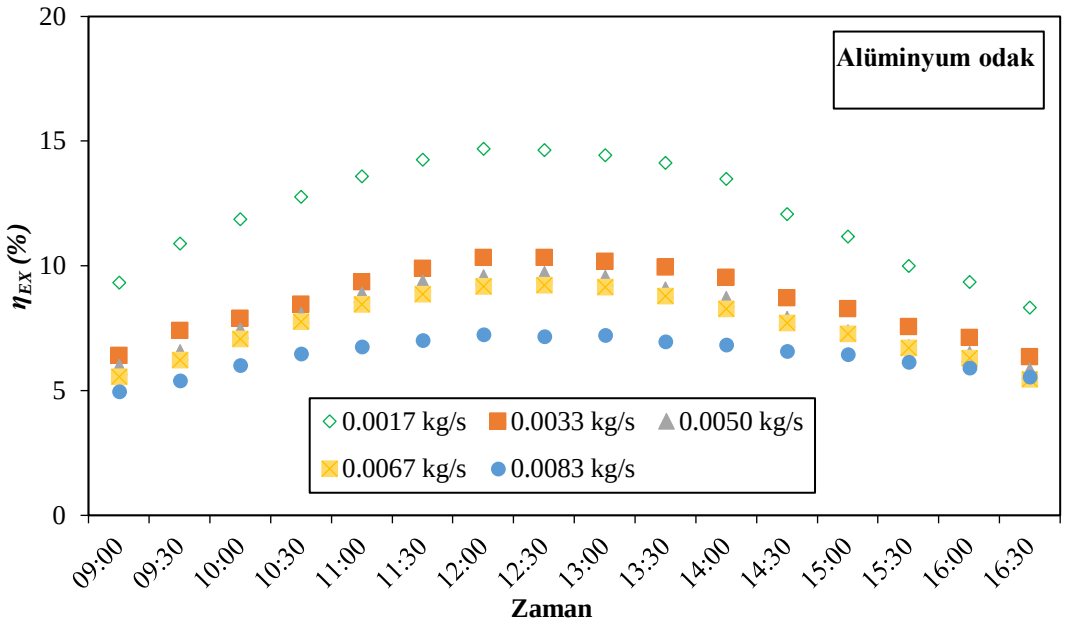
Çizelge 4.4.'de görüldüğü üzere 0.0017 kg/s, 0.0033 kg/s, 0.0050 kg/s, 0.0067 kg/s ve 0.0083 kg/s debiler ile ölçüm yapılmıştır. En düşük debi olan 0.0017 kg/s'de en düşük, en yüksek debi olan 0.0083 kg/s'de en yüksek verim hesaplanmıştır. En düşük debi olan 0.0017 kg/s debide sıcaklık farkı 73.2 °C, suya aktarılan ısı miktarı 520.5 W ve verim % 49.1 olarak hesaplanmıştır. Ancak en yüksek debi olan 0.0083 kg/s debide sıcaklık farkı 22.5 °C, suya aktarılan ısı miktarı 783.0 W ve verim % 72.7 olarak hesaplanmıştır.

Deney sırasında yapılan ölçümler neticesinde farklı debilerde en yüksek verim değerleri Çizelge 4.4.'de gösterilmiştir. 0.0017 kg/s debide sıcaklık farkı 73.2 °C, suya aktarılan ısı miktarı 520.5 W ve verim % 49.1 iken, 0.0083 kg/s debide sıcaklık farkı 22.5 °C, suya aktarılan ısı miktarı 783.0 W ve verim % 72.7 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.4. Alüminyum odak borulu deney seti deneyleri debinin verime etkisi

Debi (kg/s)	ΔT (°C)	Q_u (W)	(%)
0.0017	73.2	520	49.1
0.0033	40.5	559	53.2
0.0050	28.4	594	59.0
0.0067	25.8	719	68.5
0.0083	22.5	783	72.7

Giriş ve çıkış suyu sıcaklık farkının büyük olması ısı transferinin daha verimli olmasını sağlamaktadır. Güneş ışınlarının odaklanarak ısıttığı toplayıcı boruya giren soğuk su, iç yüzeylerden ısıyı sönümlemeye başlar. Borunun içinde yol aldıkça ısısı artarak sıcaklığı yükselir. Akışkanın debisinin düşük olması akışkanın sıcaklığının daha yüksek değerlere ulaşmasına sebep olacaktır. Bu da akışkan ile borunun iç yüzeyi arasındaki sıcaklık farkının daha düşük olmasına sebep olacağından, ısı transferi daha düşük verimlilikte olacaktır. Böylelikle sistemin veriminin düşük olmasına sebep olmuştur. Debinin yüksek olması akışkan ile borunun iç yüzeyi arasındaki sıcaklık farkının daha yüksek olmasını sağlayacağından ısı transferi daha verimli olacaktır. Böylece sistemin veriminin yüksek olmasına sebep olmuştur.



Şekil 4.12. Alüminyum boru ekserji verimi – zaman grafiği

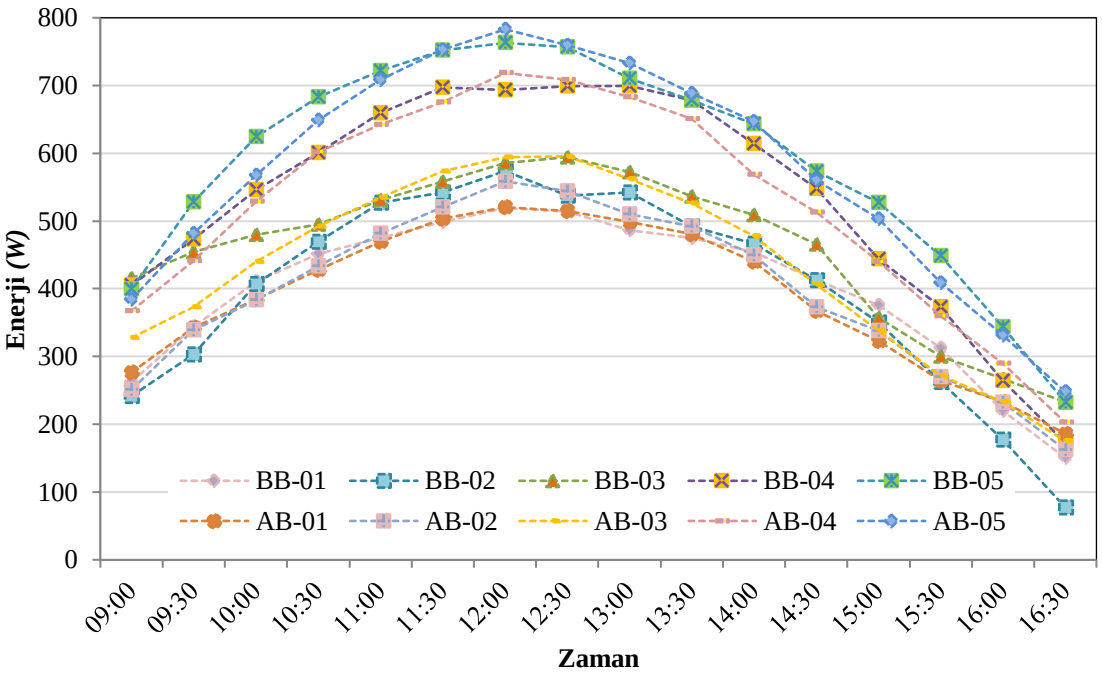
Alüminyum odak borusu kullanılan deneyde her bir debi için hesaplanan ekserji verimleri Şekil 4.12.'de verilmiştir. 0.0017 kg/s debi için değerler % 8.33 ile % 14.71 arasında, 0.0033 kg/s debi için % 6.35 ile % 10.35 arasında, 0.0050 kg/s debisi için % 5.81 ile % 9.68 arasında, 0.0067 kg/s debi için % 5.46 ile % 9.23 arasında ve 0.0083 kg/s debi için % 4.97 ile % 7.25 arasında bulunmuştur. Alüminyum odak borusu kullanılan deneyde en düşük debi değeri 0.0017 kg/s için ekserji verimi, en yüksek debi değeri 0.0083 kg/s'ye göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. En yüksek ekserji verimi 0.0017 kg/s debide % 14.71 iken, ekserji yıkım miktarı yani tersinmezlik değeri en yüksek değer olan 422 W olmuştur.

Şekil 4.12.'de kütlesel debinin artması ile ekserji veriminin düştüğü gözlemlenmektedir. Bu da ekserji veriminin debi ile ters orantılı olduğunu göstermektedir. Debinin azalması akışkanın çıkış sıcaklığının daha yüksek olmasına, dolayısıyla akışkanın entalpi değerinin artmasına sebep olmaktadır. Bu durumda en düşük debide en yüksek entalpi farkı meydana geldiğinden ekserji verimi en yüksek değere ulaşmaktadır. Debinin artması ile çıkış sıcaklığı düşmekte dolayısıyla akışkanın entropi değerinin azalmasına sebep olmaktadır. Bu durumda en yüksek debide en büyük entropi farkı meydana geldiğinden tersinmezlik en yüksek değere ulaşmaktadır.

4.2.3. Alüminyum ve Bakır Odak Borusu Kullanılarak Yapılan Deneylerde Suya Aktarılan Isı

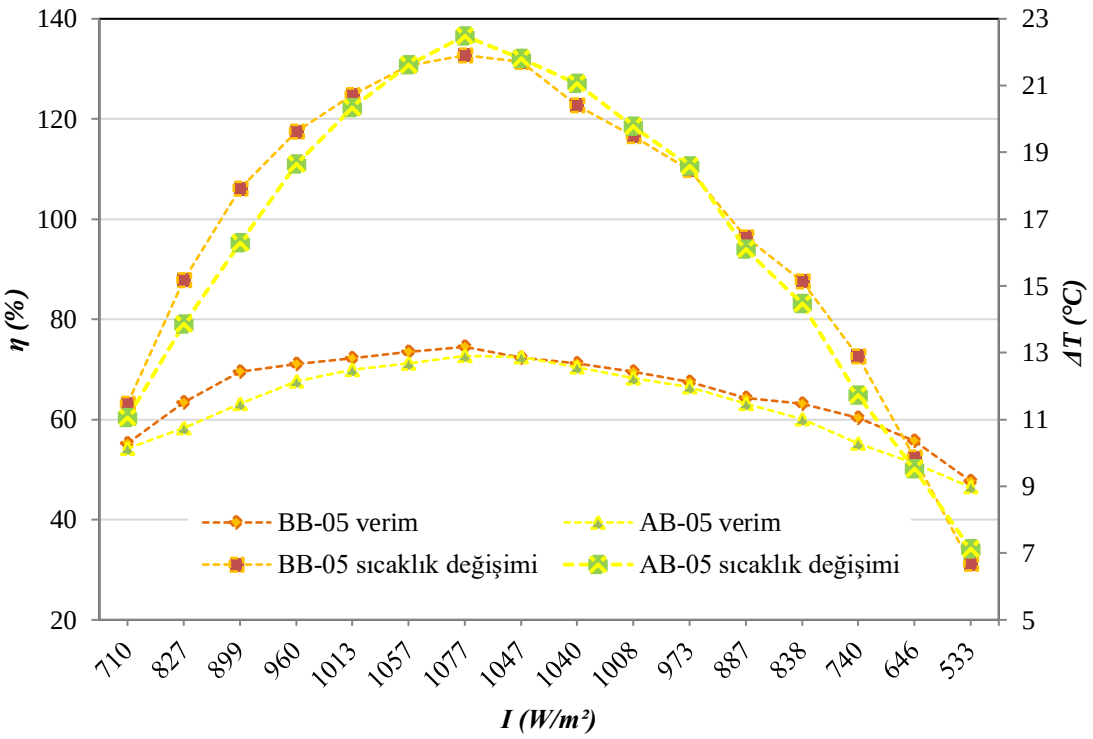
Bakır malzeme odak borusu kullanılan deney setinde 1024 W/m^2 güneş ışınımı ve 0.0083 kg/s debide suya aktarılan maksimum ısı miktarı 762.8 W iken, alüminyum malzeme odak borusu kullanılan deney setinde 1077 W/m^2 güneş ışınımı ve 0.0083 kg/s debide suya aktarılan grafik alanı maksimum ısı miktarı 783.0 W olarak hesaplanmıştır.

Deneyde yapılan ölçümlere bakılırsa ısı iletim katsayısı daha yüksek olan bakır malzemeden imal edilmiş olan odak borusunun suya ısıyı daha fazla transfer ettiği görülecektir. Çünkü bakır malzeme odak borusu kullanılan deney setinde 1024 W/m^2 güneş ışınımı ve 0.0083 kg/s debide suya aktarılan maksimum ısı miktarı 762.8 W iken, alüminyum malzeme odak borusu kullanılan deney setinde 1077 W/m^2 güneş ışınımı ve 0.0083 kg/s debide suya aktarılan maksimum ısı miktarı 783.0 W olarak hesaplanmıştır. Bunun nedeni bakır malzeme odak borusu kullanılan deney setinde deney 23.07.2019, alüminyum malzeme odak borusu kullanılan deney setinde ise deney 03.08.2019 tarihinde yapılmıştır. Farklı günlerde yapılan deneyler gün içinde farklı güneş ışınım değerlerinin ölçülmesine sebep olmuştur.



Şekil 4.13. Bakır - Alüminyum suya aktarılan ısı miktarları

Şekil 4.13.'de görüldüğü üzere bakır ve alüminyum odak borusu kullanılmış deney setlerinin tüm deneyleri verilmiştir. Tüm debi değerlerinin suya aktarılan enerji miktarına etkisi gösterilmiştir. Suya aktarılan en yüksek enerji miktarı AB-05 deneyinde meydana gelmiştir. Aslında ısı iletim katsayısı daha yüksek olan bakır malzemeden imal edilmiş olan odak borusunun suya ısıyı daha fazla transfer etmesi gerektiği bilinmektedir. Ancak AB-05 deneyinde, BB-05 deneyine göre, öğle saatlerinde suya aktarılan ısı miktarının daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum BB-05 deneyinin yapıldığı günde güneş ışınım değeri, AB-05 deneyinin yapıldığı günün güneş ışınım değerinden, daha düşük ölçülmesinden kaynaklanmaktadır. BB-05 deneyinde 1024 W/m^2 güneş ışınımında suya aktarılan ısı miktarı 762.8 W iken, AB-05 deneyinde 1077 W/m^2 güneş ışınımı suya aktarılan ısı miktarı 783.0 W olarak hesaplanmıştır. BB-05 deneyinde 1024 W/m^2'lik enerjinin 762.8 W'lik kısmı suya aktarılmışken, AB-05 deneyinde 1077 W/m^2'lik enerjinin 783.0 W'lık kısmı aktarılmıştır. Güneş enerjisi ışınım farkı 53 W/m^2 iken, suya aktarılan enerji farkı 20.2 W olarak hesaplanmıştır. Sistemde kullanılan bakır malzeme odak borusu, alüminyum malzeme odak borusundan ısı iletimi açısından daha iyi performans sergilemiştir.



Şekil 4.14. AB-05 ve BB-05 deneylerinde güneş ışınımı ve sıcaklık farkının verime etkisi

Şekil 4.14.'de görüldüğü üzere AB-05 deneyinde güneş ışınımı 1077 W/m^2 iken sıcaklık değişimi 22.5 °C ve en yüksek verim % 72.7 olarak hesaplanmıştır. BB-05 deneyinde güneş ışınımı 1024 W/m^2 iken sıcaklık değişimi 21.9 °C ve en yüksek verim % 74.5 olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.14., bakır odak borulu deney seti, alüminyum odak borulu deney setinden daha verimli olduğunu göstermektedir.

4.3. Odak Borusunda Sapma Hesabı

Deney çalışması sırasında günün ilk saatleri ve son saatlerinde odak borusunda toplanan ışınlarda sapmanın olduğu gözlenmiştir. Deney düzeneği kurulumunda sistemin çalışma prensibi gereği kollektör güney yönüne dönük olup, güneşin yükselip alçalmasına göre aşağı-yukarı hareket ettirilerek en yüksek güneş ışını miktarını alması ve güneş ışınlarının sisteme dik düşmesi sağlanmaktadır. Günün ilk saatlerinde güneş ışınları doğudan zemin ile dar açıyla gelmektedir. Bu durum günün son saatlerinde batıdan gelen güneş ışınları ile tekrar etmektedir.



Şekil 4.15. Güneş ışınlarının sapması

Güneş ışınlarında meydana gelen odaklanma sapması enerji kaybına sebep olmaktadır. Bu kaybın miktarı hesaplanarak gerçek verim bulunmuştur.

Deney düzeneğinde kollektör uzunluğu 1000 mm'dir. Dolayısıyla yansıtılacak güneş ışınlarının doğrusal boyu 1000 mm olmalıdır. Deney sırasında öğle saatlerinde

(12:00 dolaylarında) odak borusu üzerinde tam boy olarak 1000 mm güneş ışını odaklanması gözlemlenebilmektedir. Yapılan deneyler sırasında 1000 mm boyunda odaklanmış ışık olması gerekirken, saat 16:30 dolaylarında, bu ölçüm 540 mm dolaylarında olmaktadır. Yaklaşık olarak 460 mm'lik bir kayıp gözlemlenmektedir.

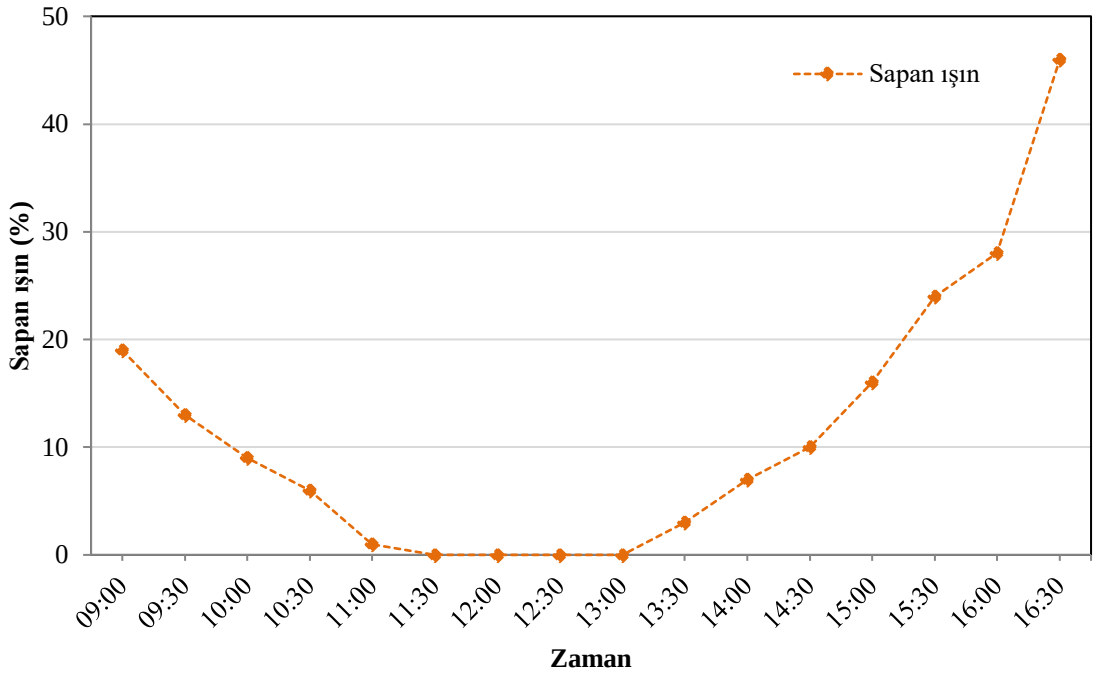
Sapma miktarları güneşin yükselip alçalmasına göre değişkenlik göstermektedir. Çizelge 4.5.'de saatlere göre sapma miktarları verilmiştir.

Çizelge 4.5. Günün saatlerine göre odak sapma miktarı

Saat	09:00	09:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30
Kayıp (mm)	190	130	90	60	10	0	0	0	0	30	70	100	160	240	280	460

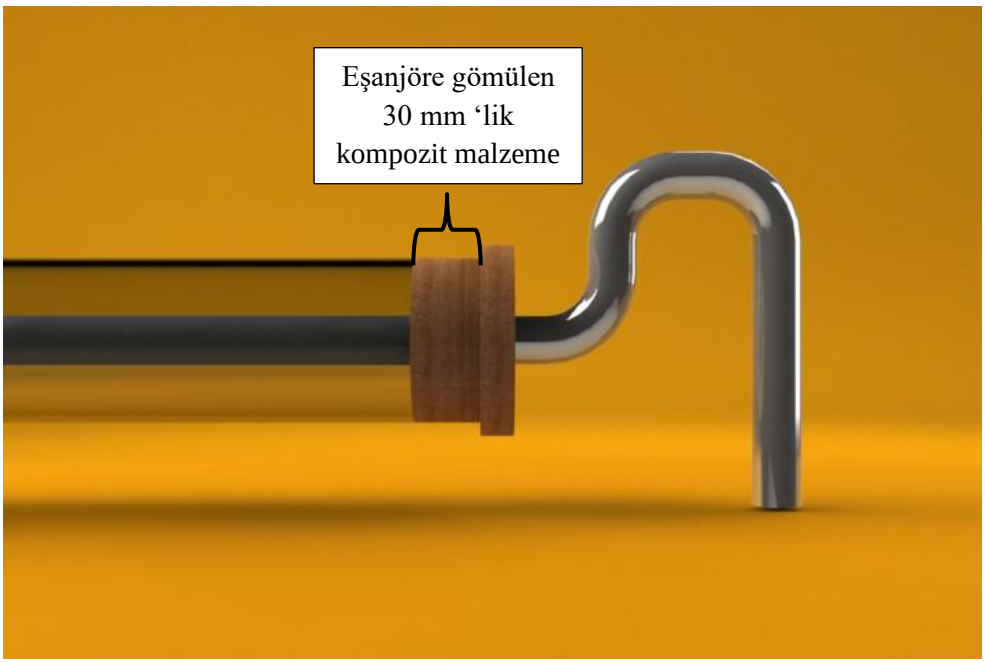
Günün saatlerine göre sapma miktarları Çizelge 4.5.'de verilmiştir. Verilmiş olan sapma miktarları, saptığı yüzeyin simetrisinde toplanmaktadır. Simetrik olarak toplanan güneş ışınları odak borusunun maksimum taşan uzunluğu kadardır.

Sapan güneş ışınlarının sisteme kazandırılabilmesi için odak borusu uzunluğu artırılabilir. Bu sayede sapan güneş ışınları, uzunluğu arttırılmış odak borusunda toplanarak sisteme kazandırılmış olacaktır. Ayrıca imal edilmiş yeni parabolik oluklu güneş kollektörü tek eksende (kuzey-güney) hareket etmesi yerine, iki eksende (kuzey-güney, doğu-batı) hareket etmesi alternatif bir çözüm olarak uygulanabilir. Böylece güneş ışınları günün her saatinde sisteme dik düşeceğinden güneş ışınları sapmamış olacaktır.



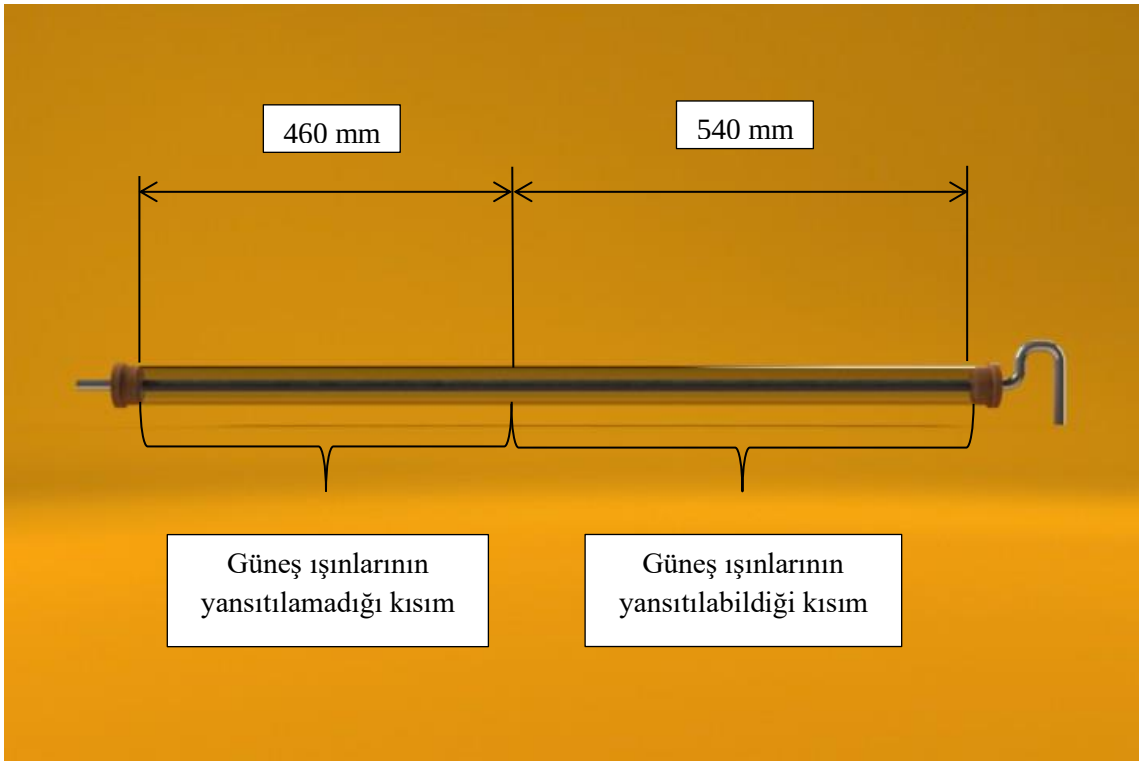
Şekil 4.16. Gün içerisinde sapan ışın-zaman grafiği

Odak borusu toplamda 1200 mm uzunluğundadır. Kollektör uzunluğu ise 1000 mm uzunluğundadır. Odak borusu kollektörün her bir kenarından 100 mm taşmaktadır. Şekil 4.17.'de görüldüğü üzere 100 mm'nin 30 mm'lik kısmı kompozit malzeme kaplamaktadır.



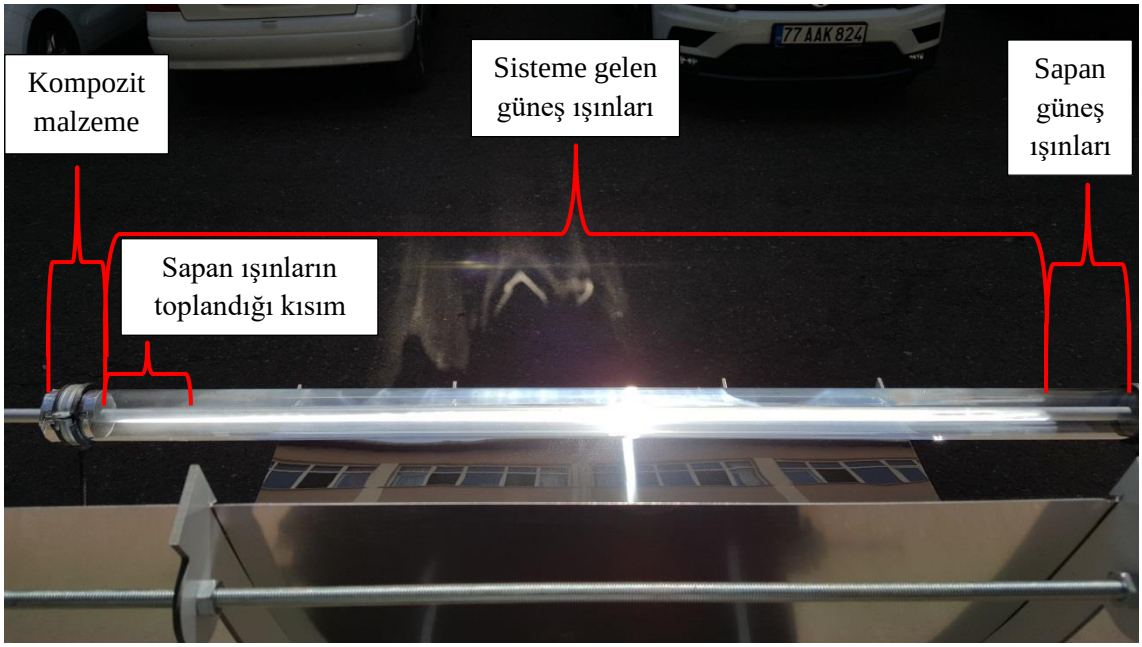
Şekil 4.17. Eşanjöre gömülen kompozit malzemenin görüntüsü

Odak borusunun 1000 mm'lik uzunluğu dışında, her iki ucunda, 70 mm'lik sapan ışınları toplayabilecek mesafe mevcuttur. Sapan güneş ışınları 70 mm'nin altında ise, sapan ışınlar odak borusunun simetrisinde toplanacağından kayıp sayılmamaktadır. Ancak 70 mm'nin üzerinde bir mesafeye sahip ise, odak borusunun maksimum uzunluğunu da aşacağından, güneş ışınları boru yüzeyinin dışında bir yerde toplanacağından kayıp sayılacaktır. Şekil 4.18.'de görüldüğü üzere en büyük sapma değeri 530 mm iken, 70 mm'lik kısmı odak borusunun simetrisinde toplandığından dolayı, kayıp miktarı yalnızca 460 mm'dir. Şekil 4.16.'da sapmadan kaynaklanan enerji kayıp miktarı, yüzde olarak verilmiştir.



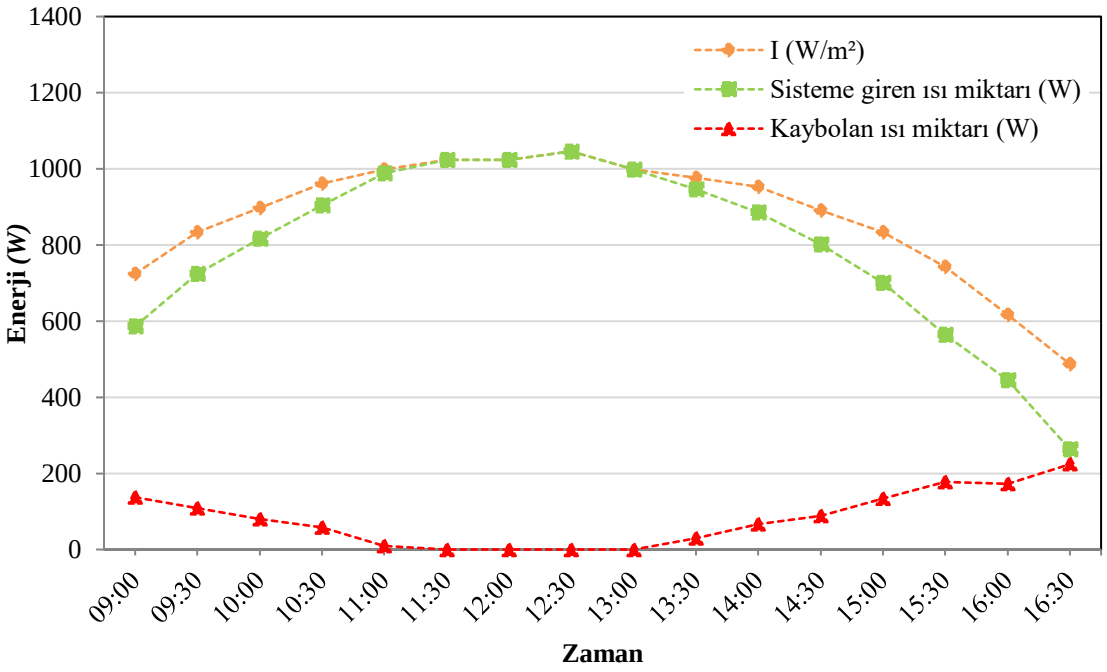
Şekil 4.18. Saat 16:30'da meydana gelen maksimum sapma miktarı

Şekil 4.18.'de 1000 mm'lik odak borusunda saat 16:30 dolaylarında meydana gelen sapmalar ölçülü olarak verilmiştir. Şekil 4.19.'da görüldüğü üzere sapan güneş ışınları odak borusunun diğer ucunda toplanmaktadır.



Şekil 4.19. Güneş ışınlarının sapması

Ancak kompozit malzemenin kapladığı kısım güneş ışınlarını sönümleyememektedir. Böylece 30 mm'lik bir mesafede güneş ışınlarının kayıp olmaktadır.



Şekil 4.20. BB-05 deneyi sapmadan kaynaklanan enerji kayıpları

En yüksek kayıp miktarı saat 16:30'da %46 olarak ölçülmüştür. Öğle saatlerinde güneş ışınları sisteme dik düştüğü için, sapma meydana gelmemektedir. Böylece enerji

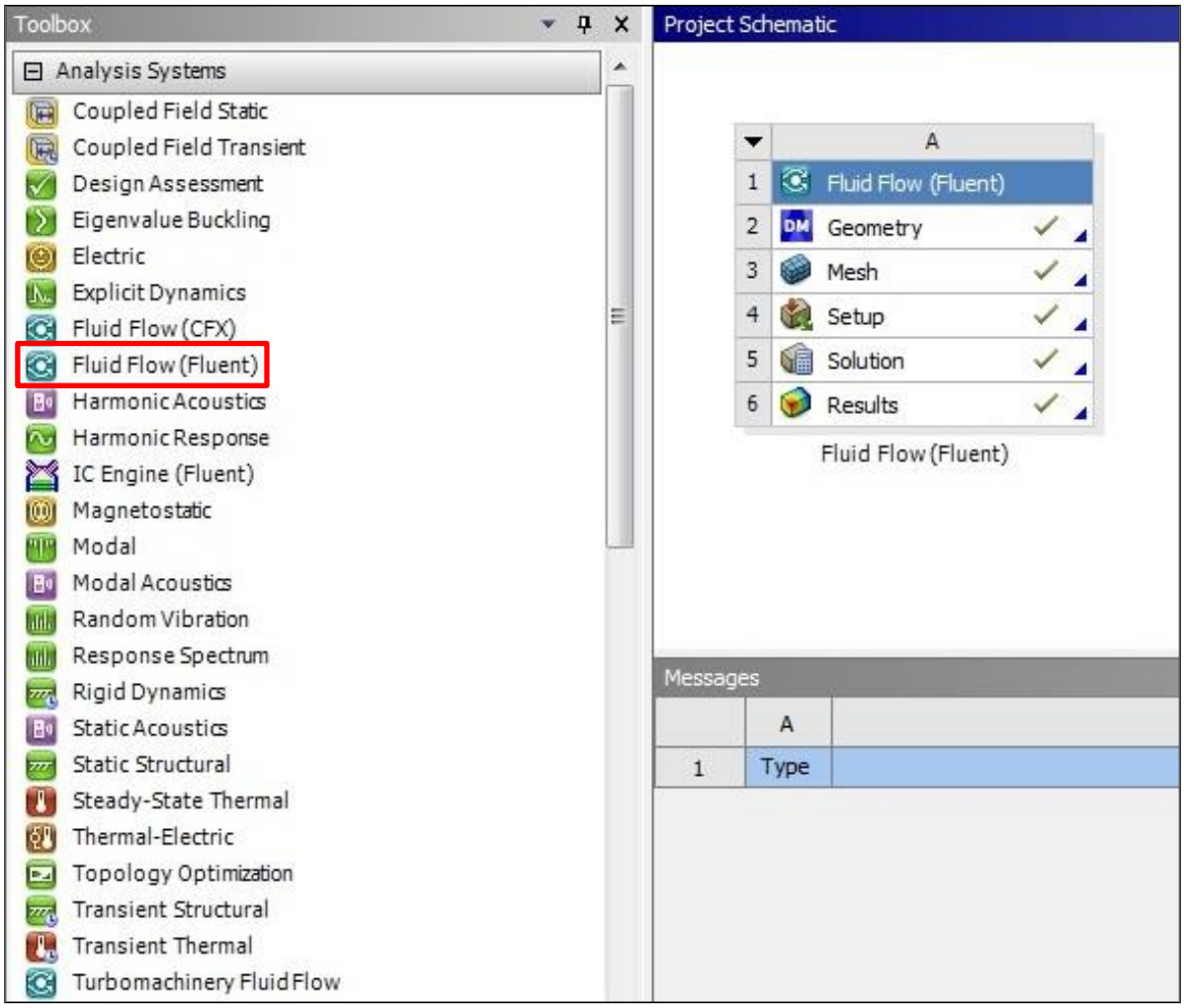
kaybı meydana gelmemektedir. En yüksek verim güneş ışınlarının sisteme dik düştüğü öğle saatlerinde hesaplanmaktadır. Öğle saatlerinde sapmadan kaynaklanan enerji kaybı meydana gelmediğinden, en yüksek verim 0.0083 kg/s debi, 1046 W/m² güneş ışınım değerinde, kayıpsız olarak hesaplanan % 74.5'dir.

4.4. Simülasyon

ANSYS simülasyon programı bir analiz programıdır. Analiz edilecek olan parça veya montajın çok küçük boyutlardaki elemanlara bölünerek incelenmesi yöntemine dayanmaktadır. Ürünün tasarım aşamasından sonra kullanılır. Ürünün deney yapılmaksızın sanal ortamda analiz edilmesine olanak tanır. Deneysel çalışmalara kıyasla maliyetsiz olması, uzun zaman gerektirmeyen işlem aşamaları ve çıkan sonuçlarda hata paylarının düşük olması nedeniyle tercih edilmektedir. Ürünün mekanik, ısıl ve akış gibi özelliklerinin sanal ortamda incelenmesi, tasarımının iyileştirilmesine olanak tanımaktadır.

Çalışmada ANSY Workbench 2019 R3 sürümü kullanılmıştır. Bu sürümün Fluent modülü kullanılarak doğrusal yutucu boyunca sıcaklık, hız, basınç ve ısı akısı dağılımındaki değişimler incelenmiştir.

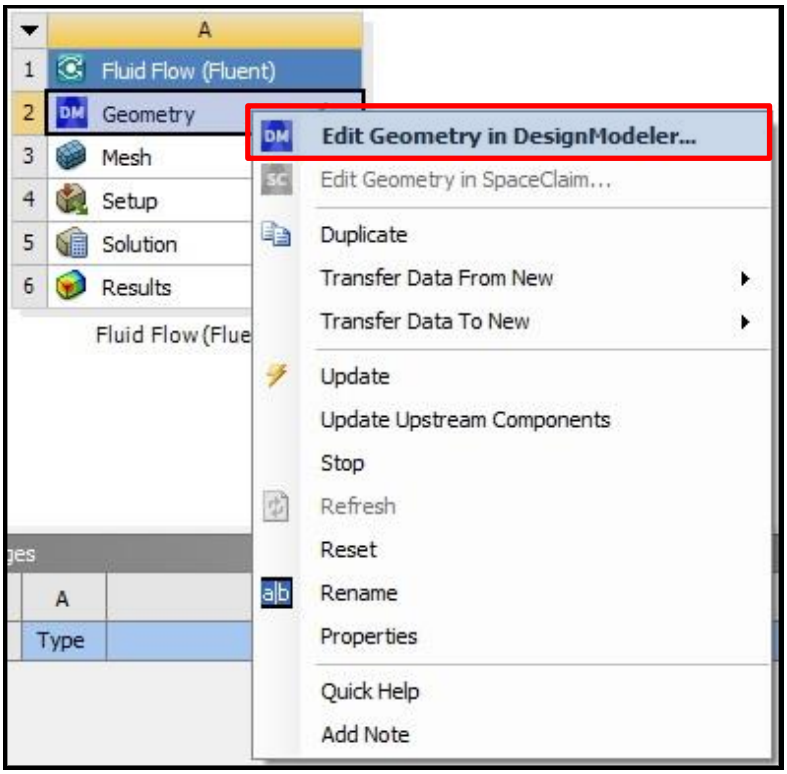
ANSYS Fluid Flow (Fluent) modülü kullanılarak iki farklı deney setinde, beş farklı debide simülasyonlar yapıldı. Toplamda on farklı simülasyon yapılmıştır.



Şekil 4.21. Fluid Flow CFD (Fluent) proje çözüm aşamaları

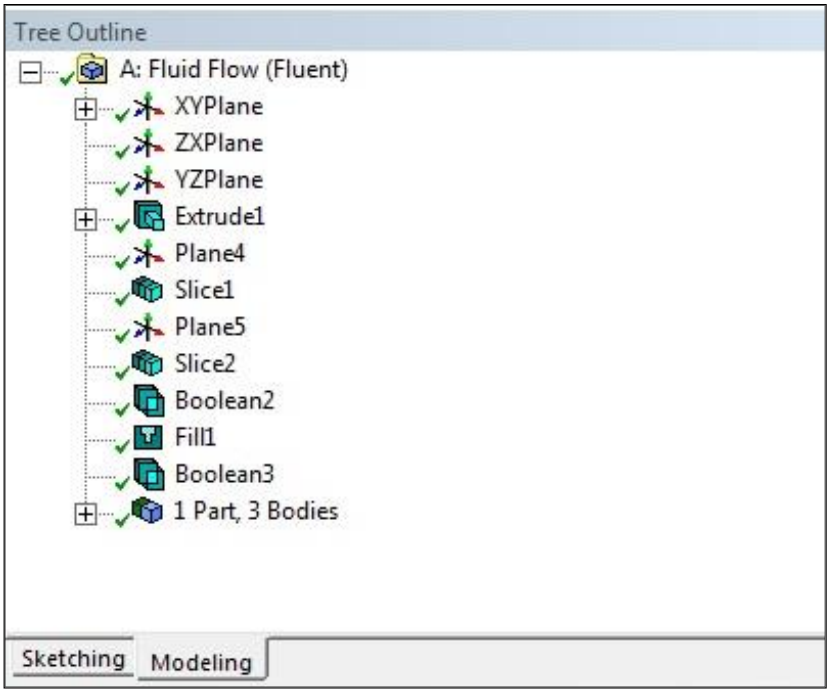
4.4.1. Geometri

Simülasyonu yapılacak parça ANSY Workbench 2019 R3 sürümü Design Modeler yazılımında orijinal boyutlarda Şekil 4.24.'de görüldüğü üzere tasarlandı. Parça, boru şeklinde olup akış ve yutucu sınırları belirlenebilecek şekilde tasarlanmıştır.



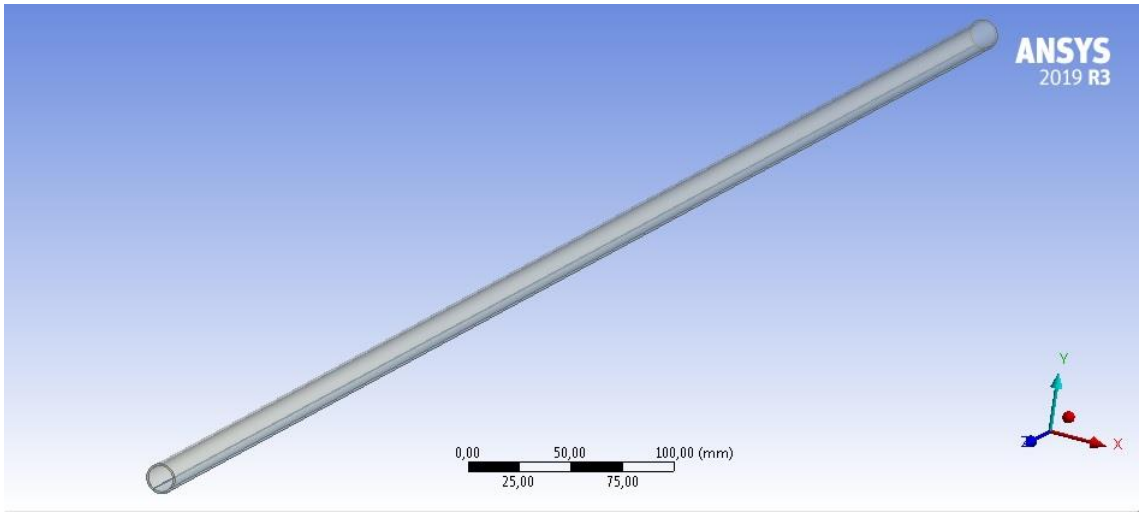
Şekil 4.22. Design Modeler yazılımının kullanılması

Design Modeler yazılımı ara yüzüne geçiş aşamaları Şekil 4.22.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.23. Design Modeler yazılımı çizim unsur ağacı

Şekil 4.23.'de Design Modeler yazılım ara yüzünde yapılan tasarımın aşamalarının bulunduğu unsur ağacı gösterilmektedir.



Şekil 4.24. Design Modeler yazılımında çizilmiş üç boyutlu parça

Alüminyum boru malzeme:

Dış çap = 15 mm

İç çap = 13 mm

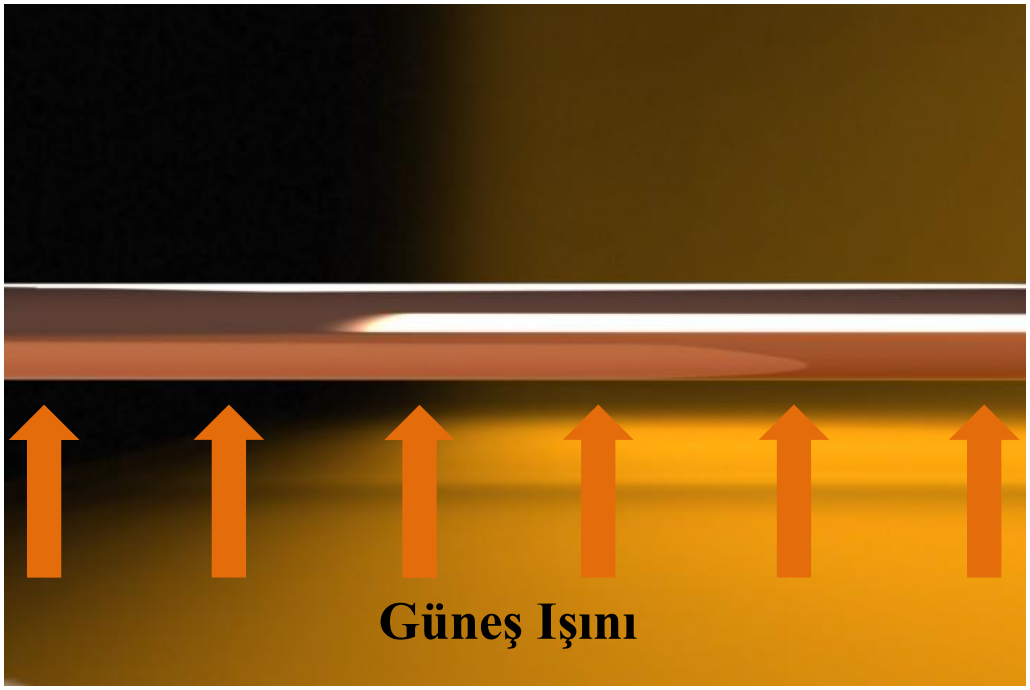
Uzunluk 1200 mm

Bakır boru malzeme:

Dış çap = 15 mm

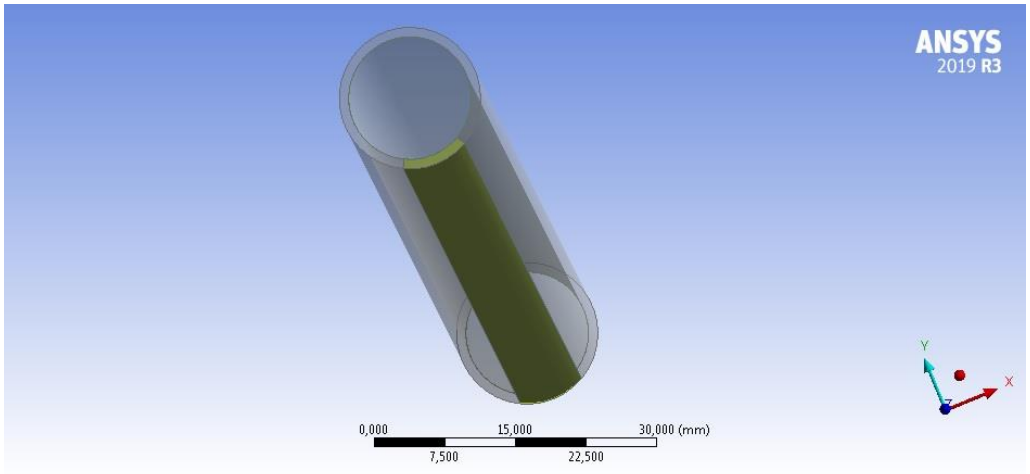
İç çap = 13 mm

Uzunluk 1200 mm



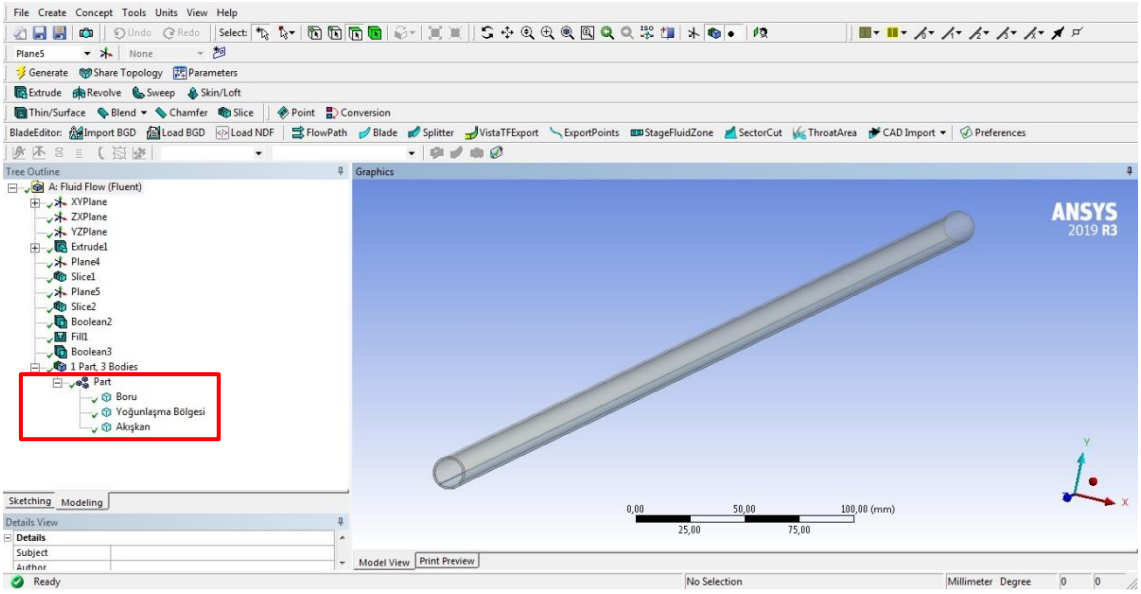
Şekil 4.25. Odak borusu güneş ışınlarının yansıma senaryosu

Odak borusuna yoğunlaştırılan güneş ışınlarının şematik gösterimi Şekil 4.25.'de gösterilmektedir.



Şekil 4.26. Bakır boruya güneş ışınlarının odaklandığı bölge

Odak borusunun güneş ışınlarının yoğunlaştırıldığı bölge Şekil 4.26.'da gösterilmiştir. Yansıtıcı yüzeyden yansıyan güneş ışınları yoğunlaştırılarak odak borusunun alt kısmında toplanmaktadır.

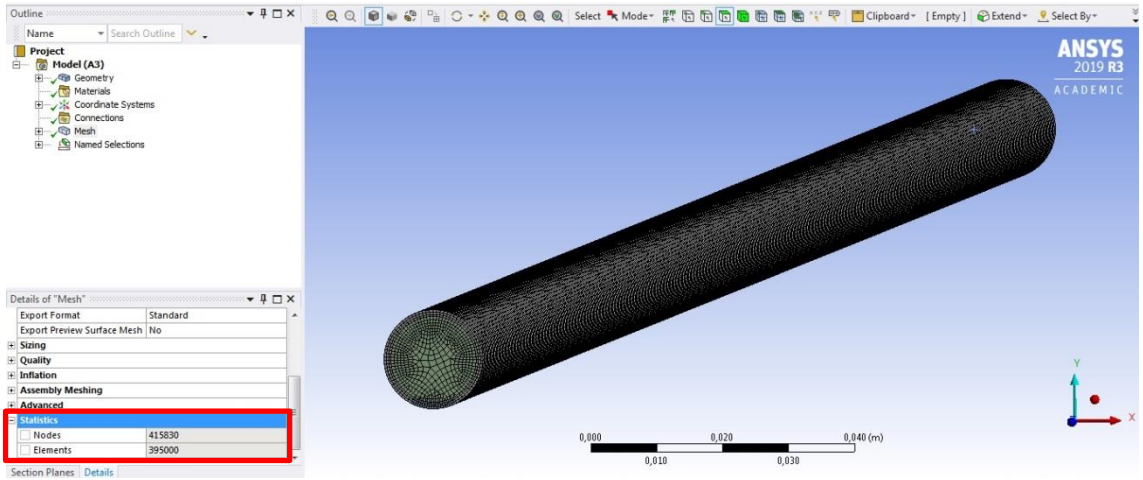


Şekil 4.27. Materyal sınır bölgelerinin belirlenmesi

Odak borusunun (Simülasyonu yapılan bölge) sınır bölgeleri, akışkan ve katı materyal, sınır yüzeyleri ve ısı geçiş bölgeleri Şekil 4.27.'de gösterildiği gibi belirlenmiştir.

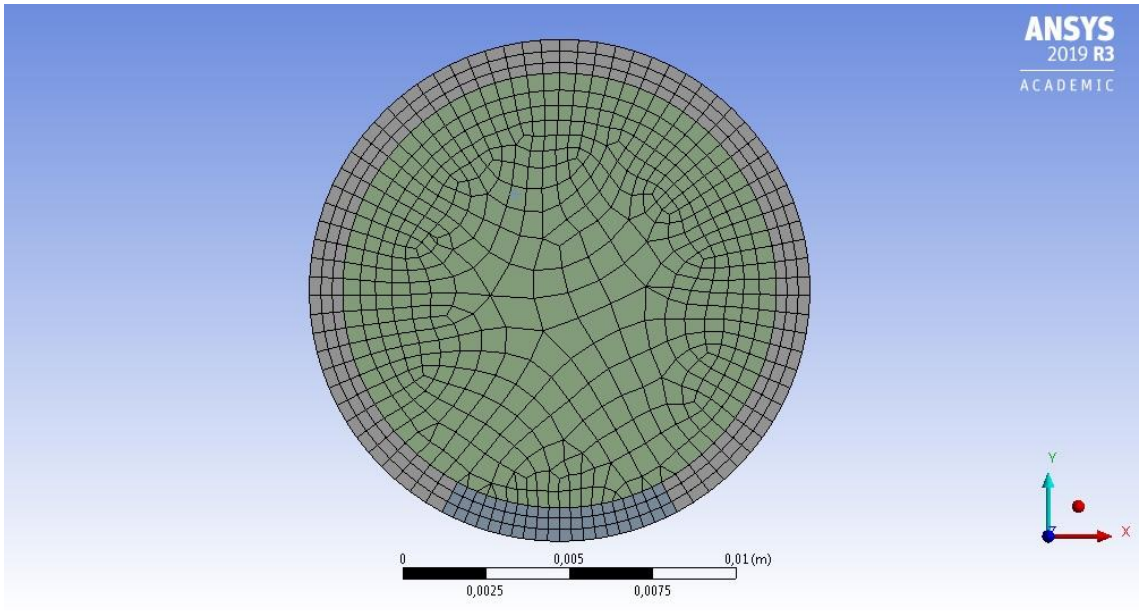
4.4.2. Sonlu Elemanlara Bölme İşlemi

Simülasyonu yapılan bölge sonlu küçük elemanlara bölünerek çözümleme yapılmıştır. Şekil 4.28.'de görüldüğü üzere simülasyon bölgesi 395000 elemana bölünmüştür.



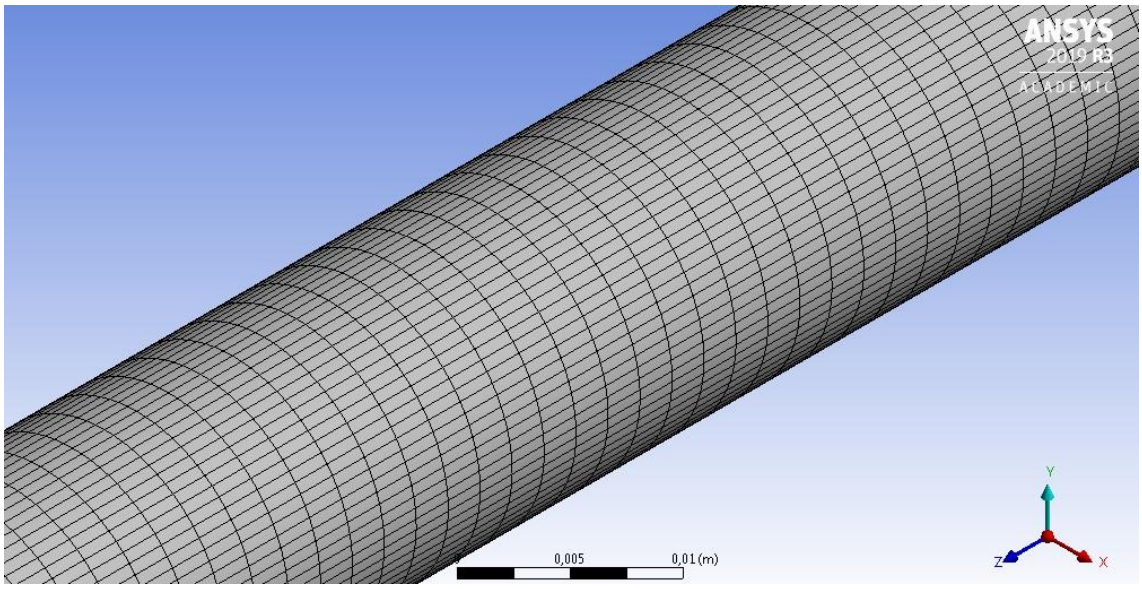
Şekil 4.28. Sonlu küçük elemanlara bölünmüş (Mesh) simülasyon bölgesi

Sınır bölgelere yakın elemanlar daha küçük boyutlara bölünmüş ve daha sıkı bir bölge dağılımı oluşturulmuştur. Böylece sonuç doğruluğu daha da arttırılmıştır.

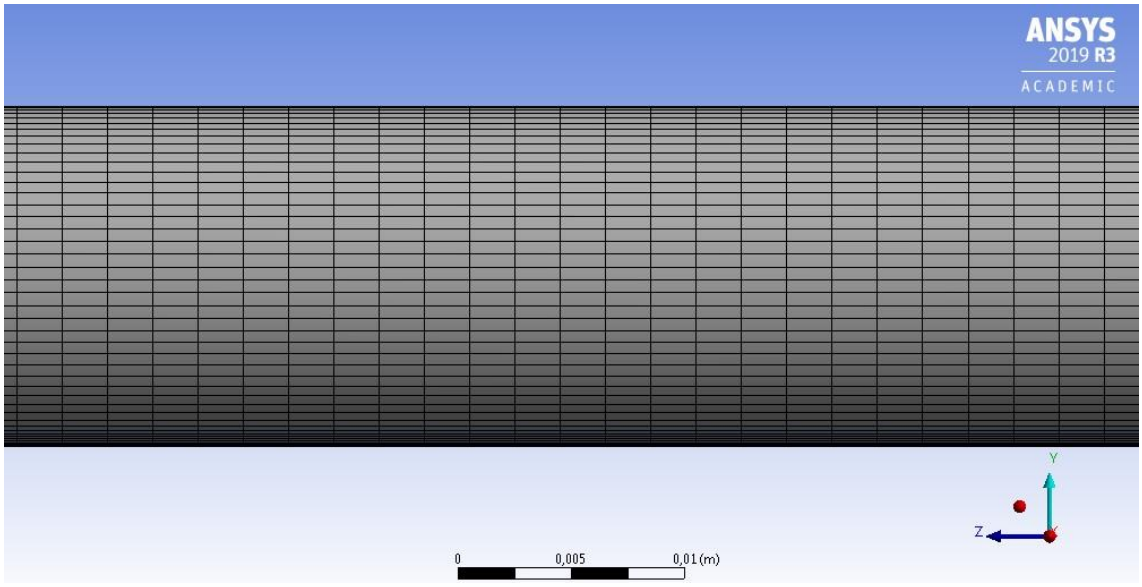


Şekil 4.29. Giriş sınırında boru, akışkan ve ısı transfer bölgesinin eleman bölümü

Simülasyon bölgesi giriş sınırında boru, akışkan ve ısı transfer bölgesinin eleman bölümü Şekil 4.29.'da gösterilmektedir. Görüldüğü üzere sınır çizgilerine yakın bölgeler daha küçük elemanlara bölünerek sıkı bir eleman ağı oluşturulmuştur.



Şekil 4.30. Boru dış duvarının eleman bölümü izometrik gösterimi

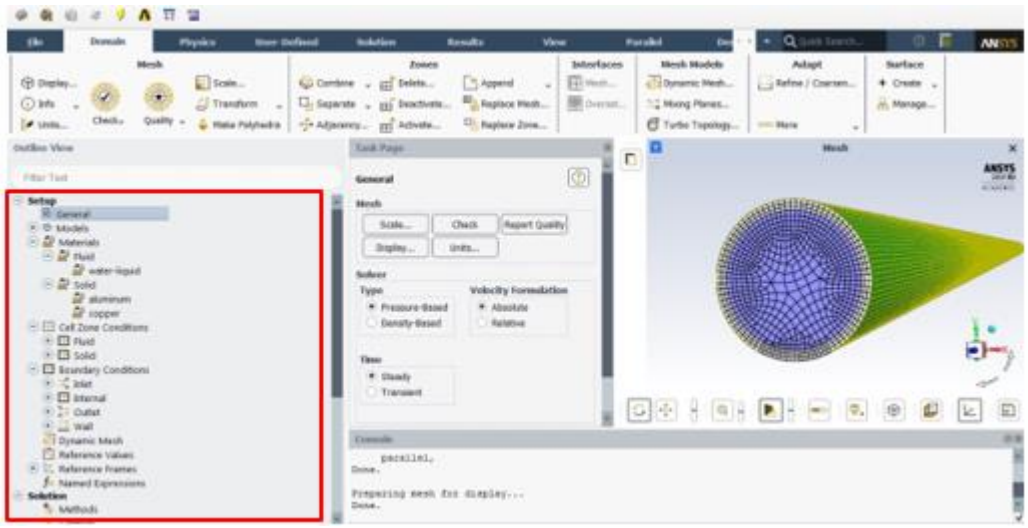


Şekil 4.31. Boru dış duvarının eleman bölümü gösterimi

4.4.3. Sınır Şartlarının Belirlenmesi

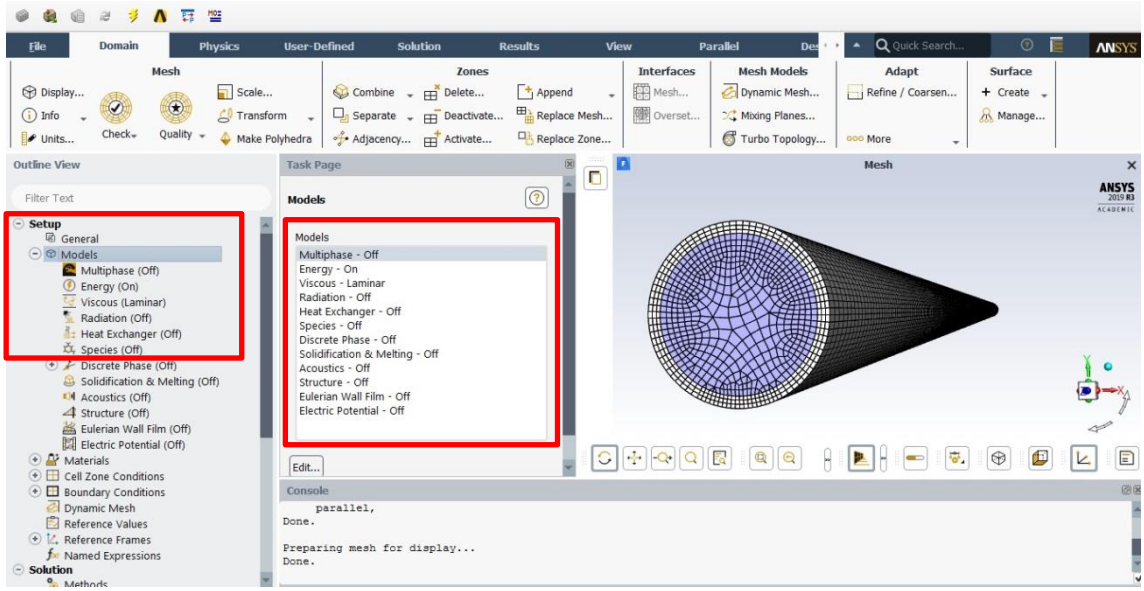
Simülasyon bölgesinin geometrik yapısı, malzeme yapısı ve sınırları belirlenmiştir. Sınır şartları deney verilerine göre oluşturulmuştur. Deneyde kullanılan iki farklı set, simülasyon tasarımında malzeme yapısı, akış şartları ve sisteme giren enerji miktarı, ölçülen ve hesaplanan deney verilerine göre düzenlenerek işlenmiştir.

Sınır şartları deney verileri kullanılarak oluşturulmuştur. Deney verileri olarak, güneş ışınım miktarı, akışkan debisi, giriş sıcaklığı, giriş basıncı ve giriş hızı kullanılmıştır. Bu sayede simülasyon şartları belirlenmiştir.



Şekil 4.32. Odak borusuna uygulanan sınır şartlarının belirlenmesi

Simülasyon çalışmasında, iki farklı deney seti veri ve şartları kullanılmıştır. Deney setinde bakır ve alüminyum malzeme odak borusu kullanıldığından, simülasyonda malzemeler buna göre düzenlenmiştir. Her bir materyal için beş farklı debi kullanılmıştır. Toplamda on farklı simülasyon oluşturulmuştur. Deneyler farklı gün, farklı hava şartları ve farklı değerlere sahip olduğundan, deneylerin verileri farklılık göstermektedir. Bu sebeple simülasyona bu farklılıklar göz önünde bulundurularak şartlar belirlenmiştir.



Şekil 4.33. Odak borusuna uygulanan enerji sınır şartlarının belirlenmesi

Yapılan deneyler sonucunda, deneysel verilerin hesaplanmasıyla elde edilen en yüksek verimlere sahip deneyler simülasyonda kullanılmıştır (Çizelge 4.6.). Bunlar on farklı debi, her debi için on altı deney (30 dakika arayla saat 09:00-16:30 aralığında) olmak üzere, toplamda yüz altmış verim hesaplanmıştır. Her debi için en yüksek verim belirlenmiştir. Böylece simülasyon için en yüksek verime sahip on deney verileri kullanılmıştır.

Çizelge 4.6. Simülasyonda kullanılan en yüksek verime sahip deney verileri

Deney kodu	Işın miktarı	Giriş sıcaklığı	Çıkış sıcaklığı	Suyun kütlesel debisi	Maksimum sıcaklık değişimi	Akan suya aktarılan ısı miktarı	Sistemin verimi
	I (W/m²)	T_1 (°C)	T_2 (°C)	$\dot{m}$ (kg/s)	ΔT (T_1 -T_2)	Q_u (W)	(%)
BB - 01	1060	41.0	114.1	0.0017	73.1	519.4	49.0
BB - 02	1077	40.3	81.9	0.0033	41.6	573.8	51.9
BB - 03	1030	40.3	68.7	0.0050	28.4	594.3	57.7
BB - 04	997	38.6	63.6	0.0067	25.0	696.9	69.9
BB - 05	1024	36.3	58.2	0.0083	21.9	762.9	74.5
AB - 01	1060	37.5	110.7	0.0017	73.2	520.5	49.1
AB - 02	1050	37.4	77.9	0.0033	40.5	558.6	53.2
AB - 03	1007	40.5	68.9	0.0050	28.4	594.1	59.0
AB - 04	1049	40.5	66.3	0.0067	25.8	718.6	68.5
AB - 05	1077	35.7	58.2	0.0083	22.5	783.0	72.7

Sınır şartları:

Debi değerleri;

m_1 = 0.0017 kg/s,

m_2 = 0.0033 kg/s,

m_3 = 0.0050 kg/s,

m_4 = 0.0067 kg/s

m_5 = 0.0083 kg/s'dir.

Giriş sıcaklığı;

Gün içerisinde değişken olduğundan, deney sırasında ölçülen değer girilmiştir.

Sisteme giren enerji miktarı;

Gün içerisinde değişken olduğundan, deney sırasında ölçülen değerler hesaplanarak elde edilmiştir. Sisteme giren enerji miktarı suya aktarılan enerjinin hesaplanmasıyla belirlenmiştir.

Giriş basıncı;

P_g = 14000 Pa'dır.

Boru malzeme tipi;

1. deney seti için bakır malzeme boru kullanılmıştır.

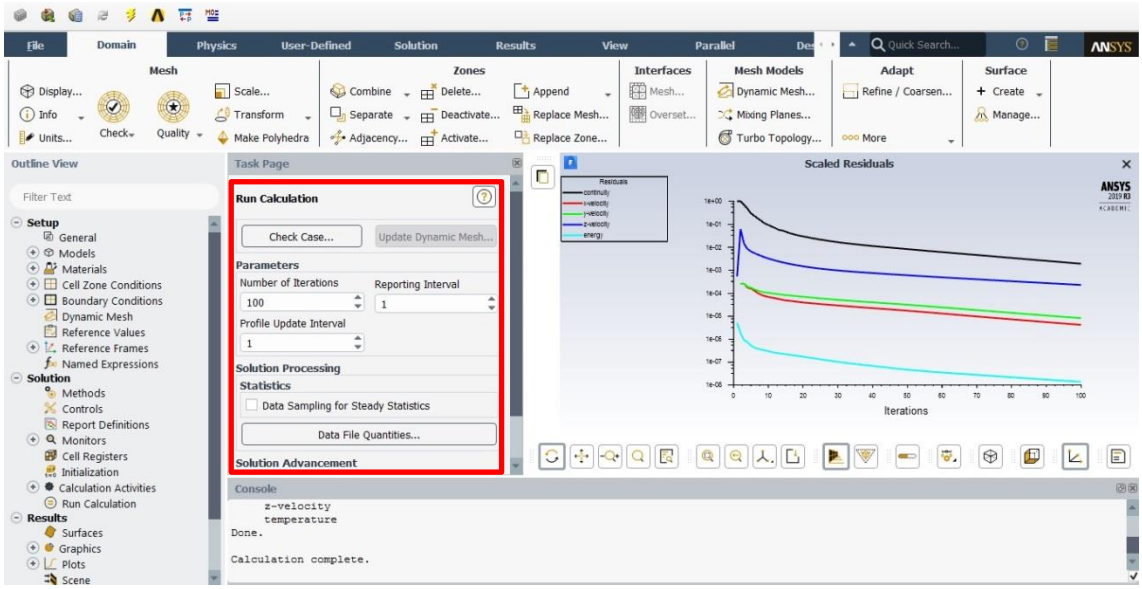
2. deney seti için alüminyum malzeme boru kullanılmıştır.

Akışkan malzeme tipi;

Her iki deney seti için sıvı hal fazında su kullanılmıştır.

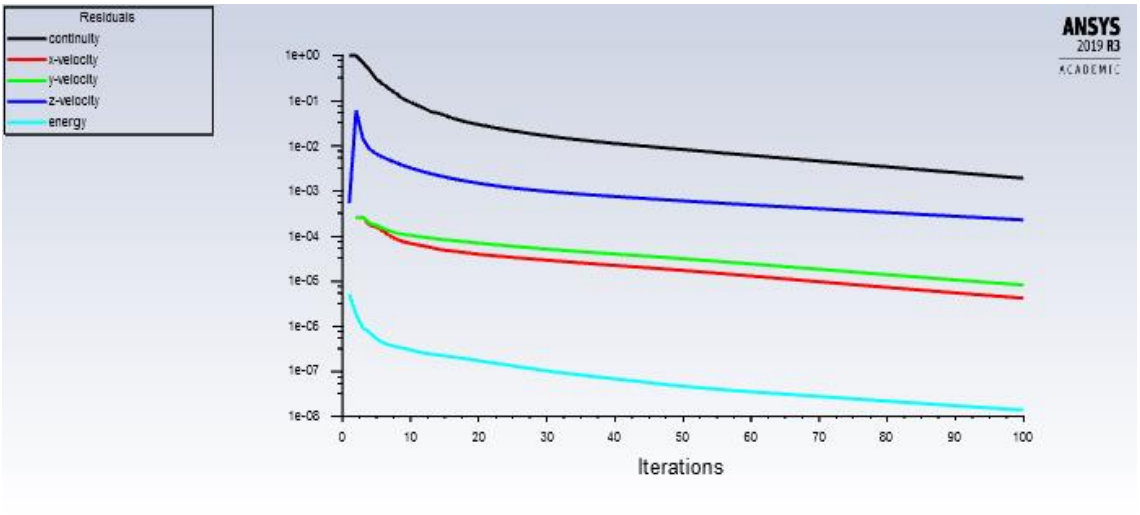
4.4.4. Çözüm

ANSYS yazılımı sonlu elemanlar metodu kullanılarak çözümleme yapmaktadır. Simülasyonu yapılacak alanın bölündüğü eleman sayısı, girilen sınır şartları referans alınarak çözümleme yapılmaktadır. Çözümleme işlemi için yüz iterasyonda gerçekleştirilmiştir. İterasyon çokluğu sonuç doğruluğunu arttırıcı bir faktördür. Bu sebeple iterasyon sayısı optimize edilerek yüz olması uygun görülmüştür.



Şekil 4.34. Çözümleme ve iterasyon aşaması

Şekil 4.34.'de görüldüğü üzere çözümleme yapılırken yüz iterasyonda çözümleme yapılmış ve tamamlanmıştır.



Şekil 4.35. Çözümleme ve iterasyon grafiği

Çözüm adımları uygulanmış ve Şekil 4.35.'de görüldüğü üzere iteraston grafiği oluşmuş olup çözümleme tamamlanmıştır.

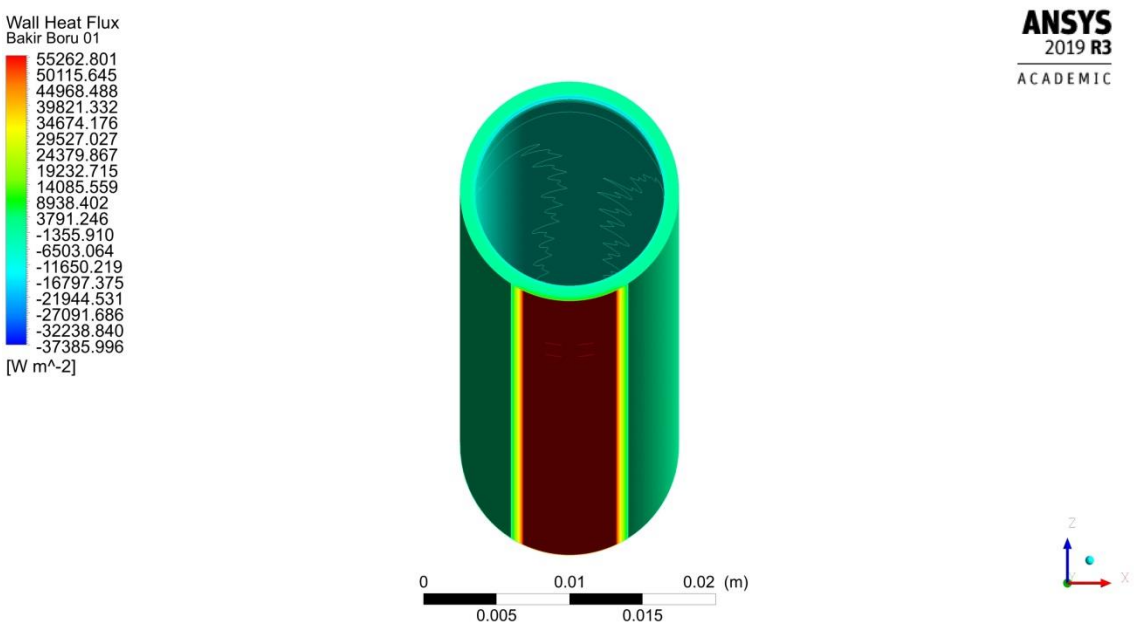
4.4.5. Sonuç

Yansıtıcı yüzeye gelen güneş ışınımı doğrusal olarak odak borusunda yoğunlaştırılmaktadır. Odak borusunda yoğunlaştırılan güneş ışınımı odak borusunun dış yüzeyinde sıcaklığın artmasına sebep olmaktadır. Bu sayede ısı içerisinden akışkan geçen odak borusundan sırasıyla iletim ve taşınım yoluyla akışkana aktarılmakta, böylece akışkan sıcaklığı artmaktadır. Bu işlem, uygulanan tüm deney ve simülasyonlarda farklı şartlara göre tekrar ederek amaçlanan akışkan sıcaklığının arttırılması sağlanmaktadır.

Sisteme Giren enerjinin tümü suya aktarılamamaktadır. Gelen enerjinin bir kısmı ısı transferi yoluyla çevreye aktarılmaktadır. Bu istenmeyen bir kayıptır. Sisteme giren enerjinin suya aktarılan kısmı faydalanılan enerjidir. Deneysel çalışma sonuçları referans alınarak yapılan hesaplamalarda suya aktarılan enerji miktarı hesaplanmıştır. Bu çalışmada, simülasyonu yapılan bölgeye giren enerji faydalı enerji olup, bu enerji kayıpsız olarak suya aktarılmıştır. Simülasyonu yapılan bölgede, akışkan sisteme giren enerjiyi kayıpsız sönümlemektedir. Bu sebeple simülasyon şartları belirlenirken sisteme giren enerji olarak suya aktarılan enerji baz alınmıştır.

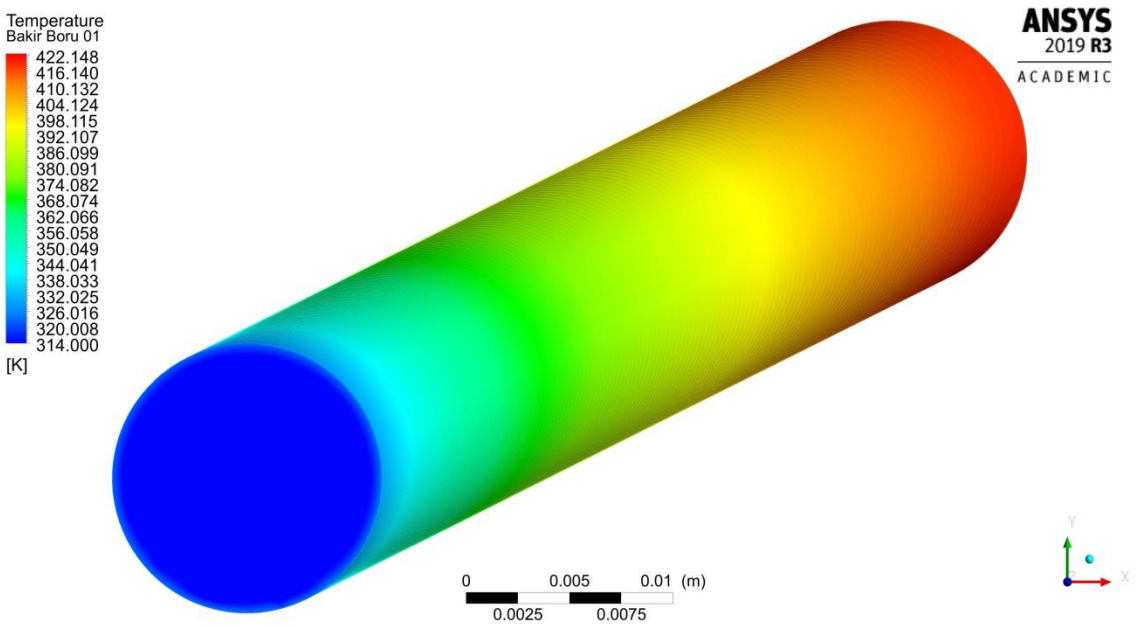
4.4.5.1. Bakır Boru 0.0017 kg/s Debi Sonucu

Bu çalışmada kullanılan en düşük debi m_1 = 0.0017 kg/s'dir. Bu sebeple en yüksek çıkış sıcaklığı ve en düşük hız bu debide okunmuştur. Sisteme giren enerji 55730 W/m^2'dir. Yansıtıcı yüzeye gelen güneş ışınımı doğrusal olarak odak borusunda yoğunlaştığı Şekil 4.36.'da görülmektedir.



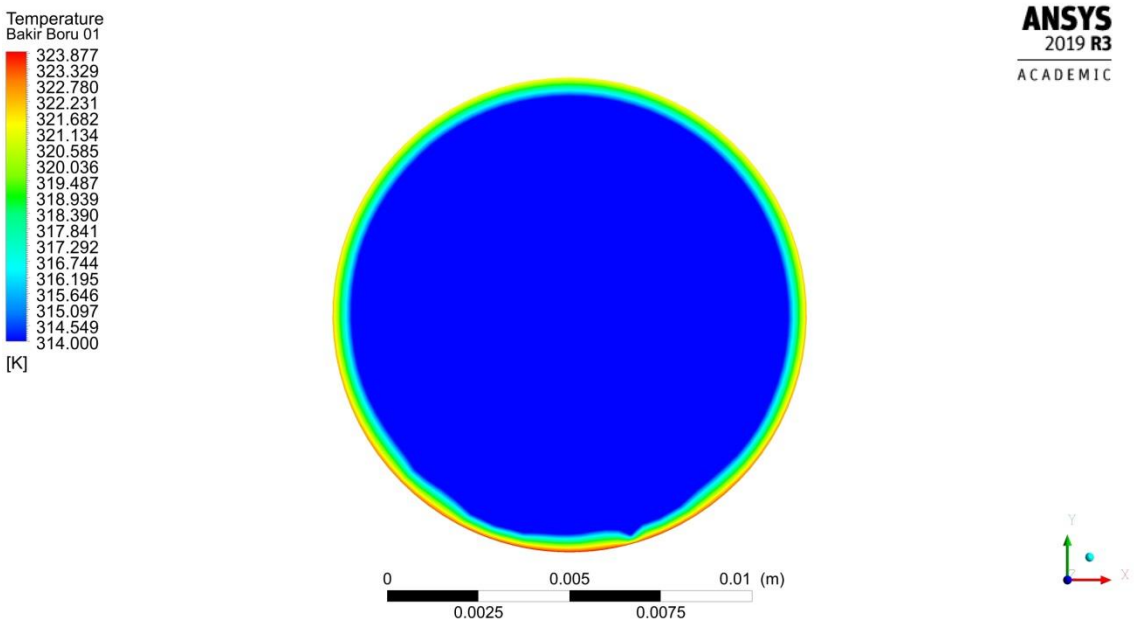
Şekil 4.36. 0.0017 kg/s debi için odak borusu ısıl dağılımı

Yoğunlaştırılan güneş ışınlarının borunun dış yüzeyinin alt kısmında doğrusal olarak odaklandığı ve odak noktasından uzaklaştıkça ısı dağılımının azaldığı görülmektedir. Boru boyunca uzanan yüzeydeki ısı yoğunluğu iletim ve taşınım yoluyla akışkana transfer olarak, akışkanın çıkış noktasına kadar sıcaklığının artmasına sebep olmaktadır.



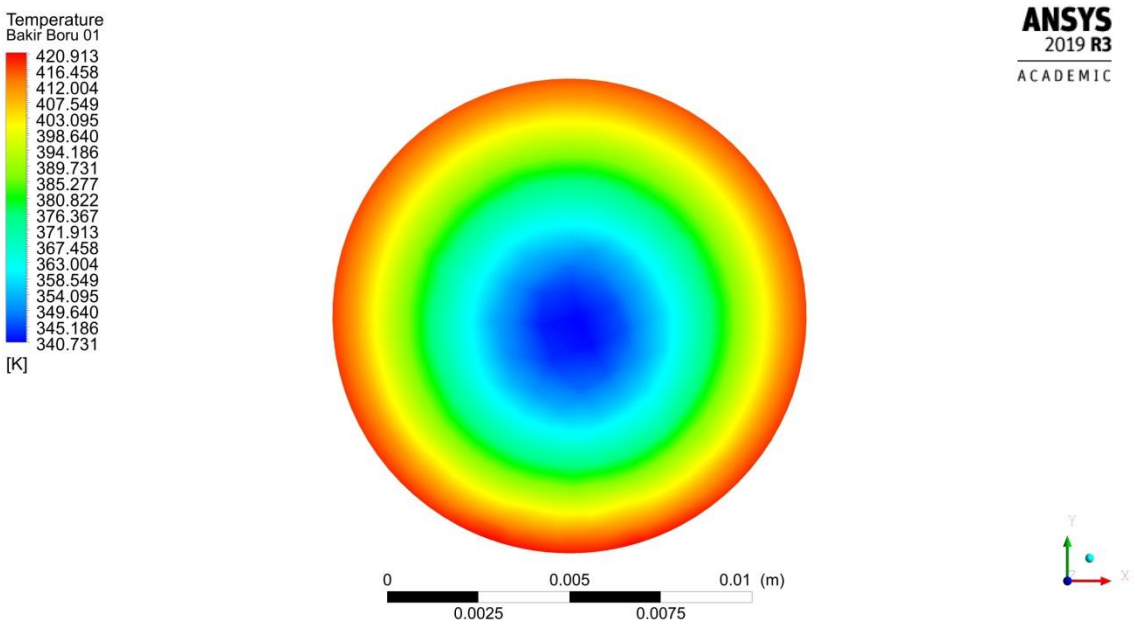
Şekil 4.37. 0.0017 kg/s debide akışkan sıcaklık dağılımı

Boru üzerine yoğunlaştırılan ısı, iletim yoluyla tüm boruya homojen olarak yayılmakta ve taşınım yoluyla akışkana aktarılmaktadır. Bu sebeple akışkan sıcaklık dağılımının verildiği Şekil 4.37.'de boru içerisinden geçen akışkanın sıcaklığının çıkışa doğru arttığı görülmektedir.



Şekil 4.38. 0.0017 kg/s debide akışkan giriş sıcaklığı dağılımı

Odak borusuna giren akışkan sıcaklığı 41 °C (314 K) iken, sıcaklığı yükselmiş borunun iç yüzeylerine temas eden bölgelerde sıcaklık 50 °C (323 K)'ye yükseldiği Şekil 4.38.'de görülmektedir.



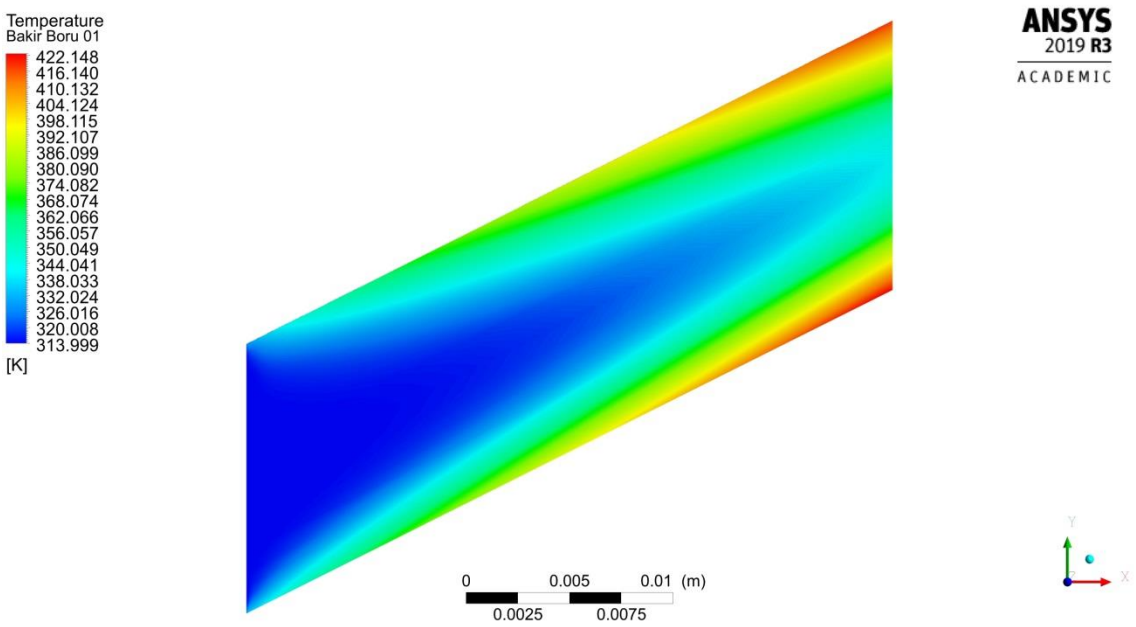
Şekil 4.39. 0.0017 kg/s debide akışkan çıkış sıcaklığı dağılımı

Odak borusu çıkış noktasında sıcaklığın ortalama değeri, ANSYS/Report/Surface İntegrals ara yüzü kullanılarak iki değer tespit edilmektedir. Alan ağırlıklı ortalama (Area-Weighted Average) ve Kütle ağırlıklı ortalama (Mass-Weighted Average) üzerinden çıkış sıcaklık değerleri tespit edilmiştir.

Kütle ağırlıklı ortalama: 97 °C (370 K)

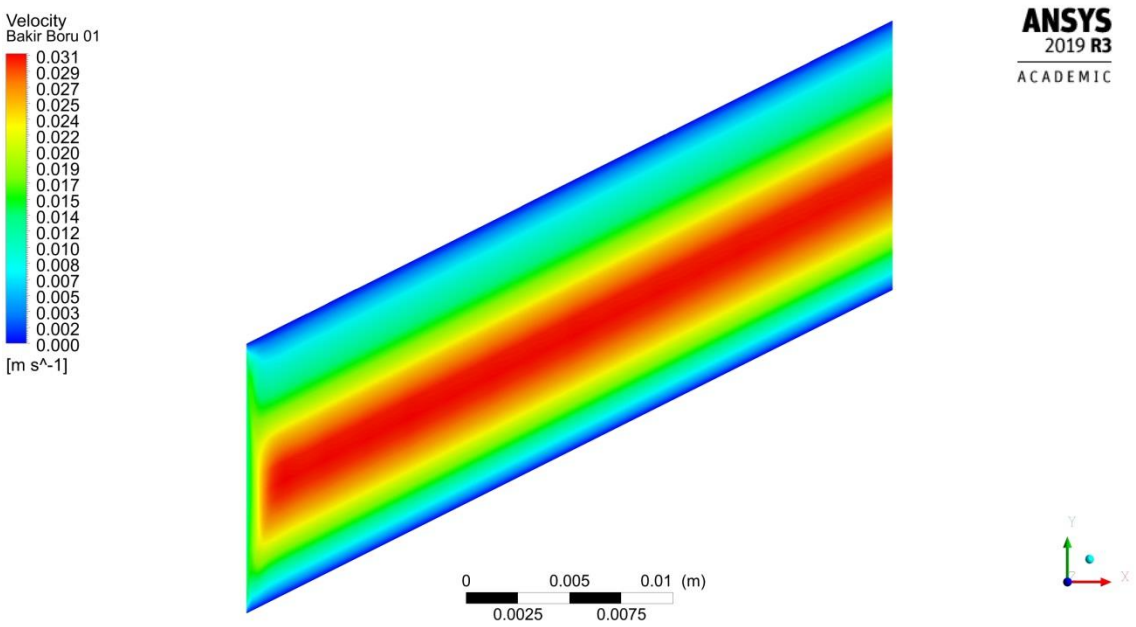
Alan ağırlıklı ortalama: 112 °C (385 K)

Ancak akışkan, odak borusu çıkışında sıcaklığı yükselmiş borunun iç yüzeylerine temas eden bölgelerde sıcaklık 147 °C (420 K)'ye yükseldiği Şekil 4.39.'da görülmektedir.



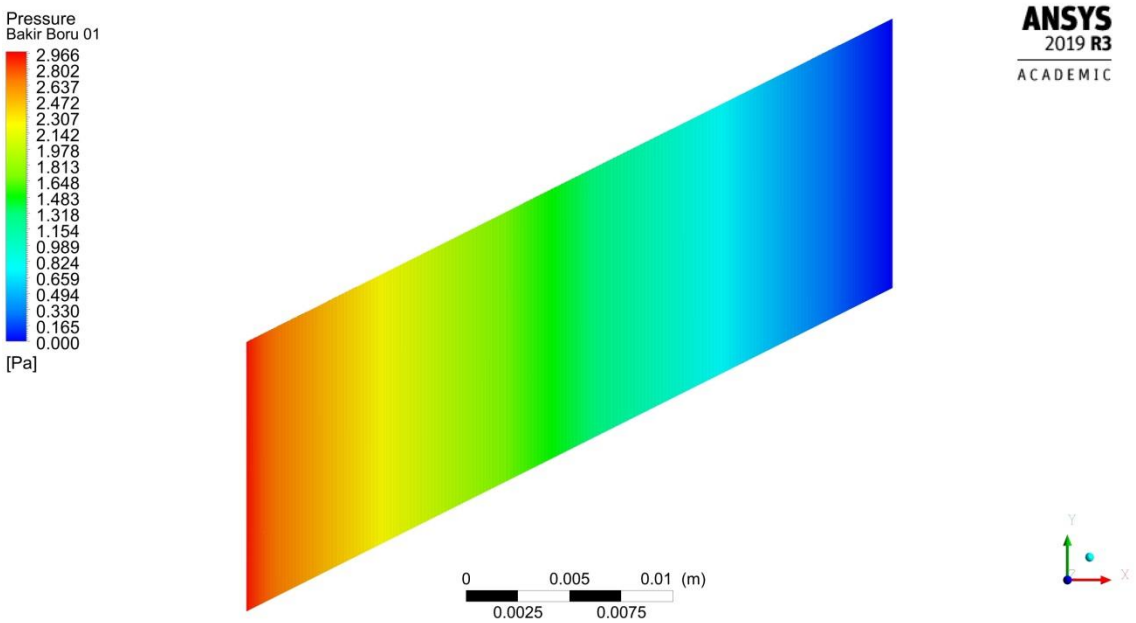
Şekil 4.40. 0.0017 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin sıcaklığı dağılımı

Akışkanın boru merkezinde meydana gelen akış sıcaklık dağılımı Şekil 4.40.'da boru merkez çizgisi boyunca boyuna kesiti verilmiştir. Akışın sıcaklık dağılımı, boru merkezine yakın bölgelerde düşük iken boru iç yüzeyine yakın bölgelerde daha yüksektir. Borunun ısınması, borunun iç yüzey sıcaklığının artmasına, dolayısıyla akış sırasında borunun iç yüzeyine temas eden akışkanın sıcaklığının boru boyunca yükselmesine sebep olmaktadır.



Şekil 4.41. 0.0017 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin hız dağılımı

Boru akışlarında hız profili, çeperlerde yavaş, merkeze doğru gidildikçe artmakta, merkezde ise en yüksek hıza ulaşmaktadır. Boru iç yüzeylerinde (sınır tabaka) en büyük çapta hız sıfırdır. Şekil 4.41.'de görüldüğü üzere en yüksek hız merkezde 0.0031 m/s, en düşük hız boru iç yüzeylerinde 0 m/s olarak tespit edilmiştir.

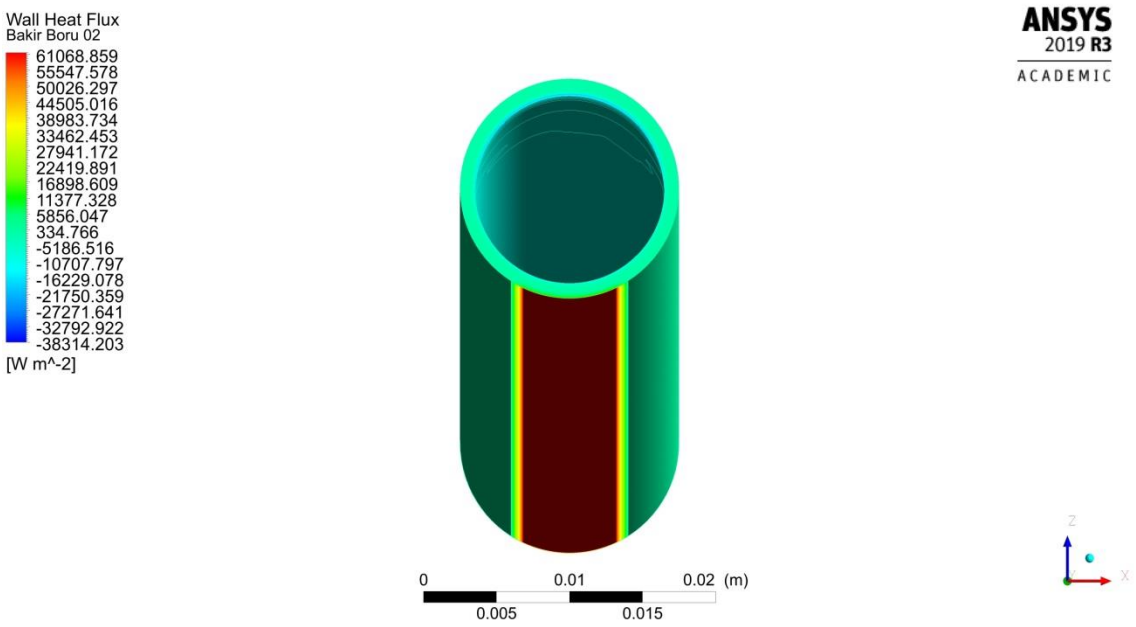


Şekil 4.42. 0.0017 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin basınç dağılımı

Boru merkez çizgisi boyunca kesitinin basınç dağılımı girişte yüksek iken çıkışa doğru atmosfere açık olan boru basıncı düşmüştür. Çıkış basıncı 0 Pa olarak tespit edilmiştir.

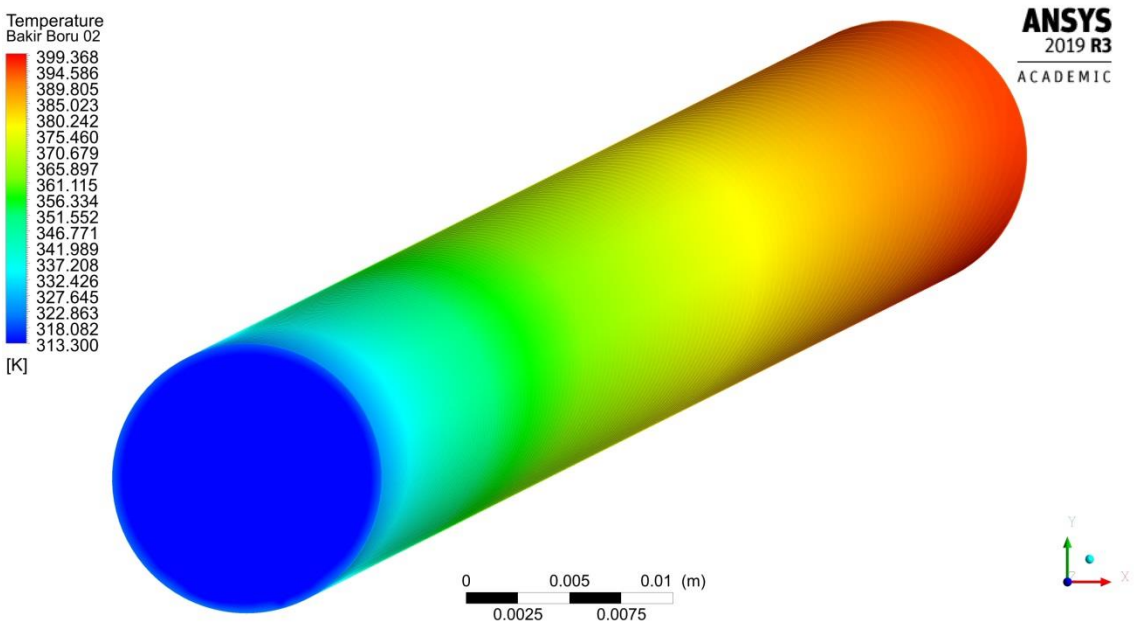
4.4.5.2. Bakır Boru 0.0033 kg/s Debi Sonucu

Bu debide, sisteme giren enerji 61570 W/m^2'dir. Yansıtıcı yüzeye gelen güneş ışınımı doğrusal olarak odak borusunda yoğunlaştığı Şekil 4.43.'de görülmektedir.



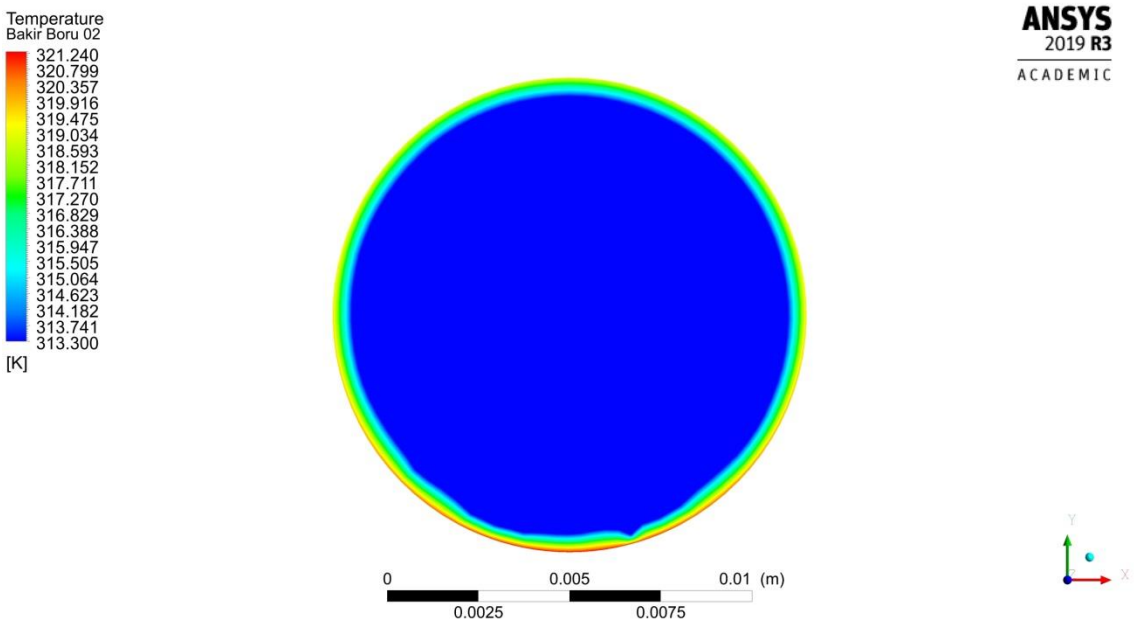
Şekil 4.43. 0.0033 kg/s debi için odak borusu ısıl dağılımı

Yoğunlaştırılan güneş ışınlarının borunun dış yüzeyinin alt kısmında doğrusal olarak odaklandığı ve odak noktasından uzaklaştıkça ısı dağılımının azaldığı görülmektedir. Boru boyunca uzanan yüzeydeki ısı yoğunluğu iletim ve taşınım yoluyla akışkana transfer olarak, akışkanın çıkış noktasına kadar sıcaklığının artmasına sebep olmaktadır.



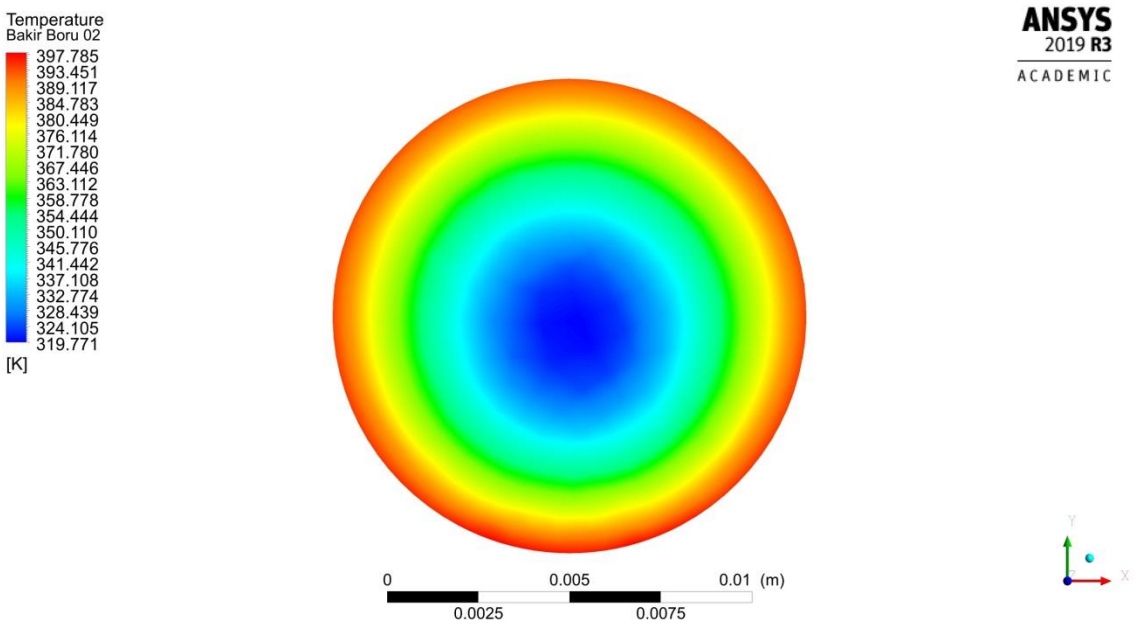
Şekil 4.44. 0.0033 kg/s debide akışkan sıcaklık dağılımı

Boru üzerine yoğunlaştırılan ısı, iletim yoluyla tüm boruya homojen olarak yayılmakta ve taşınım yoluyla akışkana aktarılmaktadır. Bu sebeple akışkan sıcaklık dağılımının verildiği Şekil 4.44.'de boru içerisinden geçen akışkanın sıcaklığının çıkışa doğru arttığı görülmektedir.



Şekil 4.45. 0.0033 kg/s debide akışkan giriş sıcaklığı dağılımı

Odak borusuna giren akışkan sıcaklığı 40.3 °C (313.3 K) iken, sıcaklığı yükselmiş borunun iç yüzeylerine temas eden bölgelerde sıcaklık 48 °C (321 K)'ye yükseldiği Şekil 4.45.'de görülmektedir.



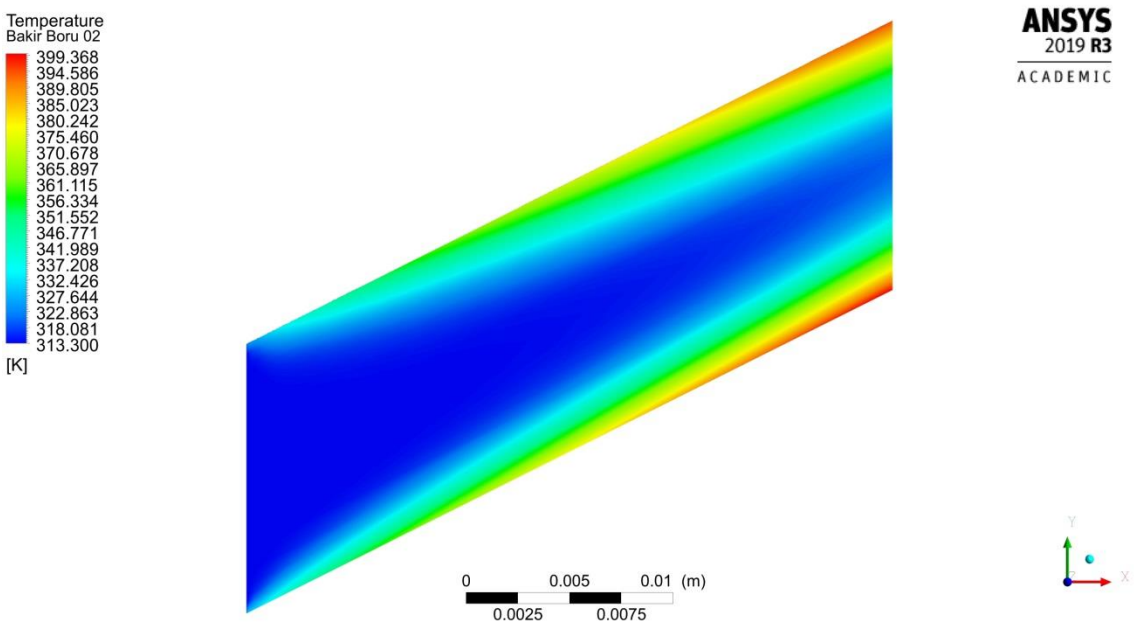
Şekil 4.46. 0.0033 kg/s debide akışkan çıkış sıcaklığı dağılımı

Odak borusu çıkış noktasında sıcaklığın ortalama değeri, ANSYS/Report/Surface İntegrals ara yüzü kullanılarak iki değer tespit edilmektedir. Alan ağırlıklı ortalama ve Kütle ağırlıklı ortalama üzerinden çıkış sıcaklık değerleri tespit edilmiştir.

Kütle ağırlıklı ortalama: 72 °C (345 K)

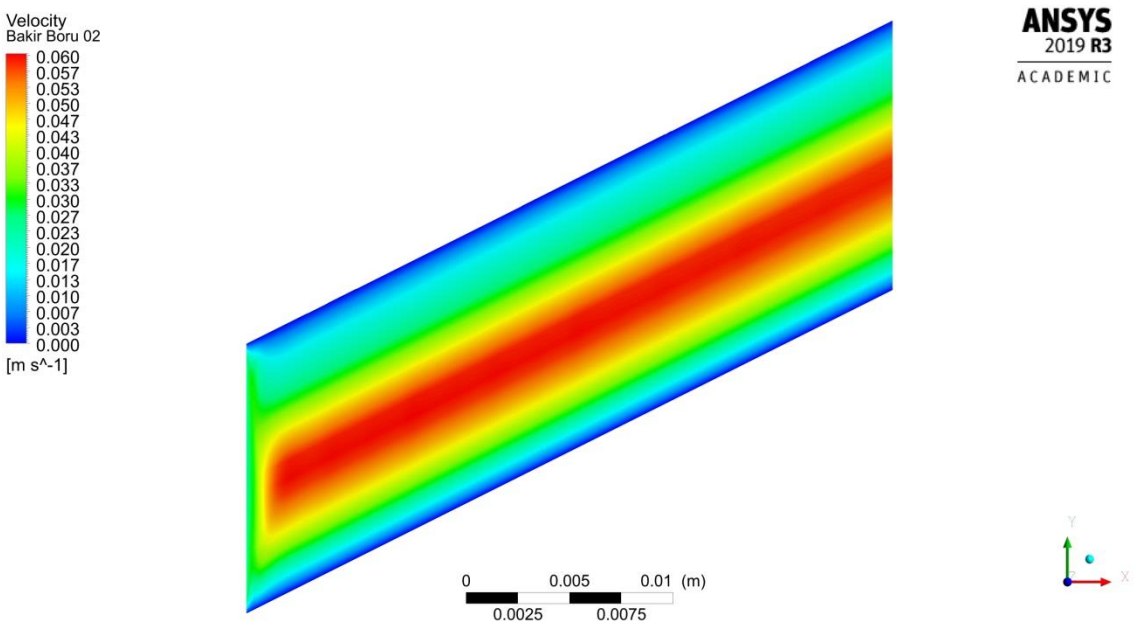
Alan ağırlıklı ortalama: 87 °C (360 K)

Ancak akışkan, odak borusu çıkışında sıcaklığı yükselmiş borunun iç yüzeylerine temas eden bölgelerde sıcaklık 124 °C (397 K)'ye yükseldiği Şekil 4.46.'da görülmektedir.



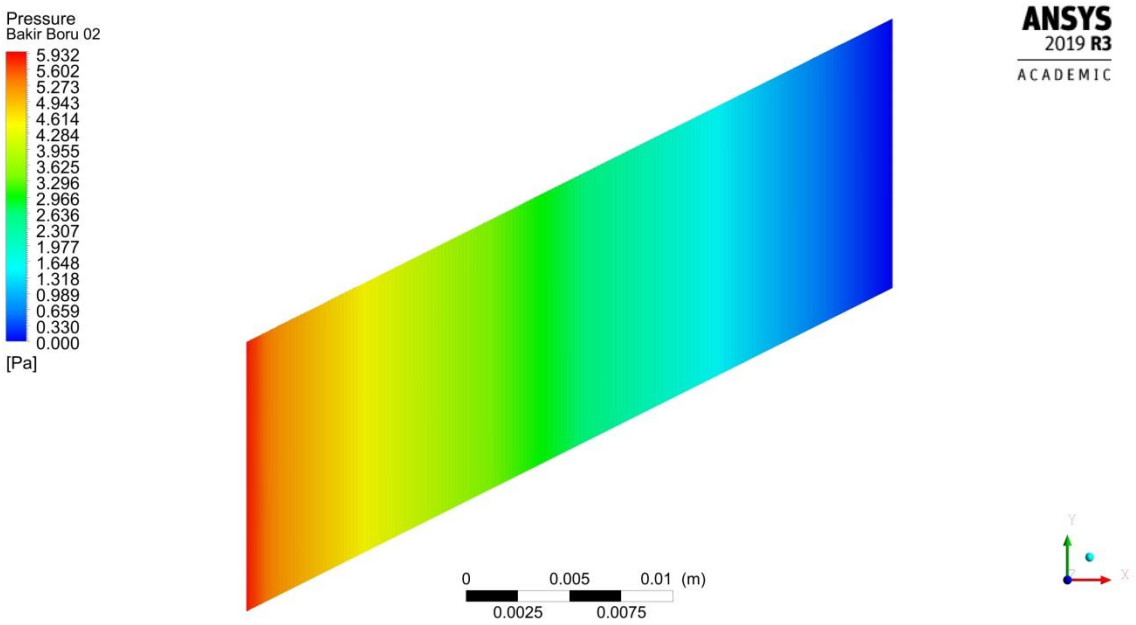
Şekil 4.47. 0.0033 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin sıcaklığı dağılımı

Akışkanın boru merkezinde meydana gelen akış sıcaklık dağılımı Şekil 4.47.'de boru merkez çizgisi boyunca boyuna kesiti verilmiştir. Akışın sıcaklık dağılımı, boru merkezine yakın bölgelerde düşük iken boru iç yüzeyine yakın bölgelerde daha yüksektir. Borunun ısınması, borunun iç yüzey sıcaklığının artmasına, dolayısıyla akış sırasında borunun iç yüzeyine temas eden akışkanın sıcaklığının boru boyunca yükselmesine sebep olmaktadır.



Şekil 4.48. 0.0033 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin hız dağılımı

Boru akışlarında hız profili, çeperlerde yavaş, merkeze doğru gidildikçe artmakta, merkezde ise en yüksek hıza ulaşmaktadır. Boru iç yüzeylerinde (sınır tabaka) en büyük çapta hız sıfırdır. Şekil 4.48.'de görüldüğü üzere en yüksek hız merkezde 0.060 m/s, en düşük hız boru iç yüzeylerinde 0 m/s olarak tespit edilmiştir.

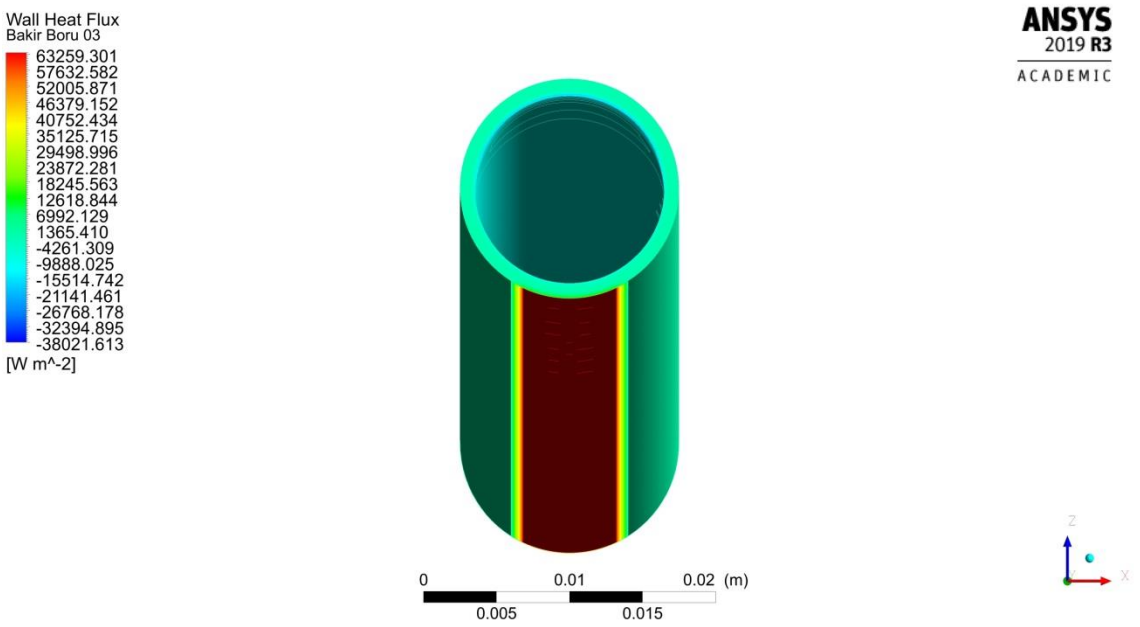


Şekil 4.49. 0.0033 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin basınç dağılımı

Boru merkez çizgisi boyunca kesitinin basınç dağılımı girişte yüksek iken çıkışa doğru atmosfere açık olan boru basıncı düşmüştür. Çıkış basıncı 0 Pa olarak tespit edilmiştir.

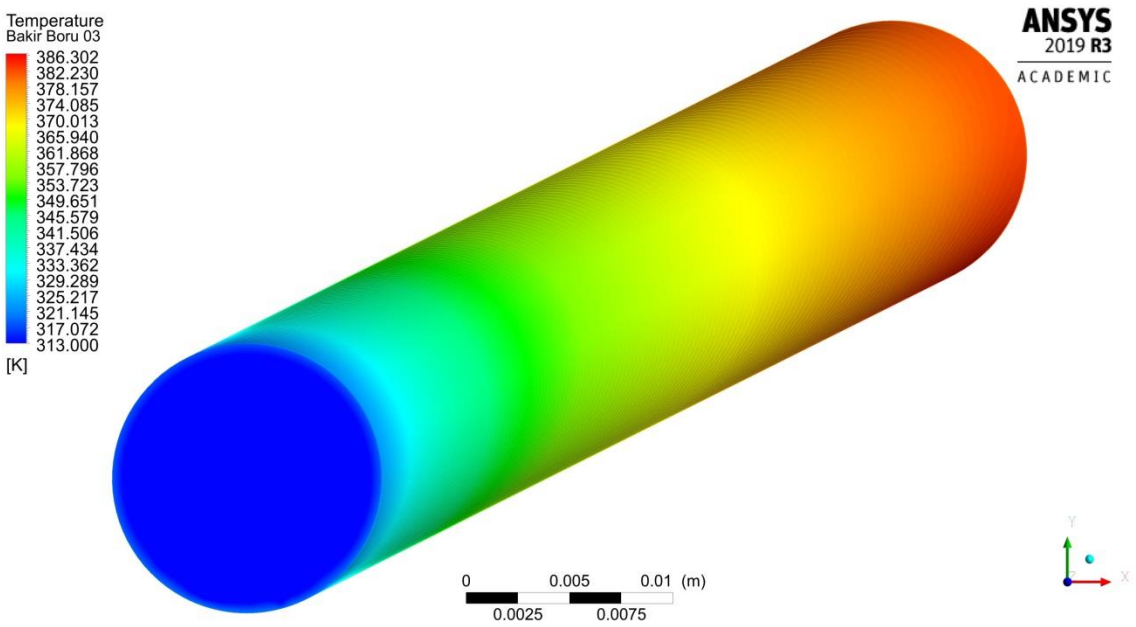
4.4.5.3. Bakır Boru 0.0050 kg/s Debi Sonucu

Bu debide, sisteme giren enerji 63770 W/m^2'dir. Yansıtıcı yüzeye gelen güneş ışınımı doğrusal olarak odak borusunda yoğunlaştığı Şekil 4.50.'de görülmektedir.



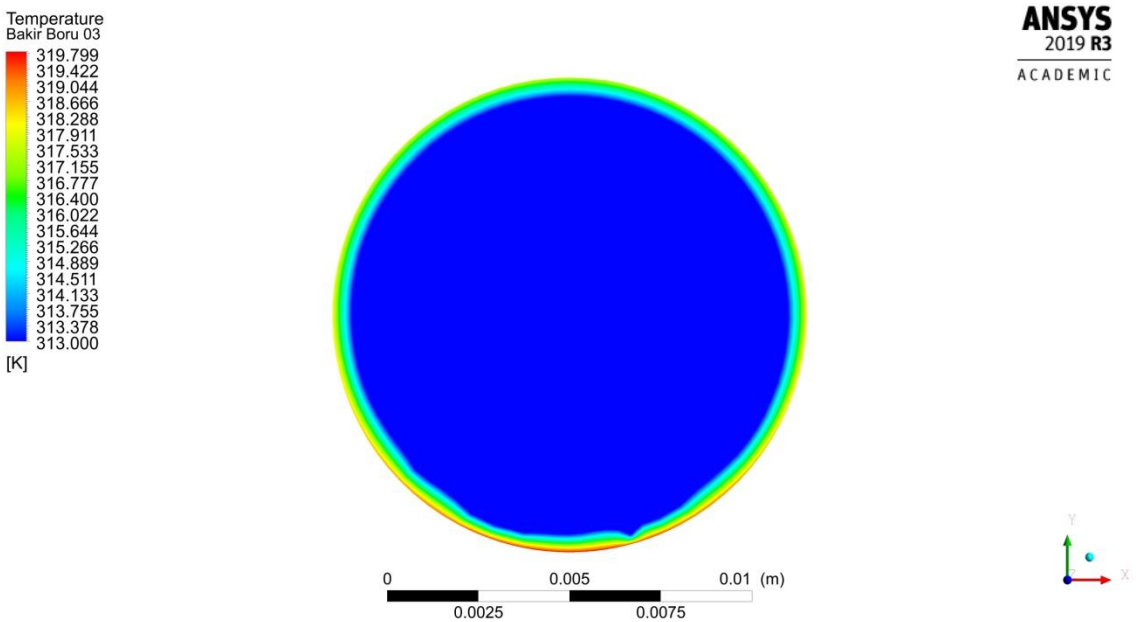
Şekil 4.50. 0.0050 kg/s debi için odak borusu ısıl dağılımı

Yoğunlaştırılan güneş ışınlarının borunun dış yüzeyinin alt kısmında doğrusal olarak odaklandığı ve odak noktasından uzaklaştıkça ısı dağılımının azaldığı görülmektedir. Boru boyunca uzanan yüzeydeki ısı yoğunluğu iletim ve taşınım yoluyla akışkana transfer olarak, akışkanın çıkış noktasına kadar sıcaklığının artmasına sebep olmaktadır.



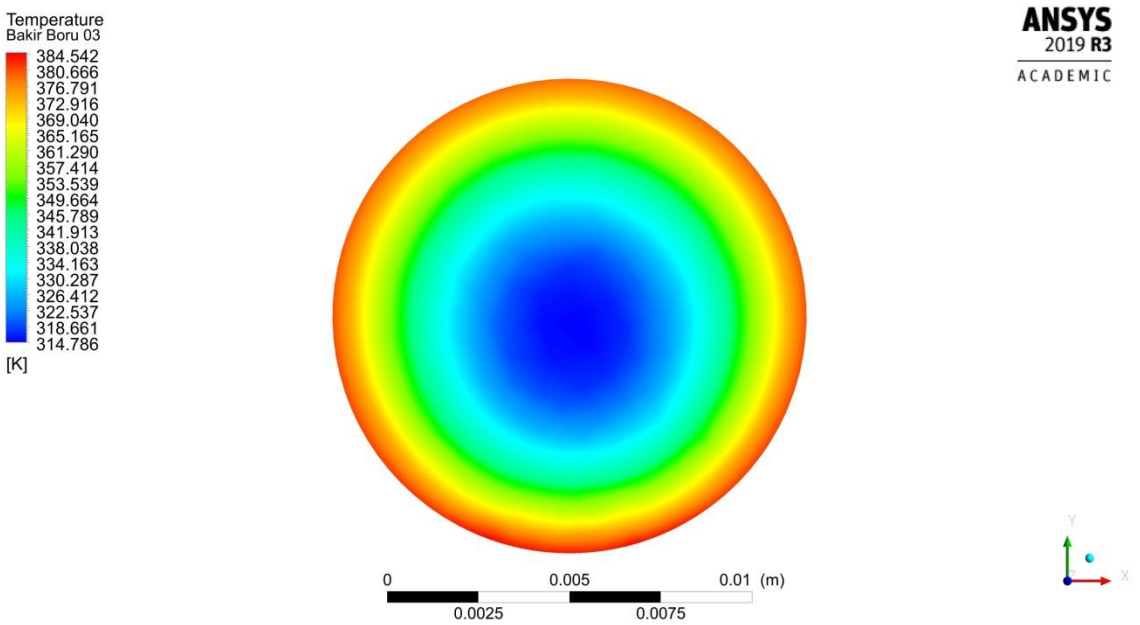
Şekil 4.51. 0.0050 kg/s debide akışkan sıcaklık dağılımı

Boru üzerine yoğunlaştırılan ısı, iletim yoluyla tüm boruya homojen olarak yayılmakta ve taşınım yoluyla akışkana aktarılmaktadır. Bu sebeple akışkan sıcaklık dağılımının verildiği Şekil 4.51.'de boru içerisinden geçen akışkanın sıcaklığının çıkışa doğru arttığı görülmektedir.



Şekil 4.52. 0.0050 kg/s debide akışkan giriş sıcaklığı dağılımı

Odak borusuna giren akışkan sıcaklığı 40.3 °C (313.3 K) iken, sıcaklığı yükselmiş borunun iç yüzeylerine temas eden bölgelerde sıcaklık 46 °C (319 K)'ye yükseldiği Şekil 4.51.'de görülmektedir.



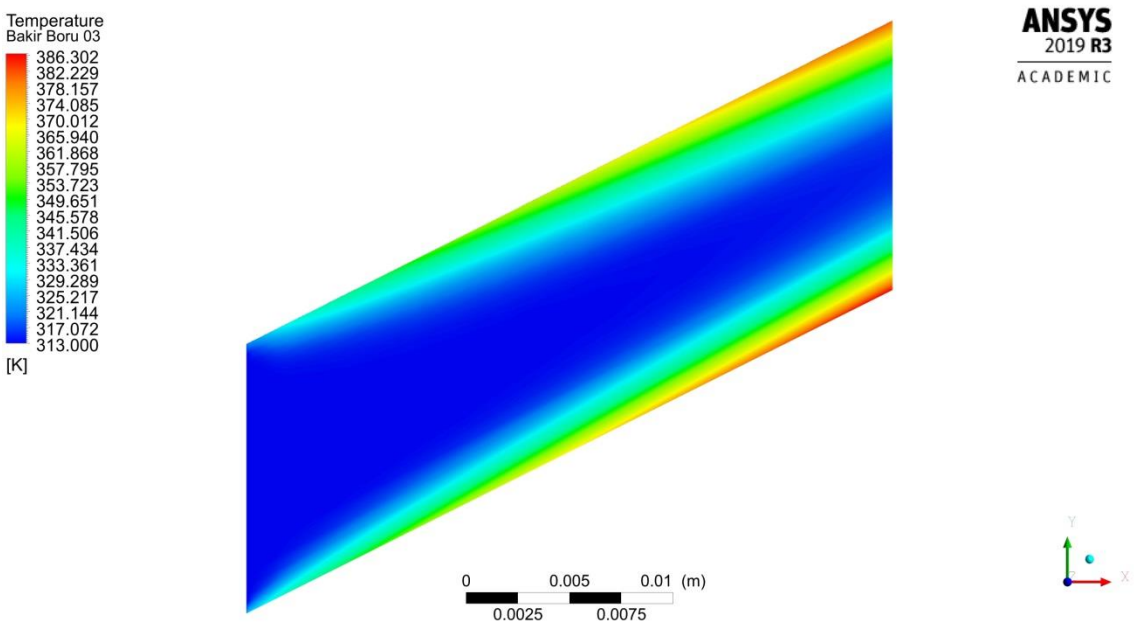
Şekil 4.53. 0.0050 kg/s debide akışkan çıkış sıcaklığı dağılımı

Odak borusu çıkış noktasında sıcaklığın ortalama değeri, ANSYS/Report/Surface İntegrals ara yüzü kullanılarak iki değer tespit edilmektedir. Alan ağırlıklı ortalama ve Kütle ağırlıklı ortalama üzerinden çıkış sıcaklık değerleri tespit edilmiştir.

Kütle ağırlıklı ortalama: 62 °C (335 K)

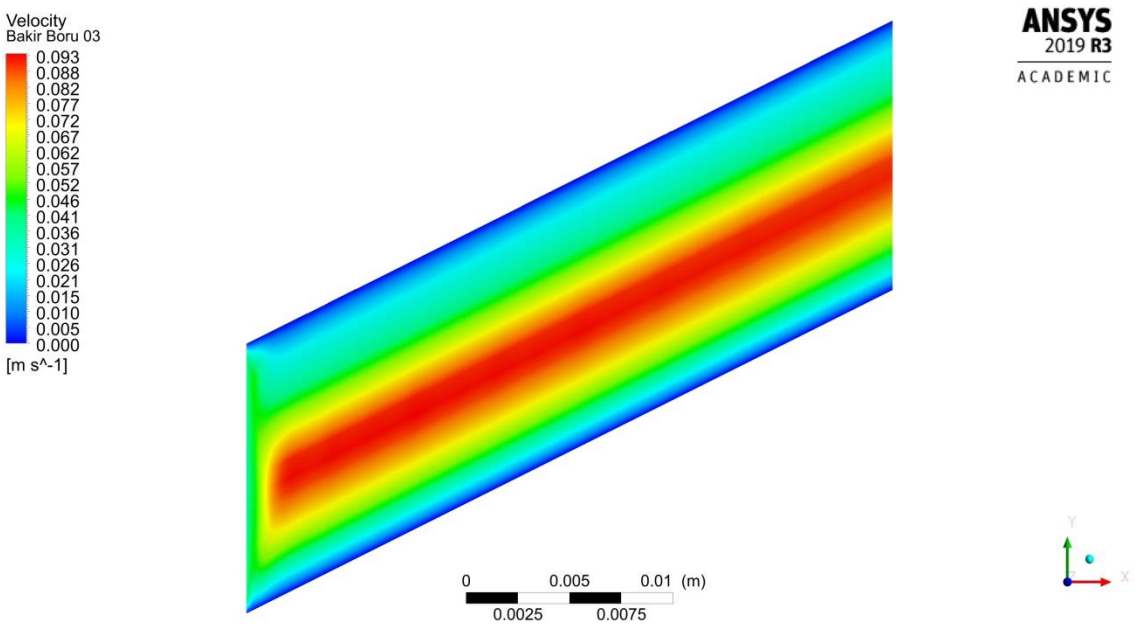
Alan ağırlıklı ortalama: 74 °C (347 K)

Ancak akışkan, odak borusu çıkışında sıcaklığı yükselmiş borunun iç yüzeylerine temas eden bölgelerde sıcaklık 111 °C (384 K)'ye yükseldiği Şekil 4.53.'de görülmektedir.



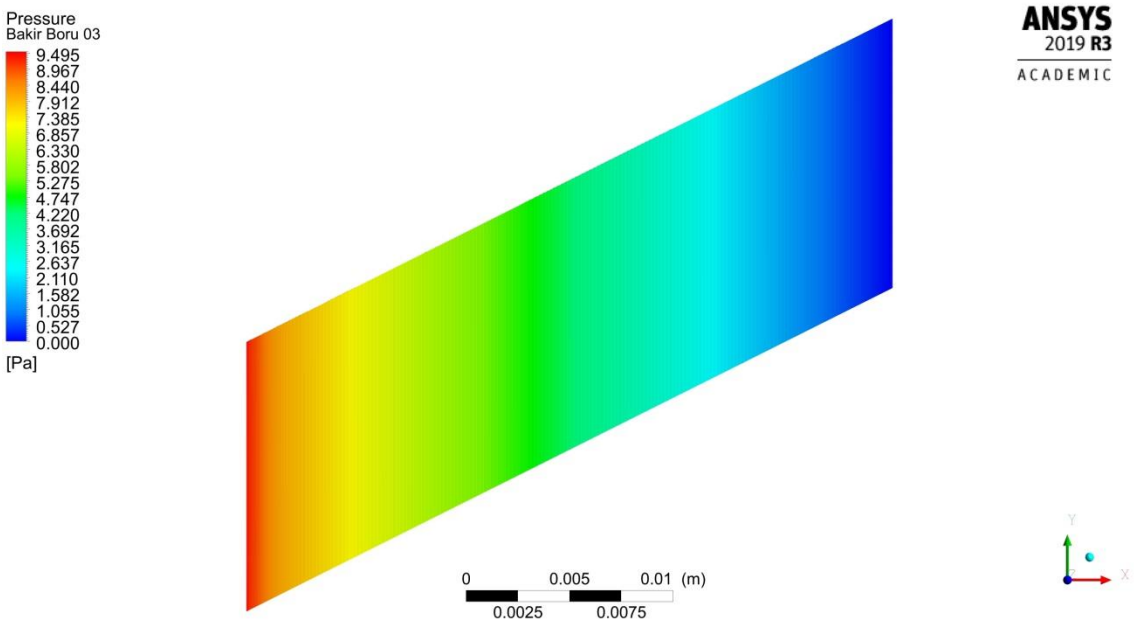
Şekil 4.54. 0.0050 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin sıcaklığı dağılımı

Akışkanın boru merkezinde meydana gelen akış sıcaklık dağılımı Şekil 4.54.'de boru merkez çizgisi boyunca boyuna kesiti verilmiştir. Akışın sıcaklık dağılımı, boru merkezine yakın bölgelerde düşük iken boru iç yüzeyine yakın bölgelerde daha yüksektir. Borunun ısınması, borunun iç yüzey sıcaklığının artmasına, dolayısıyla akış sırasında borunun iç yüzeyine temas eden akışkanın sıcaklığının boru boyunca yükselmesine sebep olmaktadır.



Şekil 4.55. 0.0050 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin hız dağılımı

Boru akışlarında hız profili, çeperlerde yavaş, merkeze doğru gidildikçe artmakta, merkezde ise en yüksek hıza ulaşmaktadır. Boru iç yüzeylerinde (sınır tabaka) en büyük çapta hız sıfırdır. Şekil 4.55.'de görüldüğü üzere en yüksek hız merkezde 0.093 m/s, en düşük hız boru iç yüzeylerinde 0 m/s olarak tespit edilmiştir.

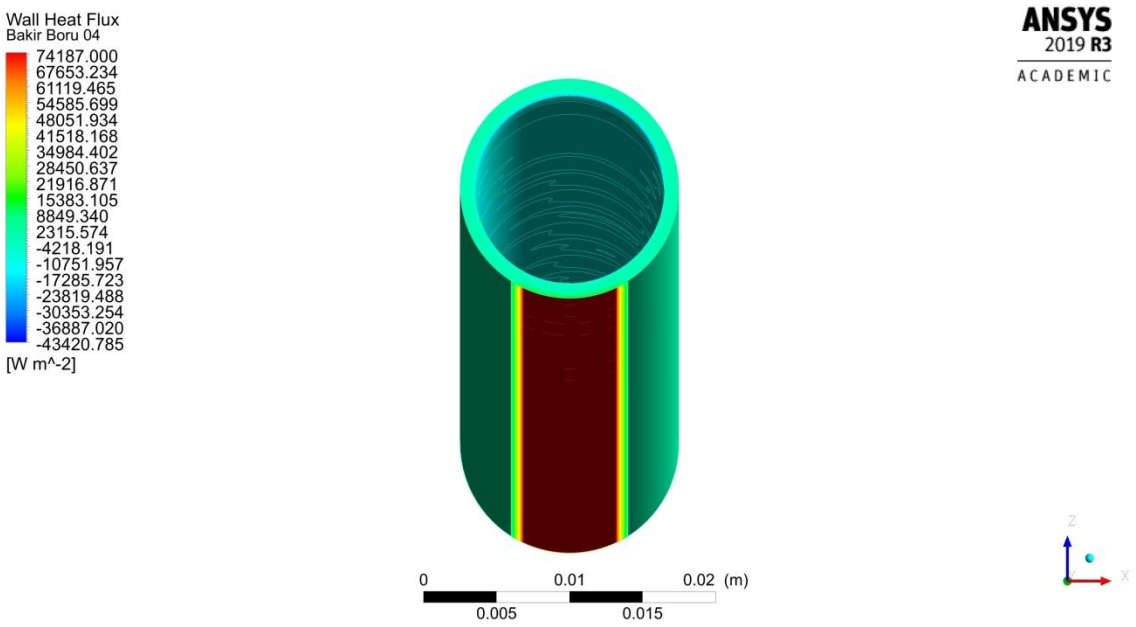


Şekil 4.56. 0.0050 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin basınç dağılımı

Boru merkez çizgisi boyunca kesitinin basınç dağılımı girişte yüksek iken çıkışa doğru atmosfere açık olan boru basıncı düşmüştür. Çıkış basıncı 0 Pa olarak tespit edilmiştir.

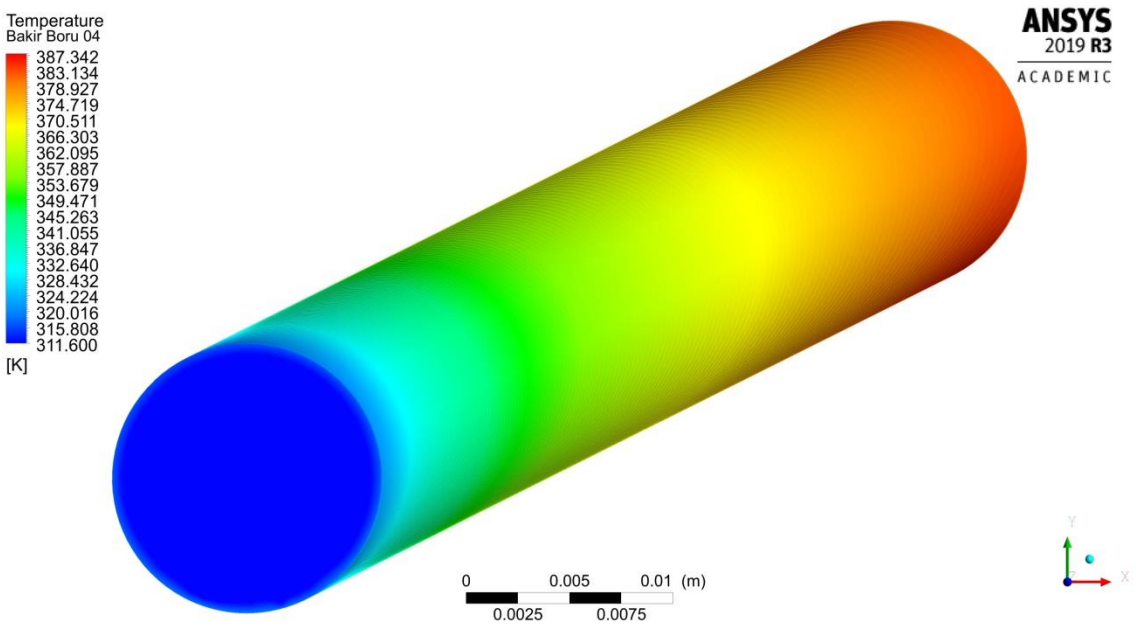
4.4.5.4. Bakır Boru 0.0067 kg/s Debi Sonucu

Bu debide, sisteme giren enerji 74780 W/m^2'dir. Yansıtıcı yüzeye gelen güneş ışınımı doğrusal olarak odak borusunda yoğunlaştığı Şekil 4.57.'de görülmektedir.



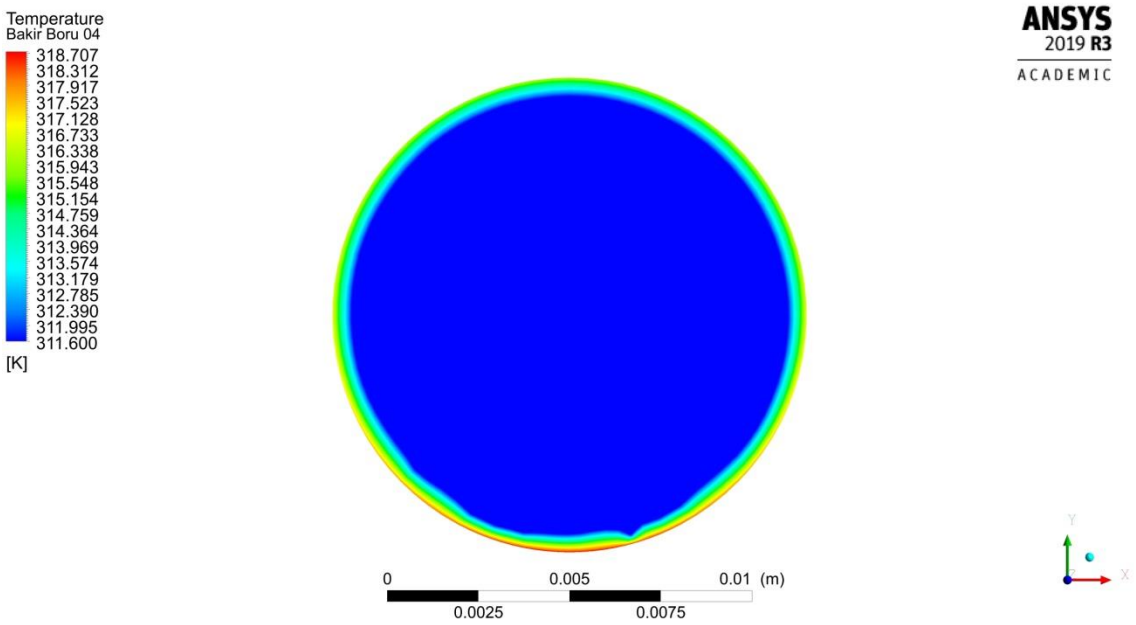
Şekil 4.57. 0.0067 kg/s debi için odak borusu ısıl dağılımı

Yoğunlaştırılan güneş ışınlarının borunun dış yüzeyinin alt kısmında doğrusal olarak odaklandığı ve odak noktasından uzaklaştıkça ısı dağılımının azaldığı görülmektedir. Boru boyunca uzanan yüzeydeki ısı yoğunluğu iletim ve taşınım yoluyla akışkana transfer olarak, akışkanın çıkış noktasına kadar sıcaklığının artmasına sebep olmaktadır.



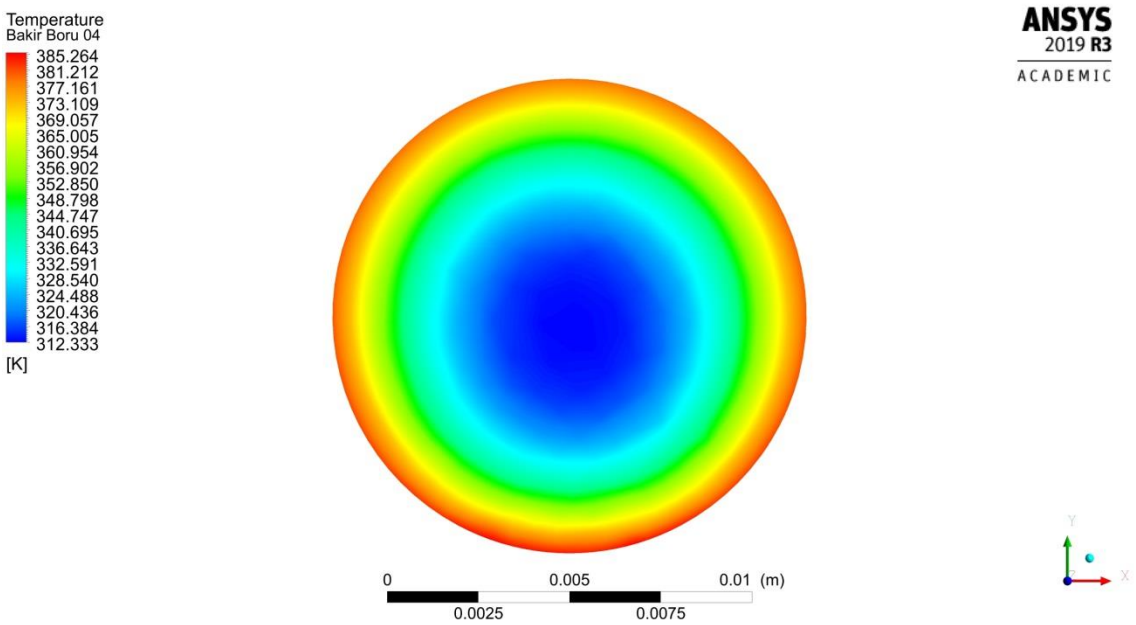
Şekil 4.58. 0.0067 kg/s debide akışkan sıcaklık dağılımı

Boru üzerine yoğunlaştırılan ısı, iletim yoluyla tüm boruya homojen olarak yayılmakta ve taşınım yoluyla akışkana aktarılmaktadır. Bu sebeple akışkan sıcaklık dağılımının verildiği Şekil 4.58.'de boru içerisinden geçen akışkanın sıcaklığının çıkışa doğru arttığı görülmektedir.



Şekil 4.59. 0.0067 kg/s debide akışkan giriş sıcaklığı dağılımı

Odak borusuna giren akışkan sıcaklığı 38.6 °C (311.6 K) iken, sıcaklığı yükselmiş borunun iç yüzeylerine temas eden bölgelerde sıcaklık 45 °C (318 K)'ye yükseldiği Şekil 4.59.'de görülmektedir.



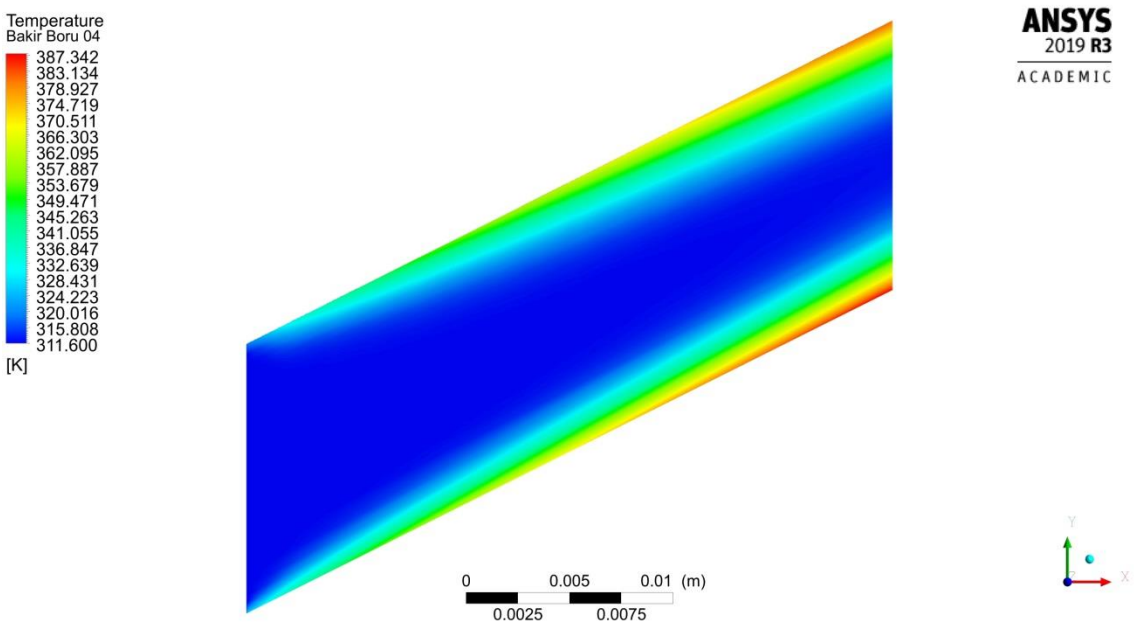
Şekil 4.60. 0.0067 kg/s debide akışkan çıkış sıcaklığı dağılımı

Odak borusu çıkış noktasında sıcaklığın ortalama değeri, ANSYS/Report/Surface İntegrals ara yüzü kullanılarak iki değer tespit edilmektedir. Alan ağırlıklı ortalama ve Kütle ağırlıklı ortalama üzerinden çıkış sıcaklık değerleri tespit edilmiştir.

Kütle ağırlıklı ortalama: 58 °C (331 K)

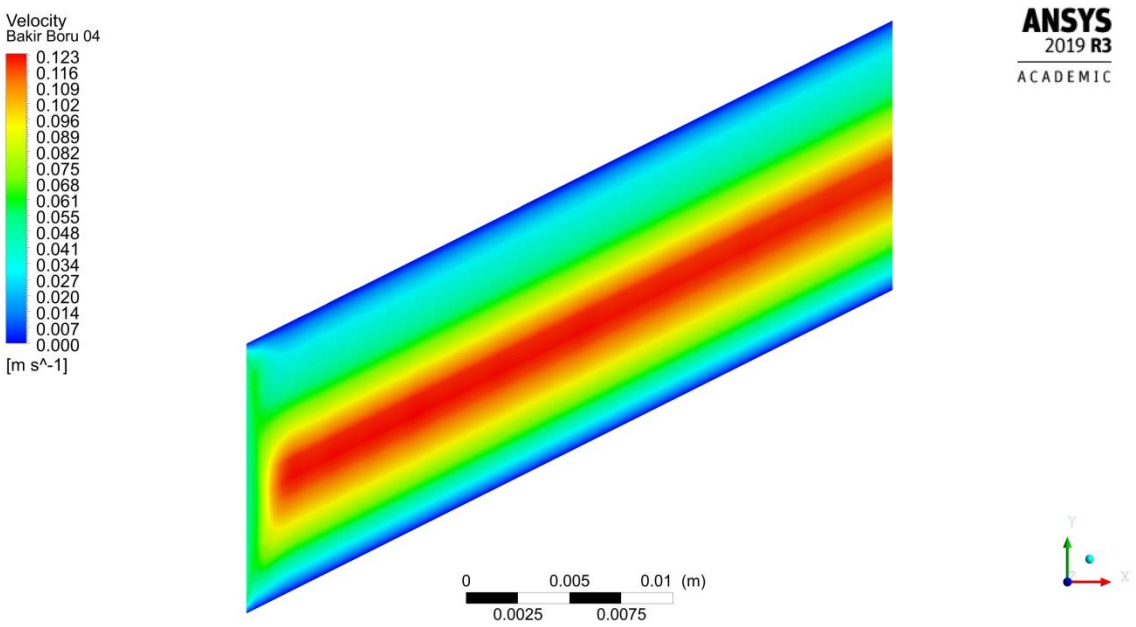
Alan ağırlıklı ortalama: 71 °C (344 K)

Ancak akışkan, odak borusu çıkışında sıcaklığı yükselmiş borunun iç yüzeylerine temas eden bölgelerde sıcaklık 112 °C (385 K)'ye yükseldiği Şekil 4.60.'da görülmektedir.



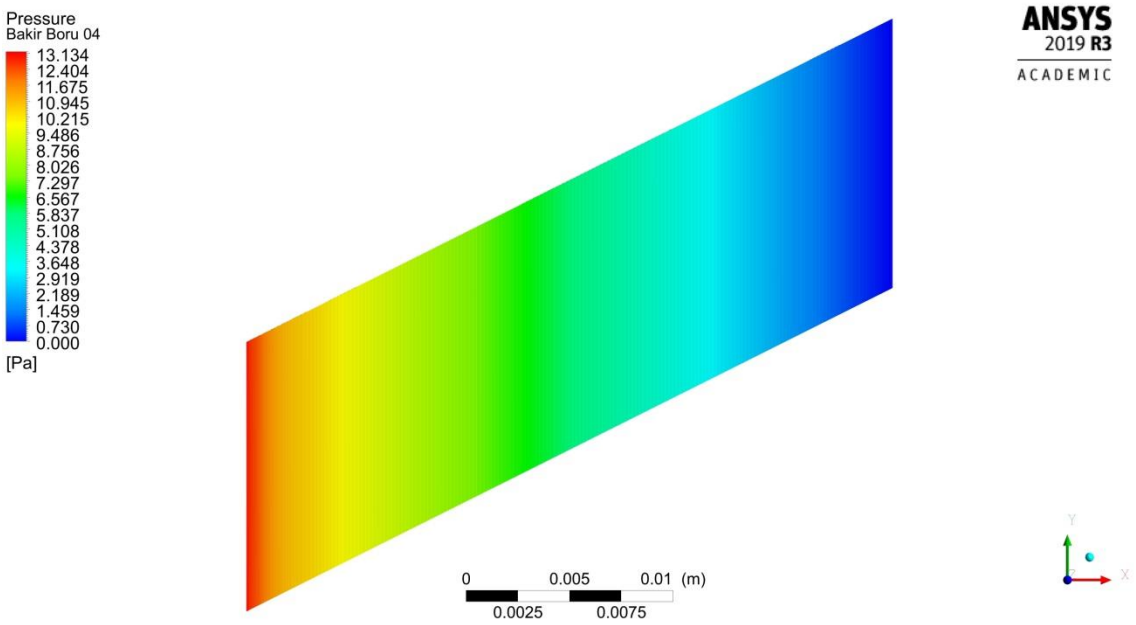
Şekil 4.61. 0.0067 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin sıcaklığı dağılımı

Akışkanın boru merkezinde meydana gelen akış sıcaklık dağılımı Şekil 4.61.'de boru merkez çizgisi boyunca boyuna kesiti verilmiştir. Akışın sıcaklık dağılımı, boru merkezine yakın bölgelerde düşük iken boru iç yüzeyine yakın bölgelerde daha yüksektir. Borunun ısınması, borunun iç yüzey sıcaklığının artmasına, dolayısıyla akış sırasında borunun iç yüzeyine temas eden akışkanın sıcaklığının boru boyunca yükselmesine sebep olmaktadır.



Şekil 4.62. 0.0067 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin hız dağılımı

Boru akışlarında hız profili, çeperlerde yavaş, merkeze doğru gidildikçe artmakta, merkezde ise en yüksek hıza ulaşmaktadır. Boru iç yüzeylerinde (sınır tabaka) en büyük çapta hız sıfırdır. Şekil 4.62.'de görüldüğü üzere en yüksek hız merkezde 0.123 m/s, en düşük hız boru iç yüzeylerinde 0 m/s olarak tespit edilmiştir.

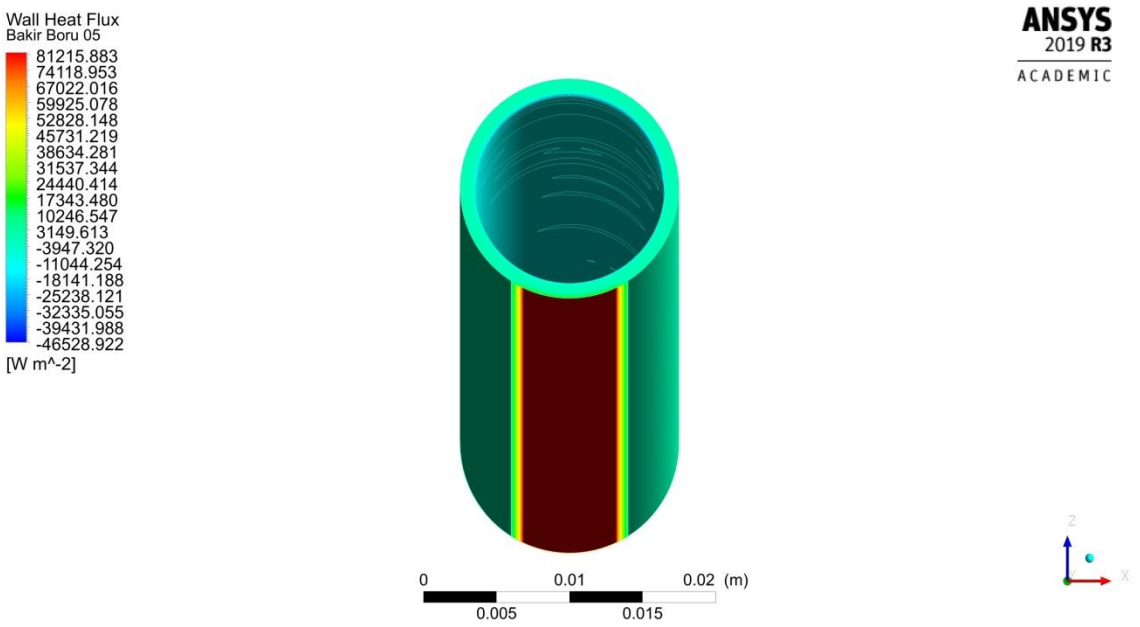


Şekil 4.63. 0.0067 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin basınç dağılımı

Boru merkez çizgisi boyunca kesitinin basınç dağılımı girişte yüksek iken çıkışa doğru atmosfere açık olan boru basıncı düşmüştür. Çıkış basıncı 0 Pa olarak tespit edilmiştir.

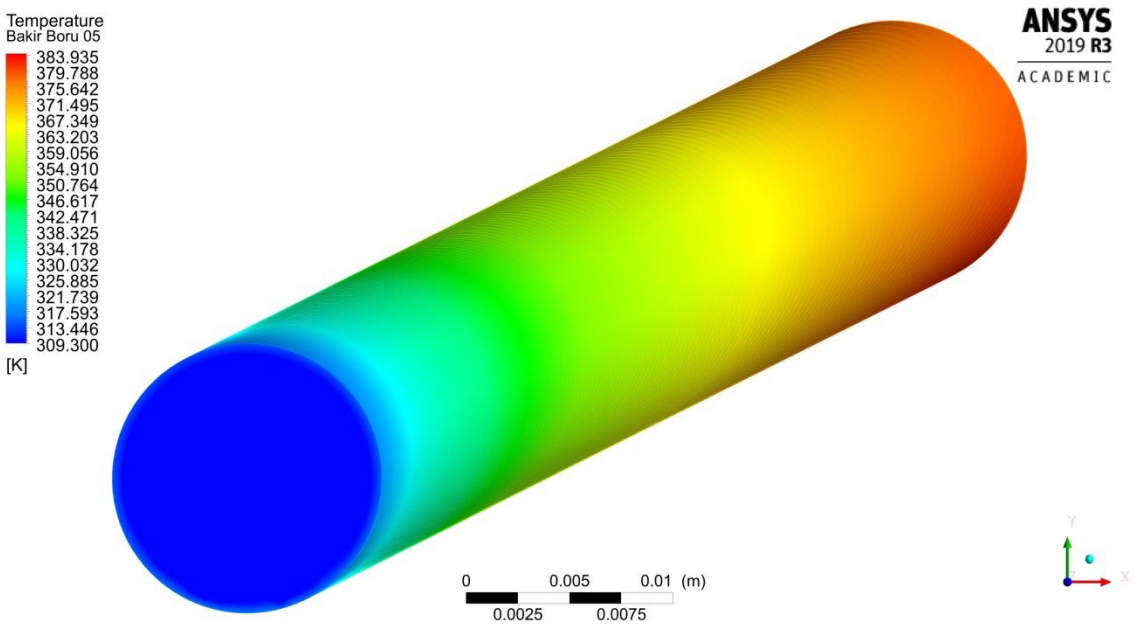
4.4.5.5. Bakır Boru 0.0083 kg/s Debi Sonucu

Bu debide, sisteme giren enerji 81860 W/m^2'dir. Yansıtıcı yüzeye gelen güneş ışınımı doğrusal olarak odak borusunda yoğunlaştığı Şekil 4.64.'de görülmektedir.



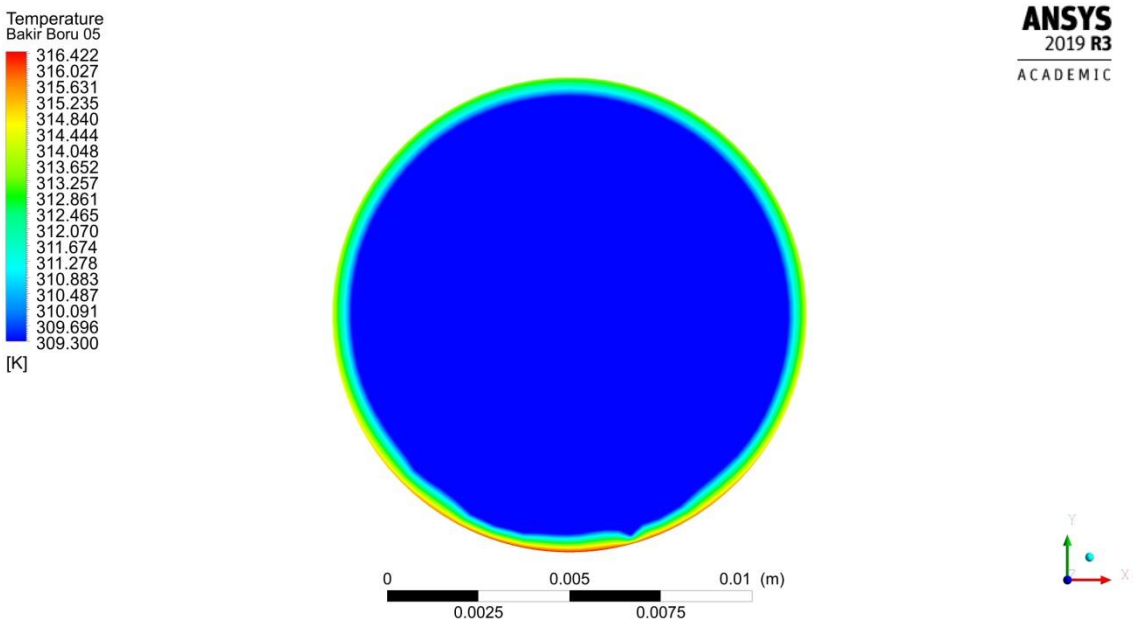
Şekil 4.64. 0.0083 kg/s debi için odak borusu ısıl dağılımı

Yoğunlaştırılan güneş ışınlarının borunun dış yüzeyinin alt kısmında doğrusal olarak odaklandığı ve odak noktasından uzaklaştıkça ısı dağılımının azaldığı görülmektedir. Boru boyunca uzanan yüzeydeki ısı yoğunluğu iletim ve taşınım yoluyla akışkana transfer olarak, akışkanın çıkış noktasına kadar sıcaklığının artmasına sebep olmaktadır.



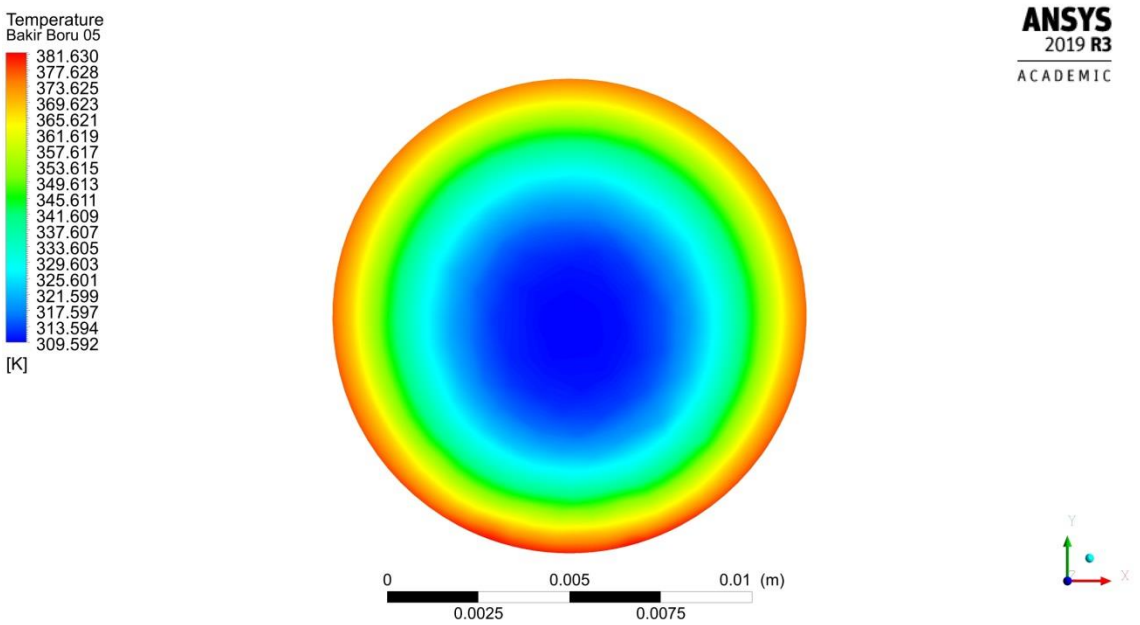
Şekil 4.65. 0.0083 kg/s debide akışkan sıcaklık dağılımı

Boru üzerine yoğunlaştırılan ısı, iletim yoluyla tüm boruya homojen olarak yayılmakta ve taşınım yoluyla akışkana aktarılmaktadır. Bu sebeple akışkan sıcaklık dağılımının verildiği Şekil 4.65.'de boru içerisinden geçen akışkanın sıcaklığının çıkışa doğru arttığı görülmektedir.



Şekil 4.66. 0.0083 kg/s debide akışkan giriş sıcaklığı dağılımı

Odak borusuna giren akışkan sıcaklığı 36.3 °C (309.3 K) iken, sıcaklığı yükselmiş borunun iç yüzeylerine temas eden bölgelerde sıcaklık 43 °C (316 K)'ye yükseldiği Şekil 4.66.'da görülmektedir.



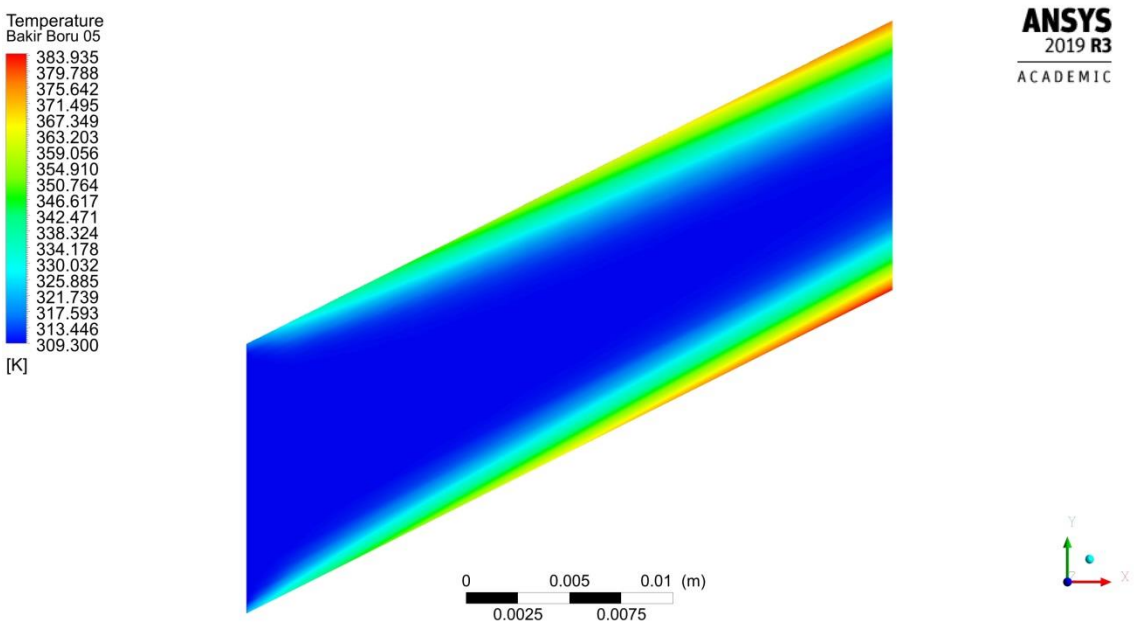
Şekil 4.67. 0.0083 kg/s debide akışkan çıkış sıcaklığı dağılımı

Odak borusu çıkış noktasında sıcaklığın ortalama değeri, ANSYS/Report/Surface İntegrals ara yüzü kullanılarak iki değer tespit edilmektedir. Alan ağırlıklı ortalama ve Kütle ağırlıklı ortalama üzerinden çıkış sıcaklık değerleri tespit edilmiştir.

Kütle ağırlıklı ortalama: 53 °C (326 K)

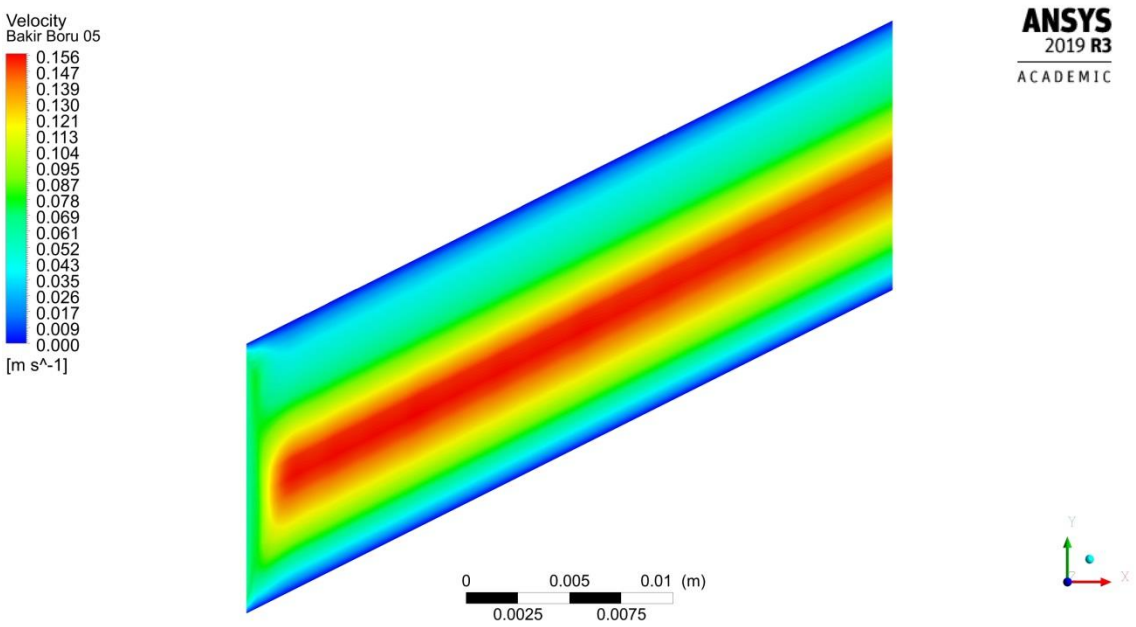
Alan ağırlıklı ortalama: 66 °C (339 K)

Ancak akışkan, odak borusu çıkışında sıcaklığı yükselmiş borunun iç yüzeylerine temas eden bölgelerde sıcaklık 108 °C (381 K)'ye yükseldiği Şekil 4.67.'de görülmektedir.



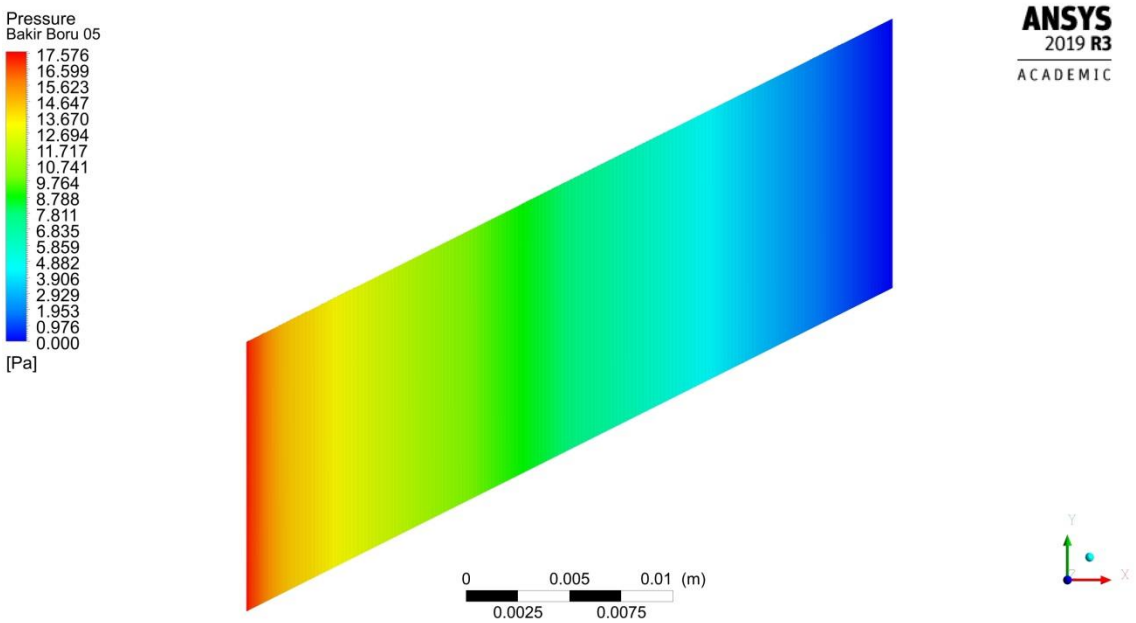
Şekil 4.68. 0.0083 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin sıcaklığı dağılımı

Akışkanın boru merkezinde meydana gelen akış sıcaklık dağılımı Şekil 4.68.'de boru merkez çizgisi boyunca boyuna kesiti verilmiştir. Akışın sıcaklık dağılımı, boru merkezine yakın bölgelerde düşük iken boru iç yüzeyine yakın bölgelerde daha yüksektir. Borunun ısınması, borunun iç yüzey sıcaklığının artmasına, dolayısıyla akış sırasında borunun iç yüzeyine temas eden akışkanın sıcaklığının boru boyunca yükselmesine sebep olmaktadır.



Şekil 4.69. 0.0083 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin hız dağılımı

Boru akışlarında hız profili, çeperlerde yavaş, merkeze doğru gidildikçe artmakta, merkezde ise en yüksek hıza ulaşmaktadır. Boru iç yüzeylerinde (sınır tabaka) en büyük çapta hız sıfırdır. Şekil 4.69.'da görüldüğü üzere en yüksek hız merkezde 0.156 m/s, en düşük hız boru iç yüzeylerinde 0 m/s olarak tespit edilmiştir.

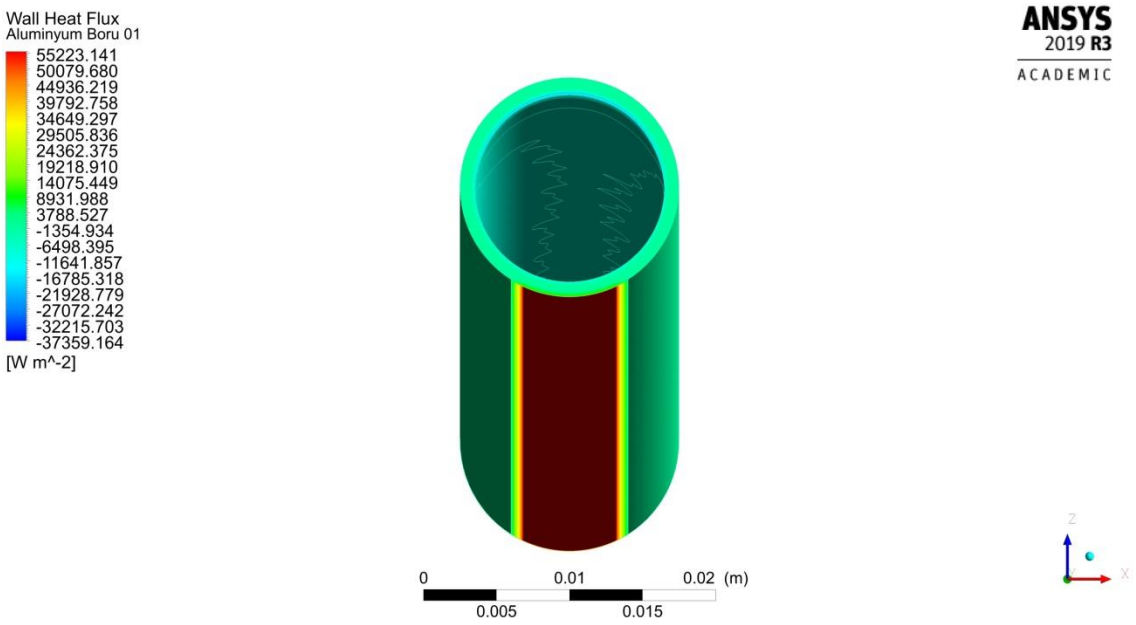


Şekil 4.70. 0.0083 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin basınç dağılımı

Boru merkez çizgisi boyunca kesitinin basınç dağılımı girişte yüksek iken çıkışa doğru atmosfere açık olan boru basıncı düşmüştür. Çıkış basıncı 0 Pa olarak tespit edilmiştir.

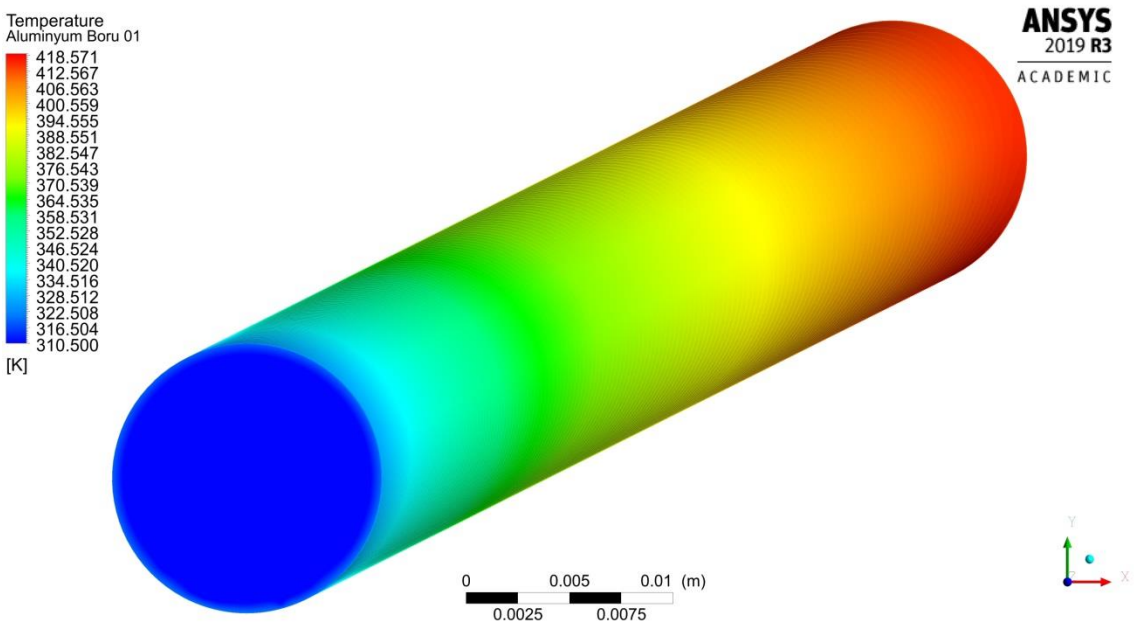
4.4.5.6. Alüminyum Boru 0.0017 kg/s Debi Sonucu

Bu çalışmada kullanılan en düşük debi m_1 = 0.0017 kg/s'dir. Bu sebeple en yüksek çıkış sıcaklığı bu debide okunmuştur. Sisteme giren enerji 55690 W/m^2'dir. Yansıtıcı yüzeye gelen güneş ışınımı doğrusal olarak odak borusunda yoğunlaştığı Şekil 4.71.'de görülmektedir.



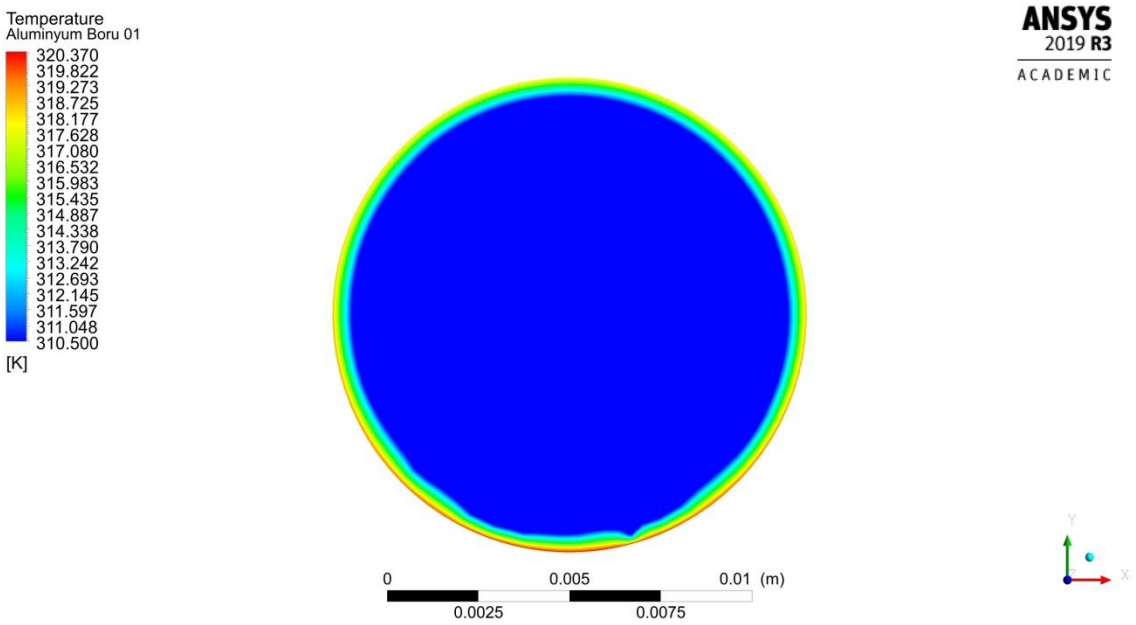
Şekil 4.71. 0.0017 kg/s debi için odak borusu ısıl dağılımı

Yoğunlaştırılan güneş ışınlarının borunun dış yüzeyinin alt kısmında doğrusal olarak odaklandığı ve odak noktasından uzaklaştıkça ısı dağılımının azaldığı görülmektedir. Boru boyunca uzanan yüzeydeki ısı yoğunluğu iletim ve taşınım yoluyla akışkana transfer olarak, akışkanın çıkış noktasına kadar sıcaklığının artmasına sebep olmaktadır.



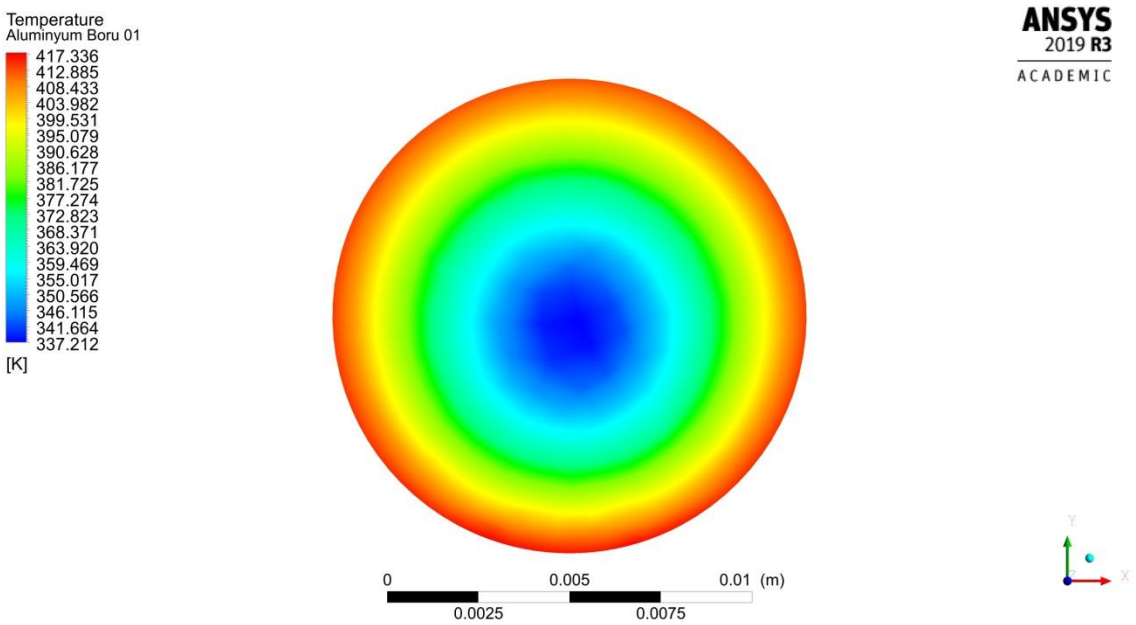
Şekil 4.72. 0.0017 kg/s debide akışkan sıcaklık dağılımı

Boru üzerine yoğunlaştırılan ısı, iletim yoluyla tüm boruya homojen olarak yayılmakta ve taşınım yoluyla akışkana aktarılmaktadır. Bu sebeple akışkan sıcaklık dağılımının verildiği Şekil 4.72.'de boru içerisinden geçen akışkanın sıcaklığının çıkışa doğru arttığı görülmektedir.



Şekil 4.73. 0.0017 kg/s debide akışkan giriş sıcaklığı dağılımı

Odak borusuna giren akışkan sıcaklığı 37.5 °C (310.5 K) iken, sıcaklığı yükselmiş borunun iç yüzeylerine temas eden bölgelerde sıcaklık 47 °C (320 K)'ye yükseldiği Şekil 4.73.'de görülmektedir.



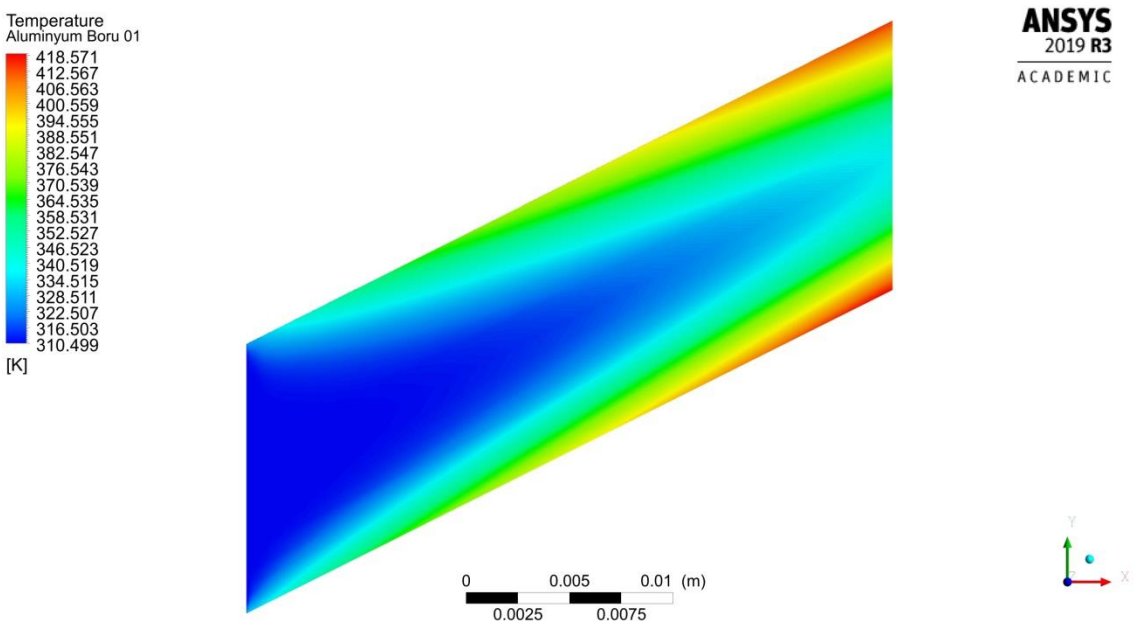
Şekil 4.74. 0.0017 kg/s debide akışkan çıkış sıcaklığı dağılımı

Odak borusu çıkış noktasında sıcaklığın ortalama değeri, ANSYS/Report/Surface İntegrals ara yüzü kullanılarak iki değer tespit edilmektedir. Alan ağırlıklı ortalama ve Kütle ağırlıklı ortalama üzerinden çıkış sıcaklık değerleri tespit edilmiştir.

Kütle ağırlıklı ortalama: 94 °C (368 K)

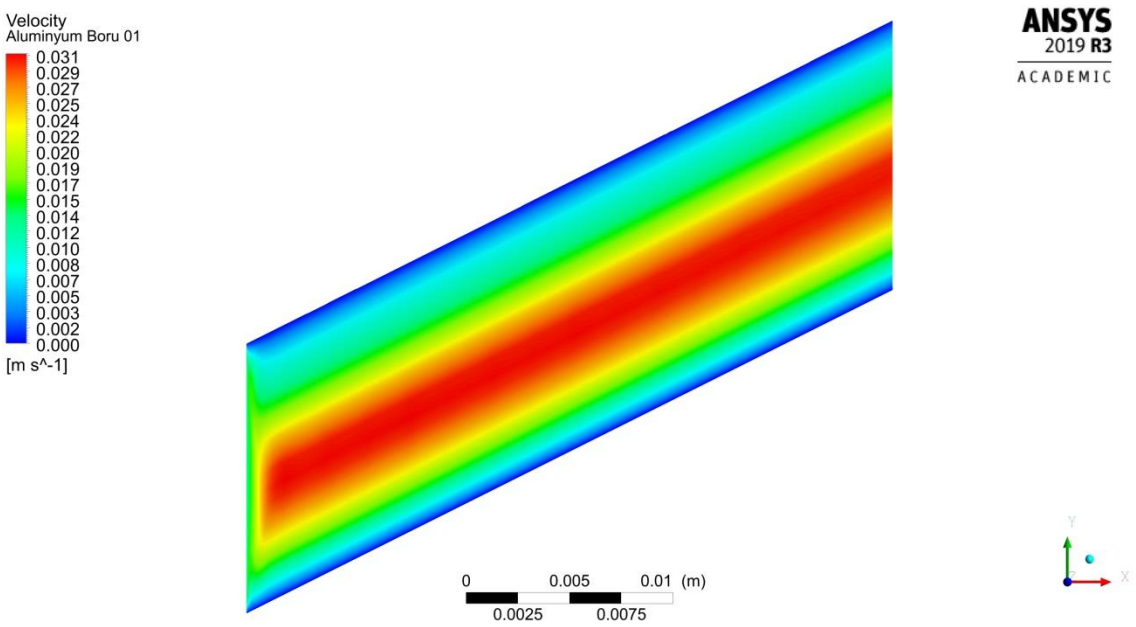
Alan ağırlıklı ortalama: 108 °C (381 K)

Ancak akışkan, odak borusu çıkışında sıcaklığı yükselmiş borunun iç yüzeylerine temas eden bölgelerde sıcaklık 144 °C (417 K)'ye yükseldiği Şekil 4.74.'de görülmektedir.



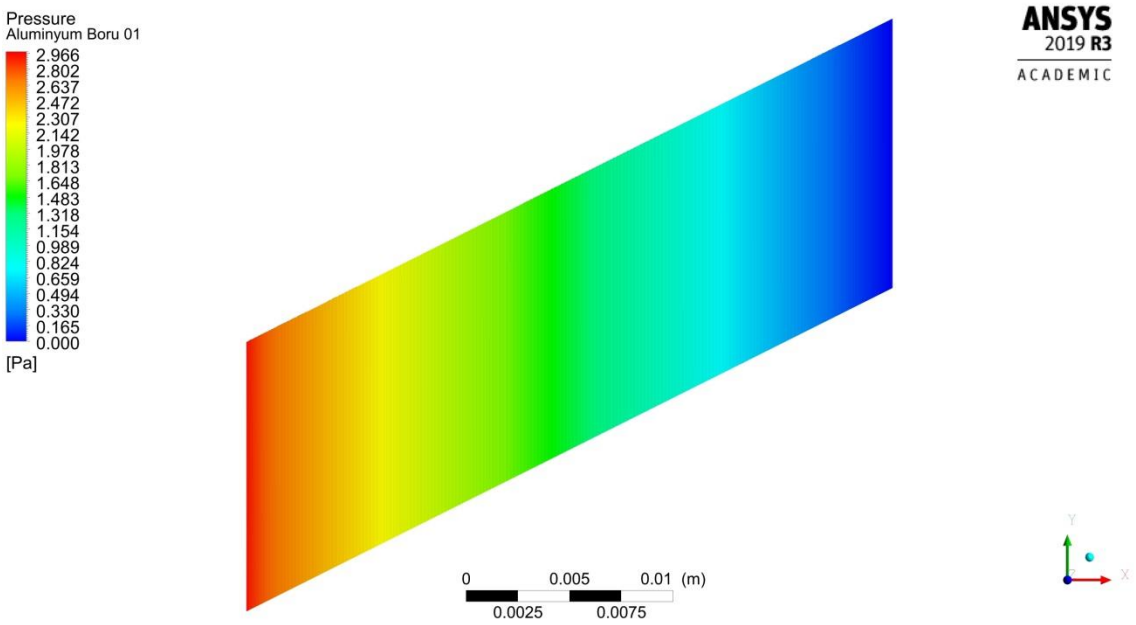
Şekil 4.75. 0.0017 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin sıcaklığı dağılımı

Akışkanın boru merkezinde meydana gelen akış sıcaklık dağılımı Şekil 4.75.'de boru merkez çizgisi boyunca boyuna kesiti verilmiştir. Akışın sıcaklık dağılımı, boru merkezine yakın bölgelerde düşük iken boru iç yüzeyine yakın bölgelerde daha yüksektir. Borunun ısınması, borunun iç yüzey sıcaklığının artmasına, dolayısıyla akış sırasında borunun iç yüzeyine temas eden akışkanın sıcaklığının boru boyunca yükselmesine sebep olmaktadır.



Şekil 4.76. 0.0017 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin hız dağılımı

Boru akışlarında hız profili, çeperlerde yavaş, merkeze doğru gidildikçe artmakta, merkezde ise en yüksek hıza ulaşmaktadır. Boru iç yüzeylerinde (sınır tabaka) en büyük çapta hız sıfırdır. Şekil 4.76.'da görüldüğü üzere en yüksek hız merkezde 0.031 m/s, en düşük hız boru iç yüzeylerinde 0 m/s olarak tespit edilmiştir.

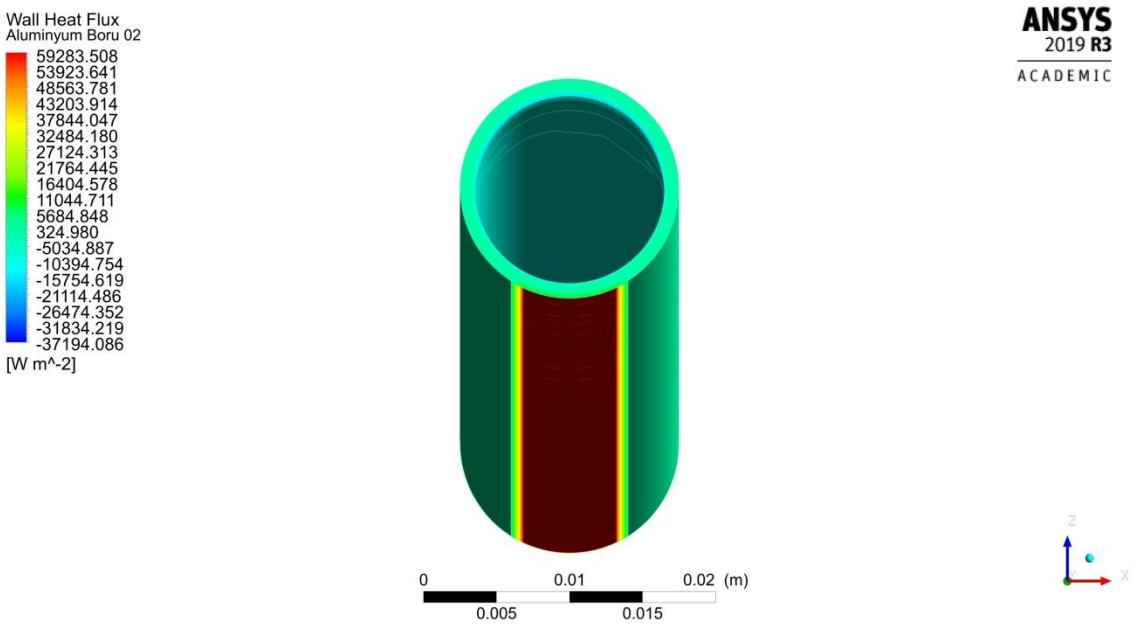


Şekil 4.77. 0.0017 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin basınç dağılımı

Boru merkez çizgisi boyunca kesitinin basınç dağılımı girişte yüksek iken çıkışa doğru atmosfere açık olan boru basıncı düşmüştür. Çıkış basıncı 0 Pa olarak tespit edilmiştir.

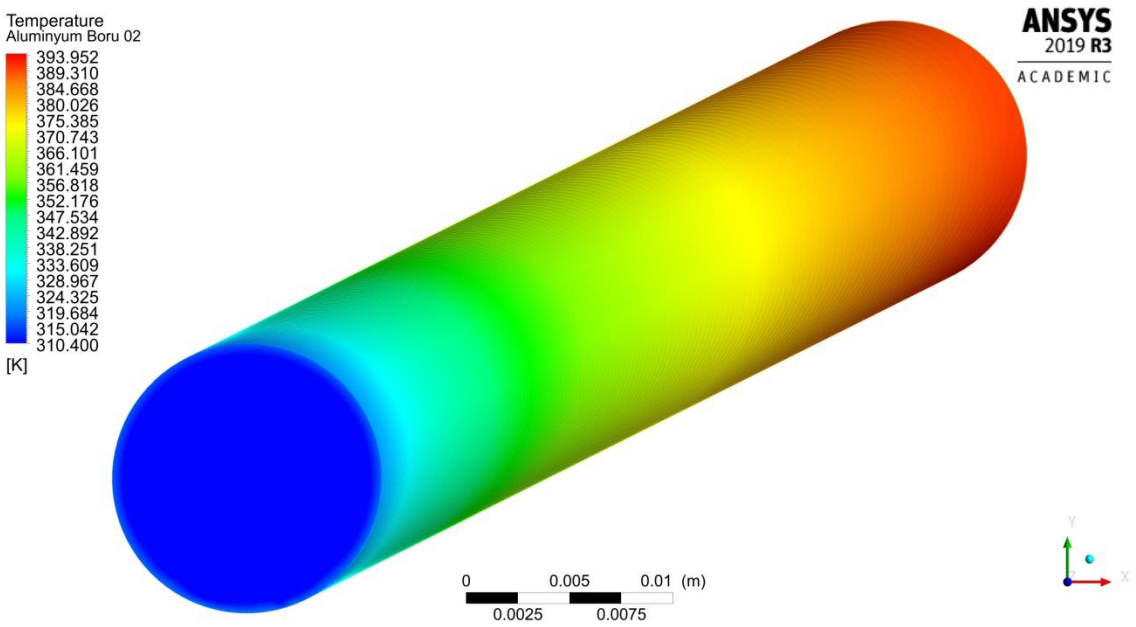
4.4.5.7. Alüminyum Boru 0.0033 kg/s Debi Sonucu

Bu debide, sisteme giren enerji 59770 W/m^2'dir. Yansıtıcı yüzeye gelen güneş ışınımı doğrusal olarak odak borusunda yoğunlaştığı Şekil 4.78.'de görülmektedir.



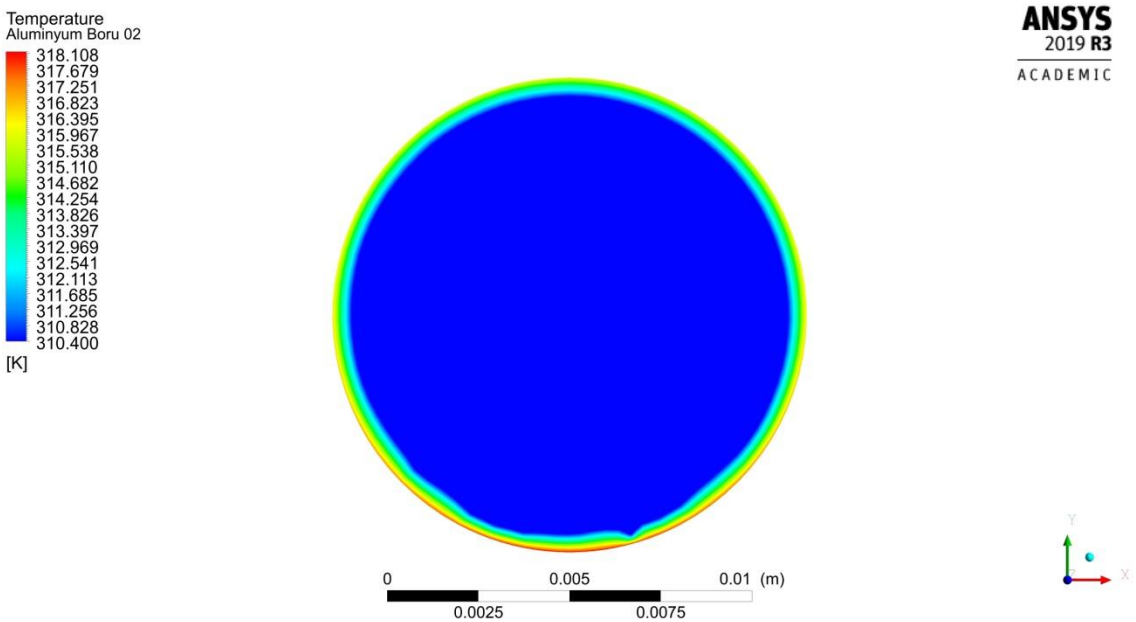
Şekil 4.78. 0.0033 kg/s debi için odak borusu ısıl dağılımı

Yoğunlaştırılan güneş ışınlarının borunun dış yüzeyinin alt kısmında doğrusal olarak odaklandığı ve odak noktasından uzaklaştıkça ısı dağılımının azaldığı görülmektedir. Boru boyunca uzanan yüzeydeki ısı yoğunluğu iletim ve taşınım yoluyla akışkana transfer olarak, akışkanın çıkış noktasına kadar sıcaklığının artmasına sebep olmaktadır.



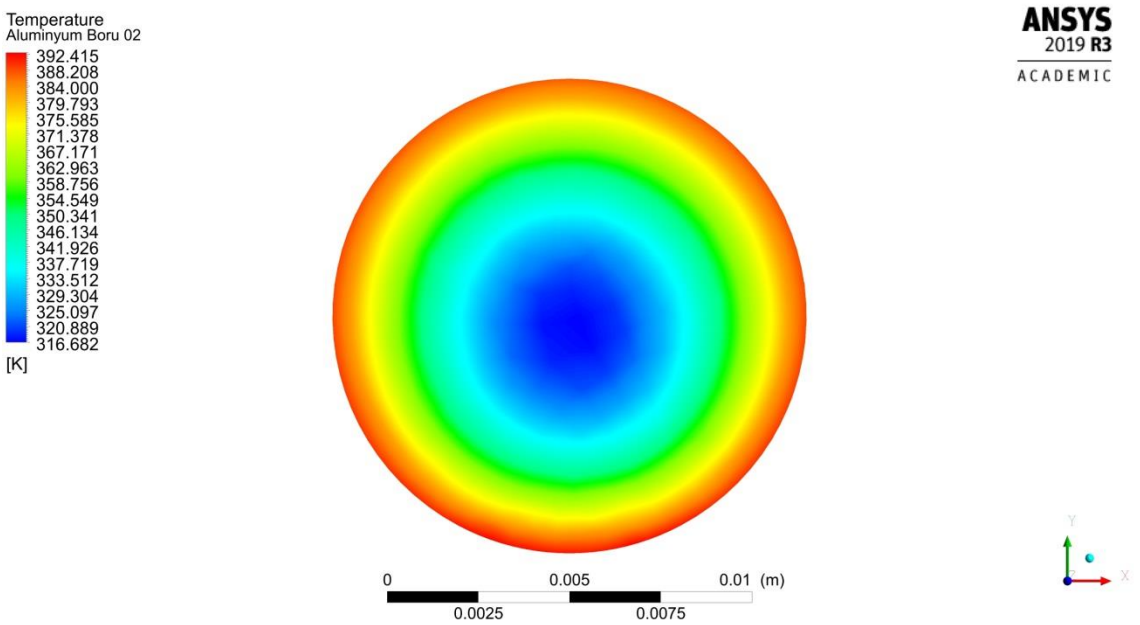
Şekil 4.79. 0.0033 kg/s debide akışkan sıcaklık dağılımı

Boru üzerine yoğunlaştırılan ısı, iletim yoluyla tüm boruya homojen olarak yayılmakta ve taşınım yoluyla akışkana aktarılmaktadır. Bu sebeple akışkan sıcaklık dağılımının verildiği Şekil 4.79.'da boru içerisinden geçen akışkanın sıcaklığının çıkışa doğru arttığı görülmektedir.



Şekil 4.80. 0.0033 kg/s debide akışkan giriş sıcaklığı dağılımı

Odak borusuna giren akışkan sıcaklığı 37.4 °C (310.4 K) iken, sıcaklığı yükselmiş borunun iç yüzeylerine temas eden bölgelerde sıcaklık 45 °C (318 K)'ye yükseldiği Şekil 4.80.'de görülmektedir.



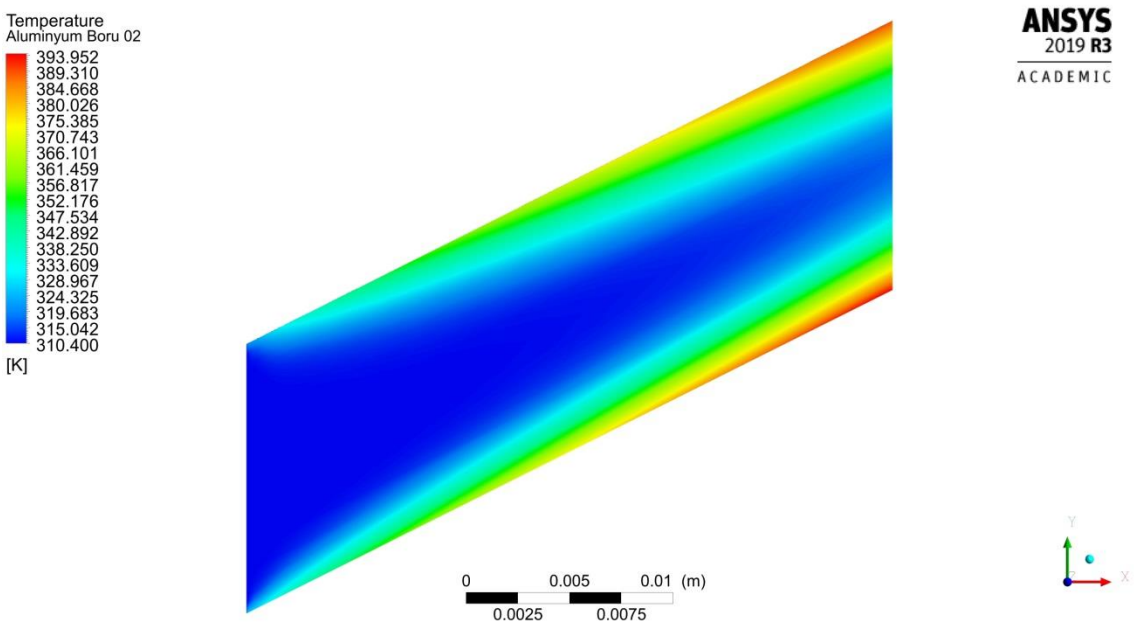
Şekil 4.81. 0.0033 kg/s debide akışkan çıkış sıcaklığı dağılımı

Odak borusu çıkış noktasında sıcaklığın ortalama değeri, ANSYS/Report/Surface İntegrals ara yüzü kullanılarak iki değer tespit edilmektedir. Alan ağırlıklı ortalama ve Kütle ağırlıklı ortalama üzerinden çıkış sıcaklık değerleri tespit edilmiştir.

Kütle ağırlıklı ortalama: 68 °C (341 K)

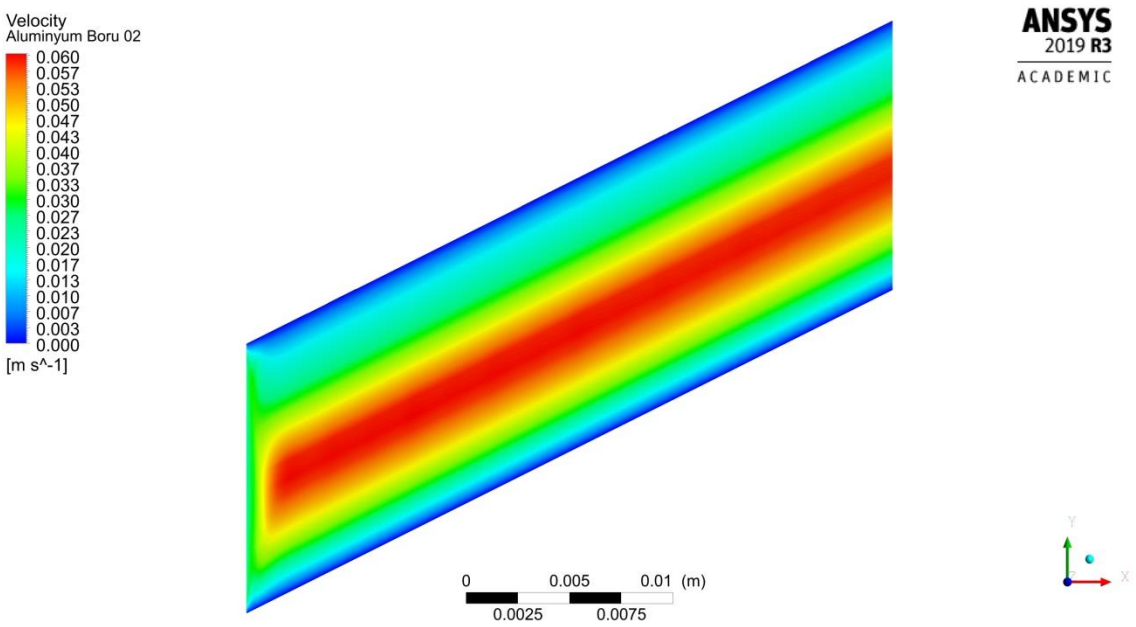
Alan ağırlıklı ortalama: 82 °C (355 K)

Ancak akışkan, odak borusu çıkışında sıcaklığı yükselmiş borunun iç yüzeylerine temas eden bölgelerde sıcaklık 119 °C (392 K)'ye yükseldiği Şekil 4.81.'de görülmektedir.



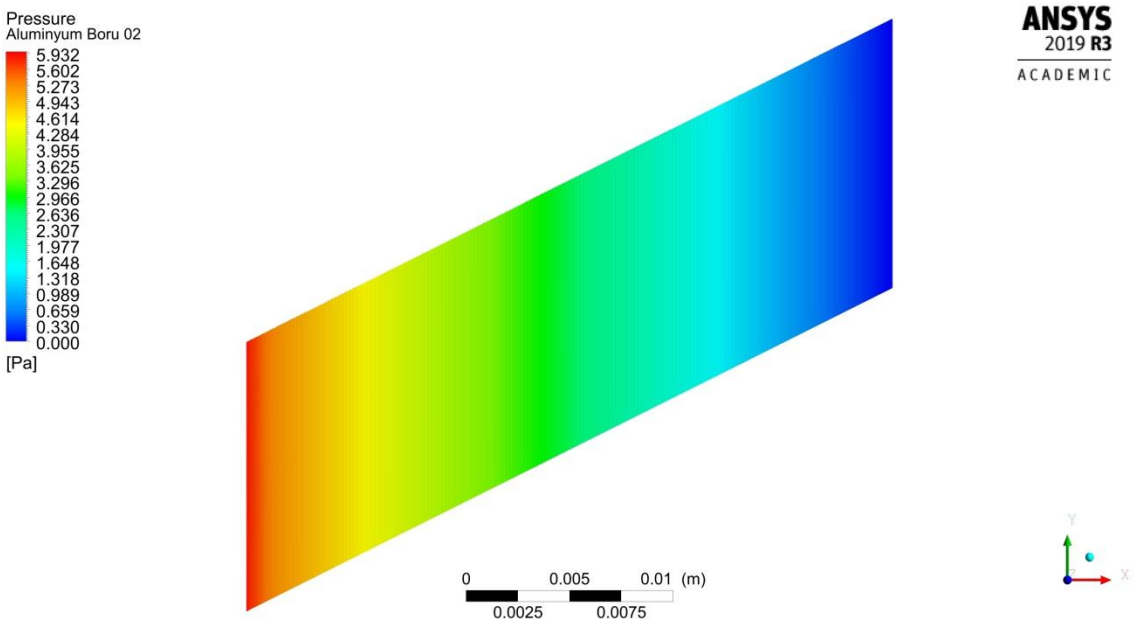
Şekil 4.82. 0.0033 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin sıcaklığı dağılımı

Akışkanın boru merkezinde meydana gelen akış sıcaklık dağılımı Şekil 4.82.'de boru merkez çizgisi boyunca boyuna kesiti verilmiştir. Akışın sıcaklık dağılımı, boru merkezine yakın bölgelerde düşük iken boru iç yüzeyine yakın bölgelerde daha yüksektir. Borunun ısınması, borunun iç yüzey sıcaklığının artmasına, dolayısıyla akış sırasında borunun iç yüzeyine temas eden akışkanın sıcaklığının boru boyunca yükselmesine sebep olmaktadır.



Şekil 4.83. 0.0033 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin hız dağılımı

Boru akışlarında hız profili, çeperlerde yavaş, merkeze doğru gidildikçe artmakta, merkezde ise en yüksek hıza ulaşmaktadır. Boru iç yüzeylerinde (sınır tabaka) en büyük çapta hız sıfırdır. Şekil 4.83.'de görüldüğü üzere en yüksek hız merkezde 0.060 m/s, en düşük hız boru iç yüzeylerinde 0 m/s olarak tespit edilmiştir.

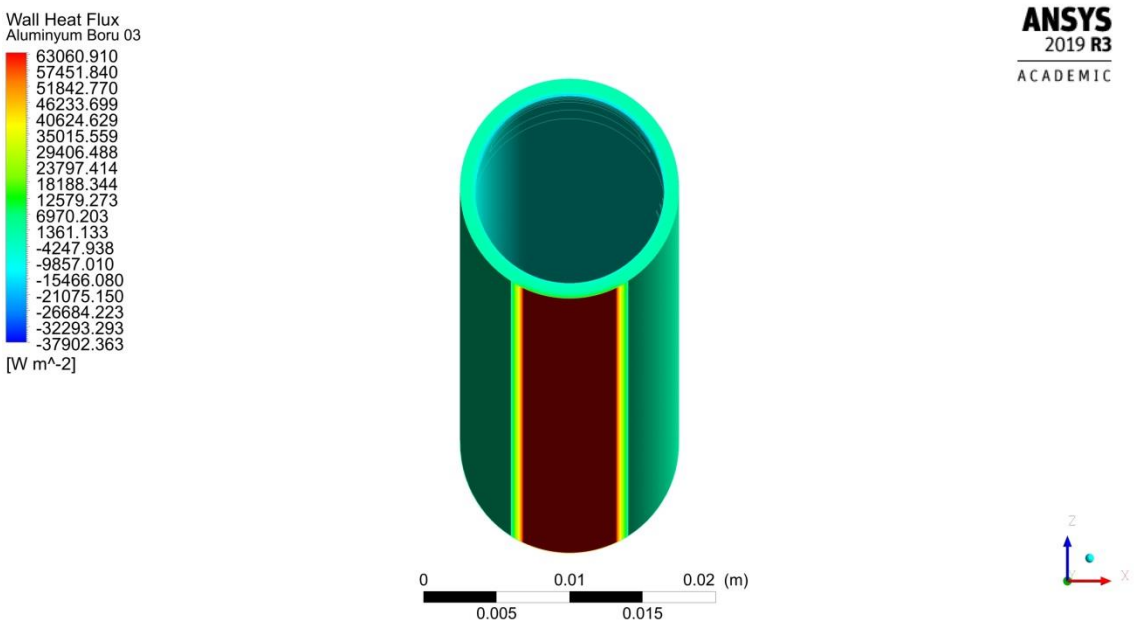


Şekil 4.84. 0.0033 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin basınç dağılımı

Boru merkez çizgisi boyunca kesitinin basınç dağılımı girişte yüksek iken çıkışa doğru atmosfere açık olan boru basıncı düşmüştür. Çıkış basıncı 0 Pa olarak tespit edilmiştir.

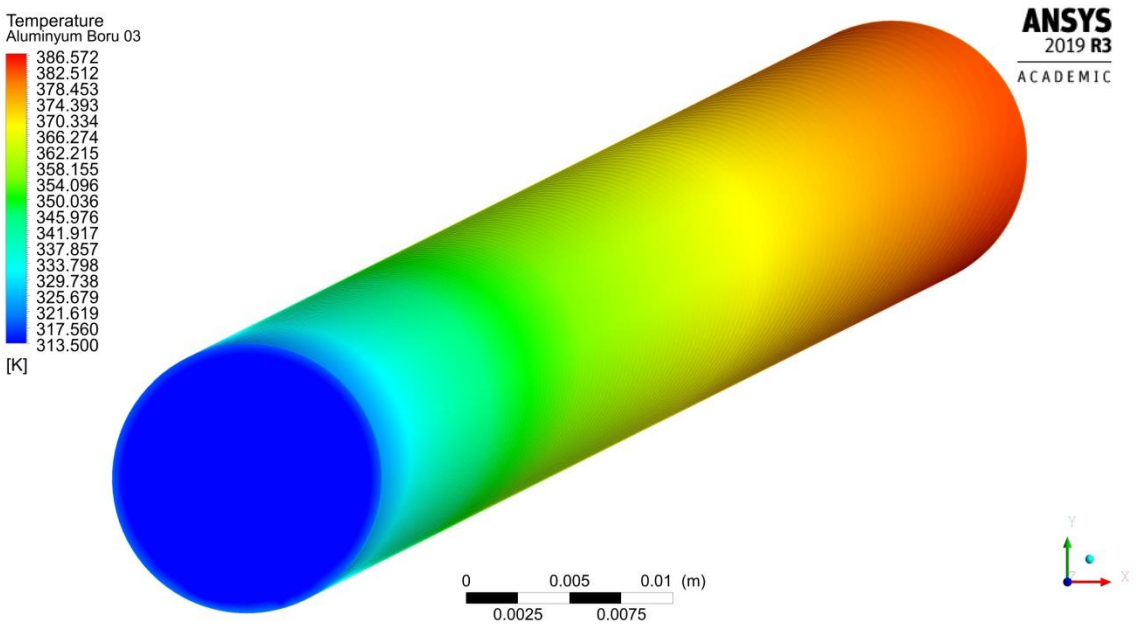
4.4.5.8. Alüminyum Boru 0.0050 kg/s Debi Sonucu

Bu debide, sisteme giren enerji 63570 W/m^2'dir. Yansıtıcı yüzeye gelen güneş ışınımı doğrusal olarak odak borusunda yoğunlaştığı Şekil 4.85.'de görülmektedir.



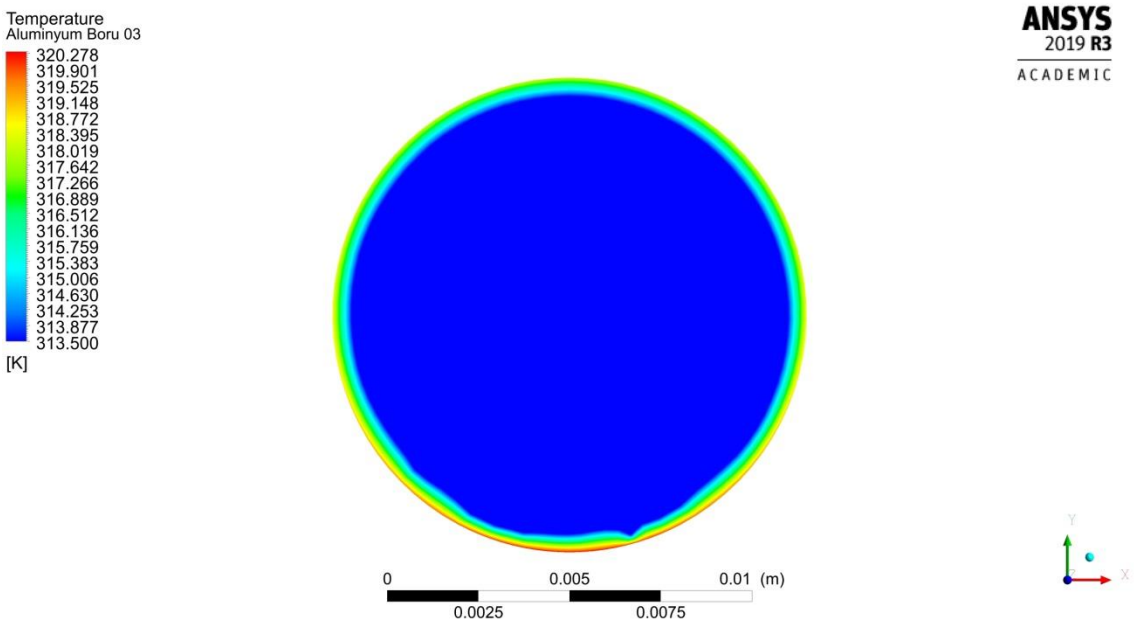
Şekil 4.85. 0.0050 kg/s debi için odak borusu ısıl dağılımı

Yoğunlaştırılan güneş ışınlarının borunun dış yüzeyinin alt kısmında doğrusal olarak odaklandığı ve odak noktasından uzaklaştıkça ısı dağılımının azaldığı görülmektedir. Boru boyunca uzanan yüzeydeki ısı yoğunluğu iletim ve taşınım yoluyla akışkana transfer olarak, akışkanın çıkış noktasına kadar sıcaklığının artmasına sebep olmaktadır.



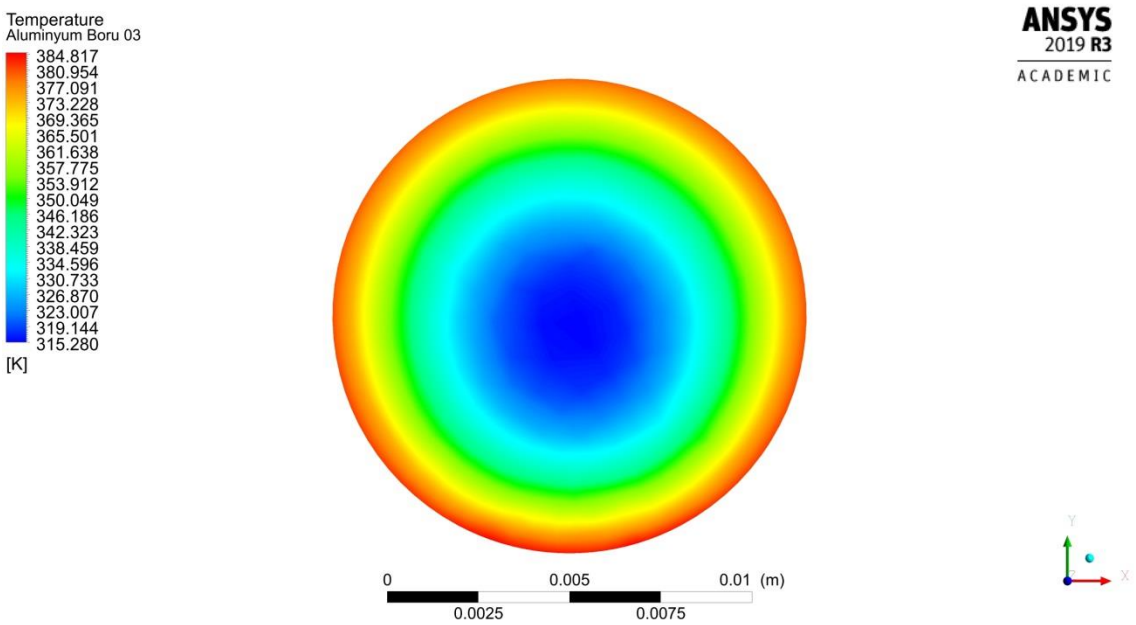
Şekil 4.86. 0.0050 kg/s debide akışkan sıcaklık dağılımı

Boru üzerine yoğunlaştırılan ısı, iletim yoluyla tüm boruya homojen olarak yayılmakta ve taşınım yoluyla akışkana aktarılmaktadır. Bu sebeple akışkan sıcaklık dağılımının verildiği Şekil 4.86.'da boru içerisinden geçen akışkanın sıcaklığının çıkışa doğru arttığı görülmektedir.



Şekil 4.87. 0.005 kg/s debide akışkan giriş sıcaklığı dağılımı

Odak borusuna giren akışkan sıcaklığı 40.5 °C (313.5 K) iken, sıcaklığı yükselmiş borunun iç yüzeylerine temas eden bölgelerde sıcaklık 47 °C (320 K)'ye yükseldiği Şekil 4.87.'de görülmektedir.



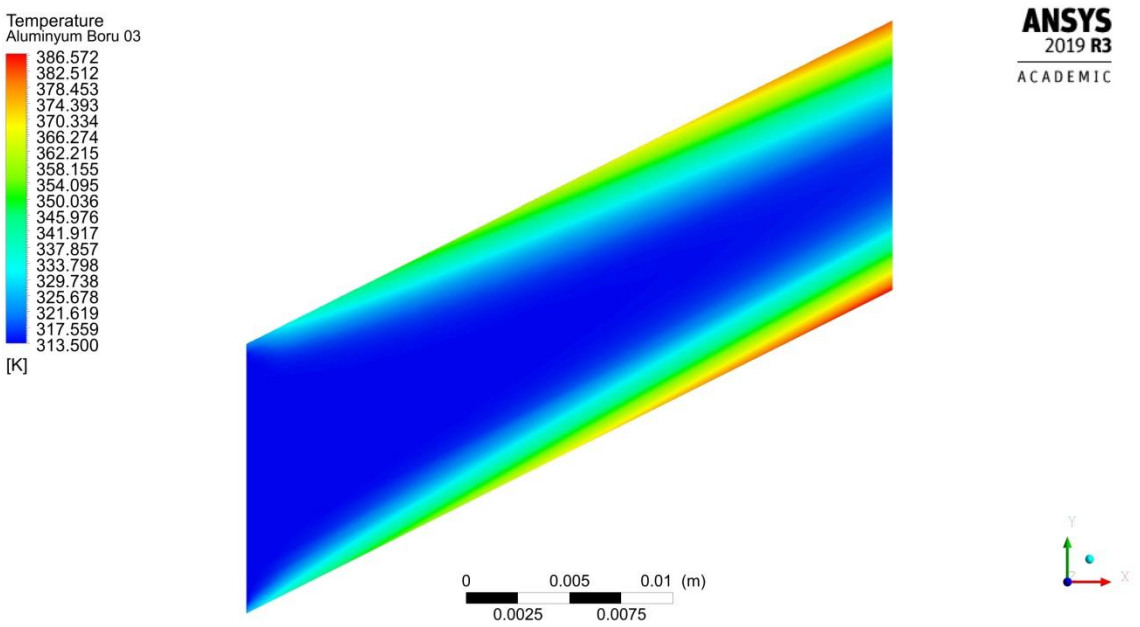
Şekil 4.88. 0.0050 kg/s debide akışkan çıkış sıcaklığı dağılımı

Odak borusu çıkış noktasında sıcaklığın ortalama değeri, ANSYS/Report/Surface İntegrals ara yüzü kullanılarak iki değer tespit edilmektedir. Alan ağırlıklı ortalama ve Kütle ağırlıklı ortalama üzerinden çıkış sıcaklık değerleri tespit edilmiştir.

Kütle ağırlıklı ortalama: 62 °C (335 K)

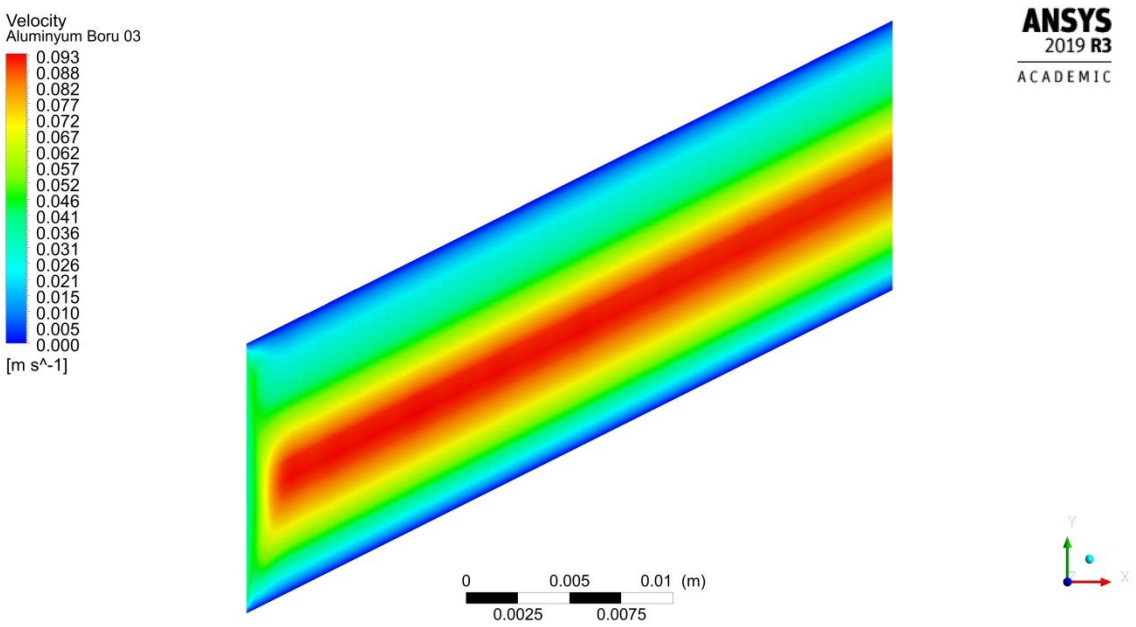
Alan ağırlıklı ortalama: 75 °C (348 K)

Ancak akışkan, odak borusu çıkışında sıcaklığı yükselmiş borunun iç yüzeylerine temas eden bölgelerde sıcaklık 111 °C (384 K)'ye yükseldiği Şekil 4.88.'de görülmektedir.



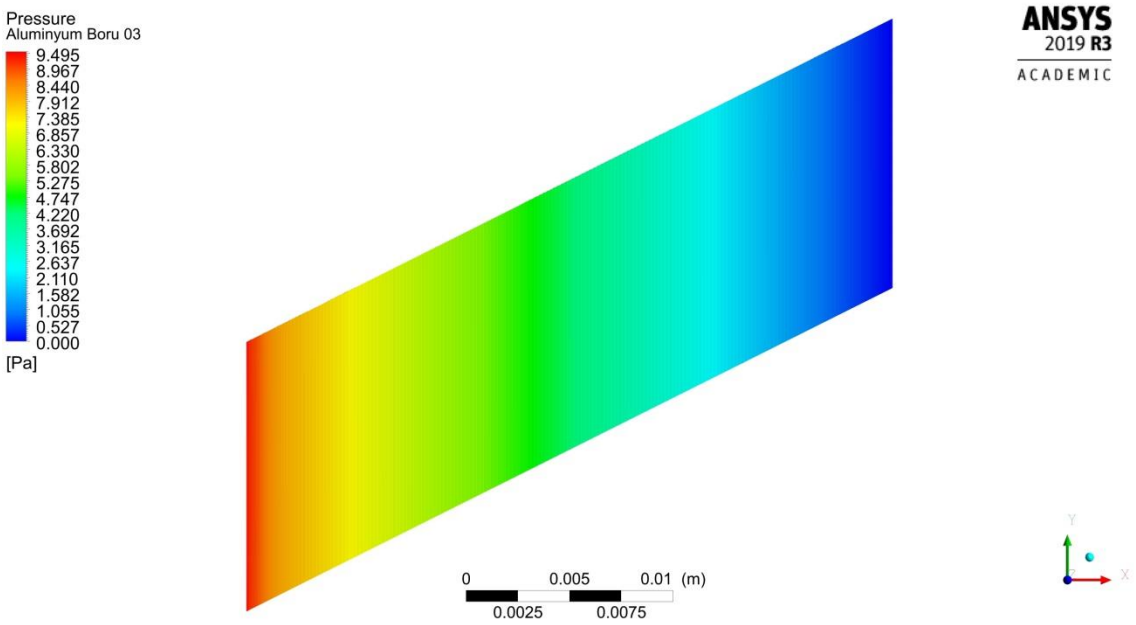
Şekil 4.89. 0.0050 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin sıcaklığı dağılımı

Akışkanın boru merkezinde meydana gelen akış sıcaklık dağılımı Şekil 4.89.'da boru merkez çizgisi boyunca boyuna kesiti verilmiştir. Akışın sıcaklık dağılımı, boru merkezine yakın bölgelerde düşük iken boru iç yüzeyine yakın bölgelerde daha yüksektir. Borunun ısınması, borunun iç yüzey sıcaklığının artmasına, dolayısıyla akış sırasında borunun iç yüzeyine temas eden akışkanın sıcaklığının boru boyunca yükselmesine sebep olmaktadır.



Şekil 4.90. 0.0050 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin hız dağılımı

Boru akışlarında hız profili, çeperlerde yavaş, merkeze doğru gidildikçe artmakta, merkezde ise en yüksek hıza ulaşmaktadır. Boru iç yüzeylerinde (sınır tabaka) en büyük çapta hız sıfırdır. Şekil 4.90.'da görüldüğü üzere en yüksek hız merkezde 0.093 m/s, en düşük hız boru iç yüzeylerinde 0 m/s olarak tespit edilmiştir.

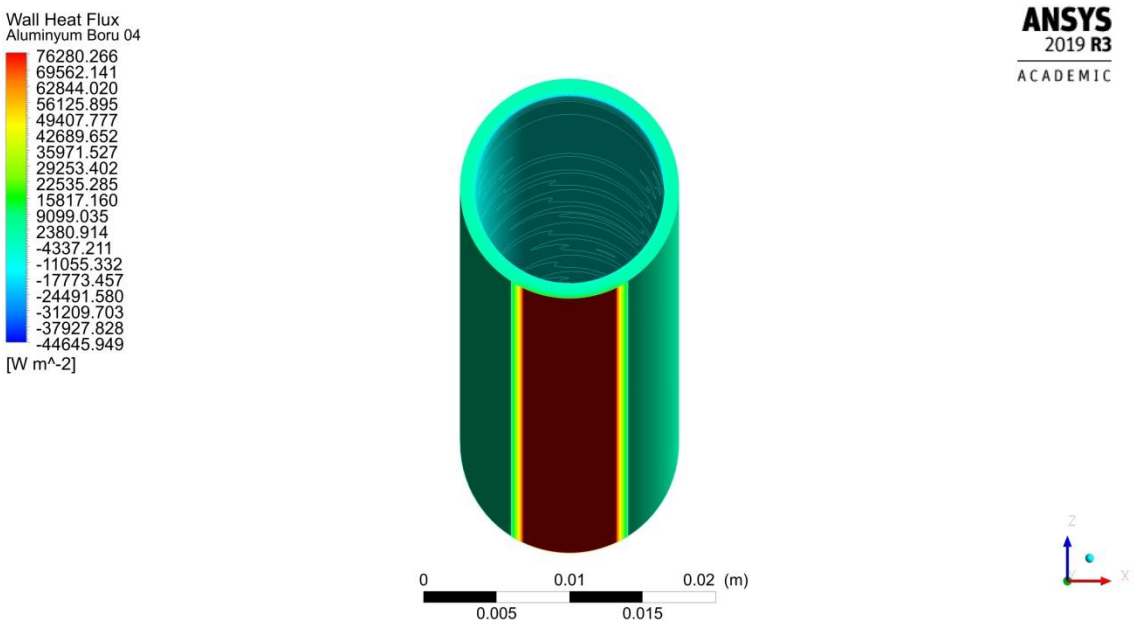


Şekil 4.91. 0.0050 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin basınç dağılımı

Boru merkez çizgisi boyunca kesitinin basınç dağılımı girişte yüksek iken çıkışa doğru atmosfere açık olan boru basıncı düşmüştür. Çıkış basıncı 0 Pa olarak tespit edilmiştir.

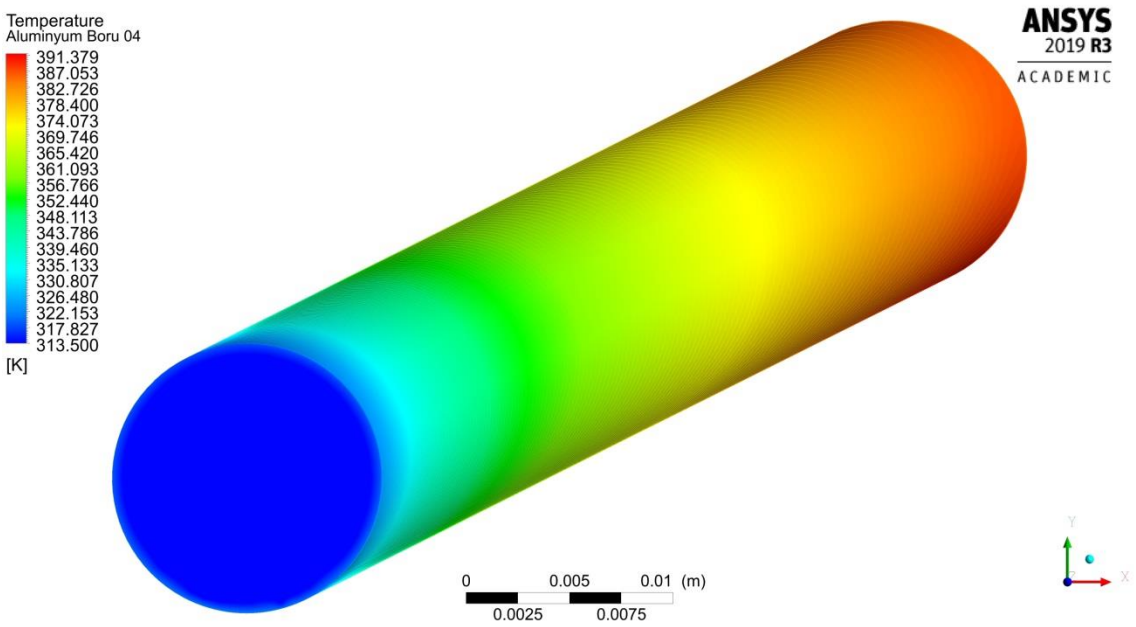
4.4.5.9. Alüminyum Boru 0.0067 kg/s Debi Sonucu

Bu debide, sisteme giren enerji 76890 W/m^2'dir. Yansıtıcı yüzeye gelen güneş ışınımı doğrusal olarak odak borusunda yoğunlaştığı Şekil 4.92.'da görülmektedir.



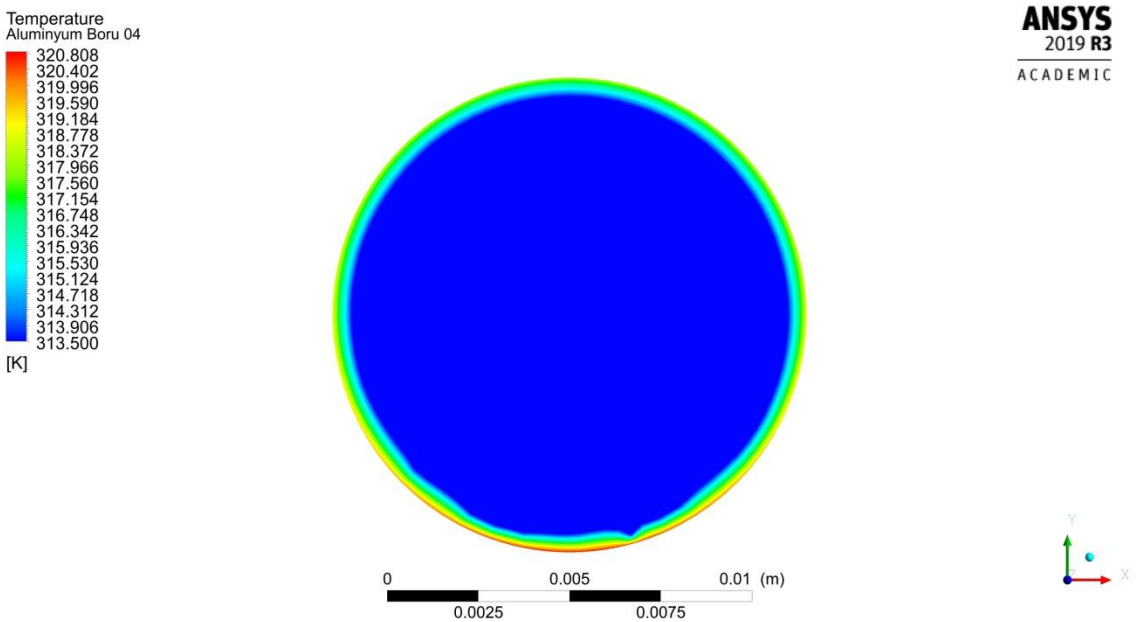
Şekil 4.92. 0.0067 kg/s debi için odak borusu ısıl dağılımı

Yoğunlaştırılan güneş ışınlarının borunun dış yüzeyinin alt kısmında doğrusal olarak odaklandığı ve odak noktasından uzaklaştıkça ısı dağılımının azaldığı görülmektedir. Boru boyunca uzanan yüzeydeki ısı yoğunluğu iletim ve taşınım yoluyla akışkana transfer olarak, akışkanın çıkış noktasına kadar sıcaklığının artmasına sebep olmaktadır.



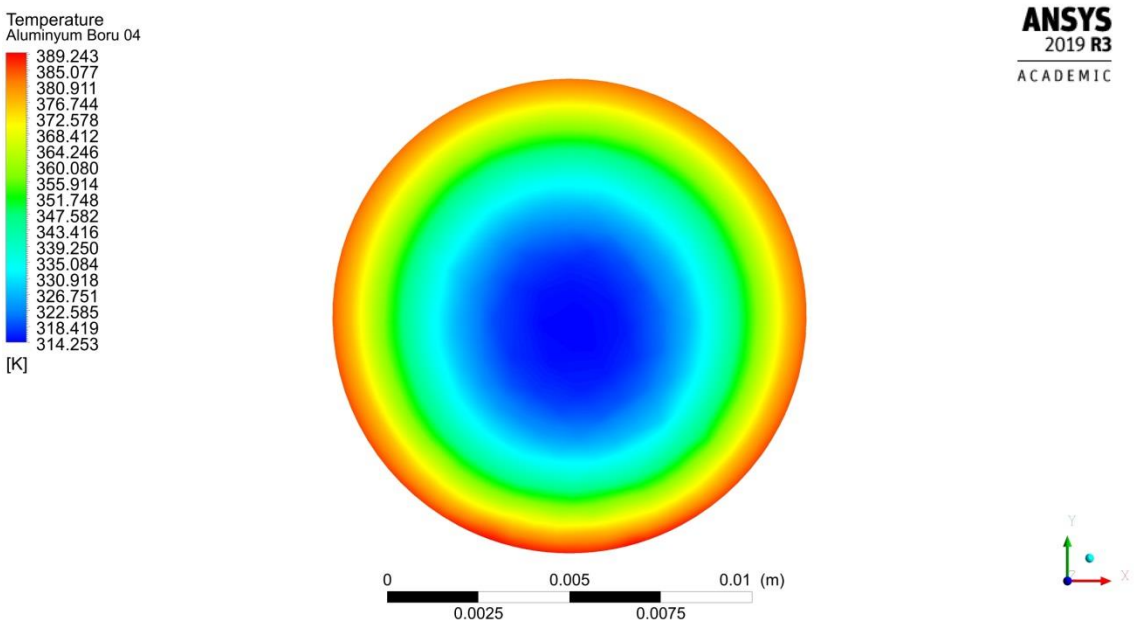
Şekil 4.93. 0.0067 kg/s debide akışkan sıcaklık dağılımı

Boru üzerine yoğunlaştırılan ısı, iletim yoluyla tüm boruya homojen olarak yayılmakta ve taşınım yoluyla akışkana aktarılmaktadır. Bu sebeple akışkan sıcaklık dağılımının verildiği Şekil 4.93.'de boru içerisinden geçen akışkanın sıcaklığının çıkışa doğru arttığı görülmektedir.



Şekil 4.94. 0.0067 kg/s debide akışkan giriş sıcaklığı dağılımı

Odak borusuna giren akışkan sıcaklığı 40.5 °C (313.5 K) iken, sıcaklığı yükselmiş borunun iç yüzeylerine temas eden bölgelerde sıcaklık 47 °C (320 K)'ye yükseldiği Şekil 4.94.'de görülmektedir.



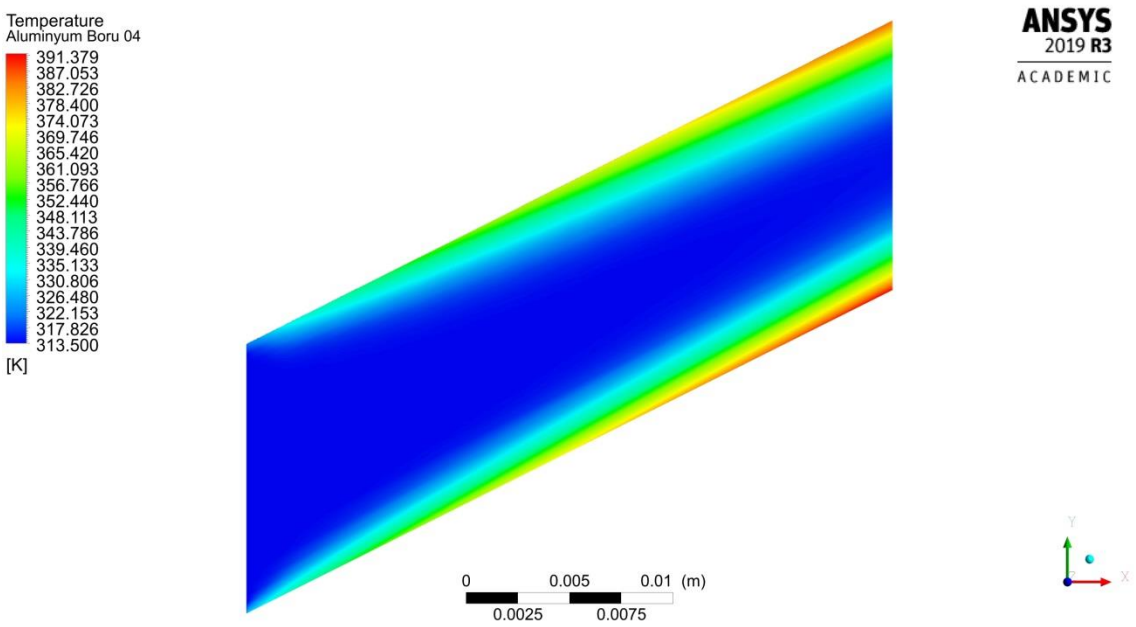
Şekil 4.95. 0.0067 kg/s debide akışkan çıkış sıcaklığı dağılımı

Odak borusu çıkış noktasında sıcaklığın ortalama değeri, ANSYS/Report/Surface İntegrals ara yüzü kullanılarak iki değer tespit edilmektedir. Alan ağırlıklı ortalama ve Kütle ağırlıklı ortalama üzerinden çıkış sıcaklık değerleri tespit edilmiştir.

Kütle ağırlıklı ortalama: 60 °C (333 K)

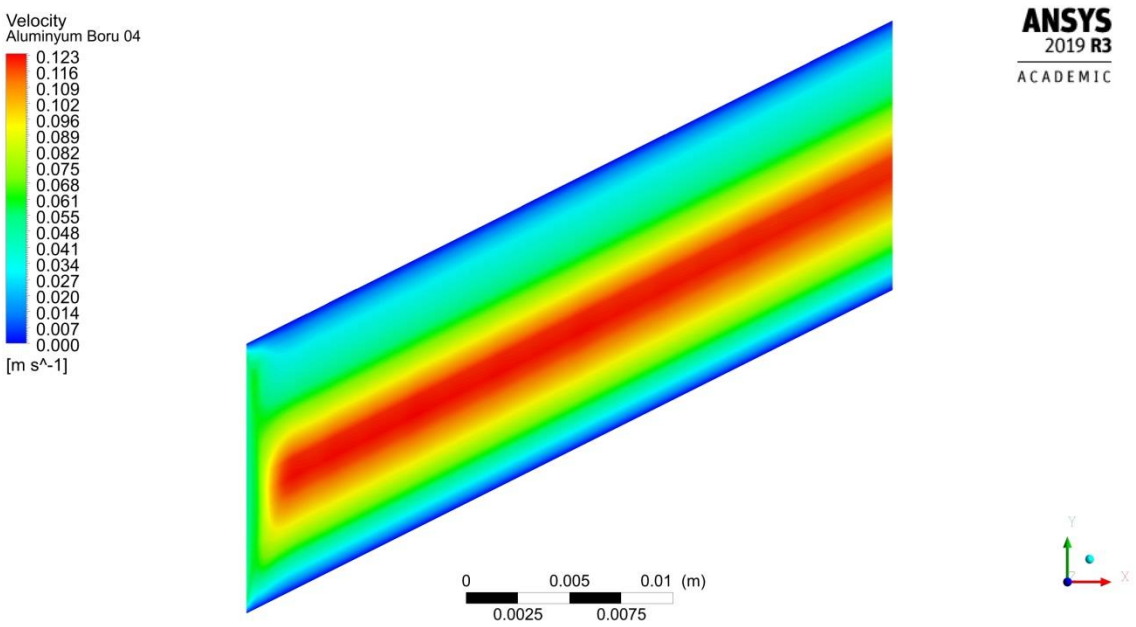
Alan ağırlıklı ortalama: 74 °C (347 K)

Ancak akışkan, odak borusu çıkışında sıcaklığı yükselmiş borunun iç yüzeylerine temas eden bölgelerde sıcaklık 116 °C (389 K)'ye yükseldiği Şekil 4.95.'de görülmektedir.



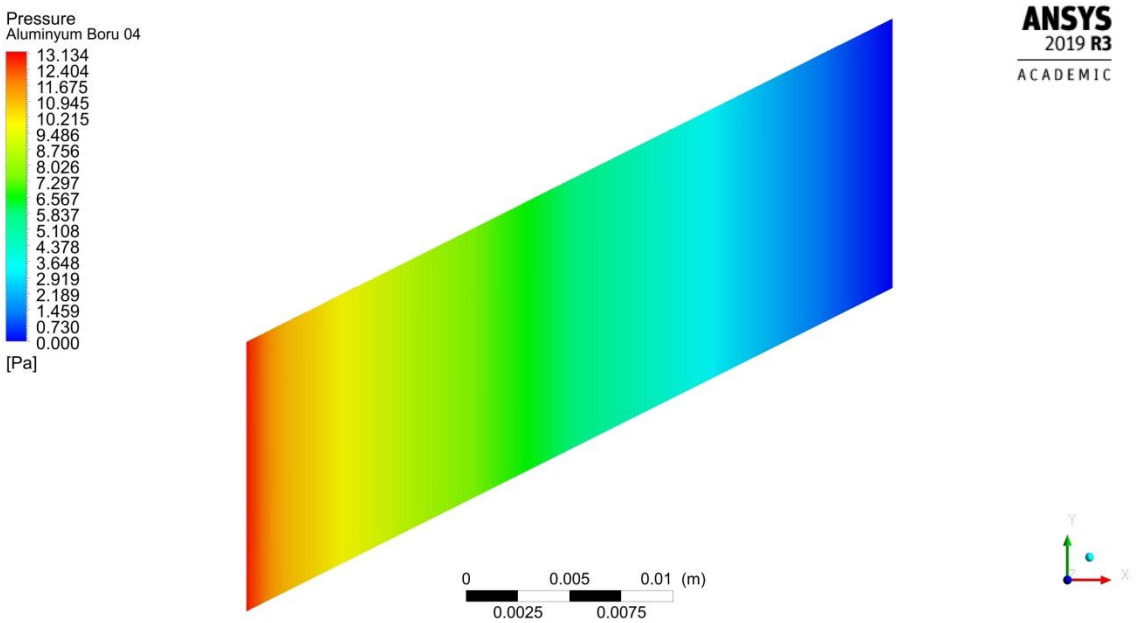
Şekil 4.96. 0.0067 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin sıcaklığı dağılımı

Akışkanın boru merkezinde meydana gelen akış sıcaklık dağılımı Şekil 4.96.'da boru merkez çizgisi boyunca boyuna kesiti verilmiştir. Akışın sıcaklık dağılımı, boru merkezine yakın bölgelerde düşük iken boru iç yüzeyine yakın bölgelerde daha yüksektir. Borunun ısınması, borunun iç yüzey sıcaklığının artmasına, dolayısıyla akış sırasında borunun iç yüzeyine temas eden akışkanın sıcaklığının boru boyunca yükselmesine sebep olmaktadır.



Şekil 4.97. 0.0067 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin hız dağılımı

Boru akışlarında hız profili, çeperlerde yavaş, merkeze doğru gidildikçe artmakta, merkezde ise en yüksek hıza ulaşmaktadır. Boru iç yüzeylerinde (sınır tabaka) en büyük çapta hız sıfırdır. Şekil 4.97.'de görüldüğü üzere en yüksek hız merkezde 0.123 m/s, en düşük hız boru iç yüzeylerinde 0 m/s olarak tespit edilmiştir.

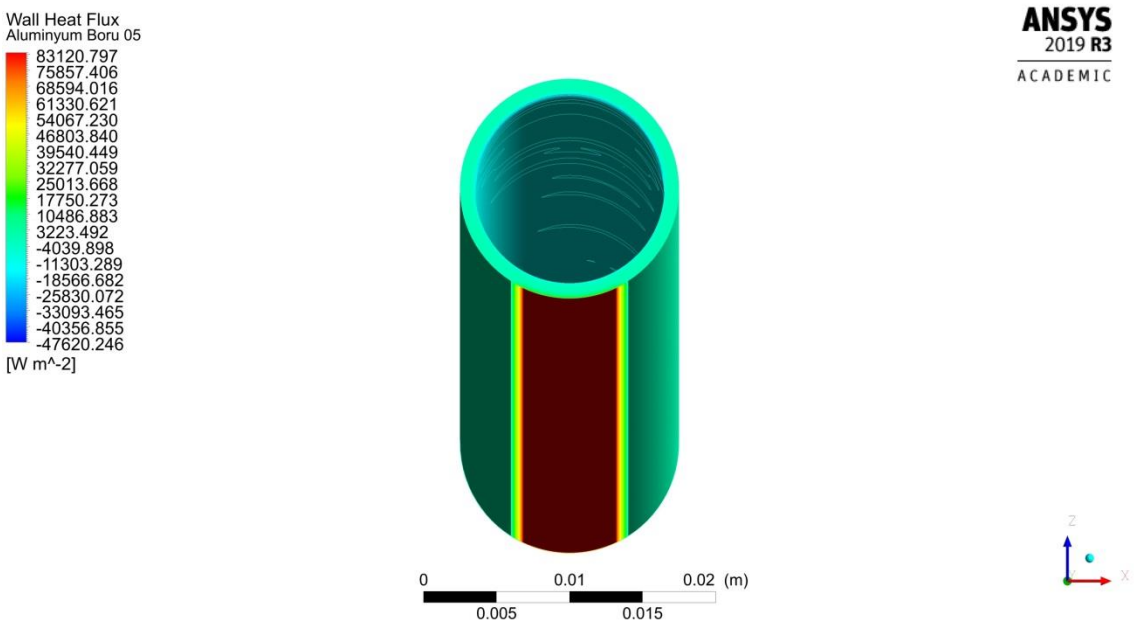


Şekil 4.98. 0.0067 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin basınç dağılımı

Boru merkez çizgisi boyunca kesitinin basınç dağılımı girişte yüksek iken çıkışa doğru atmosfere açık olan boru basıncı düşmüştür. Çıkış basıncı 0 Pa olarak tespit edilmiştir.

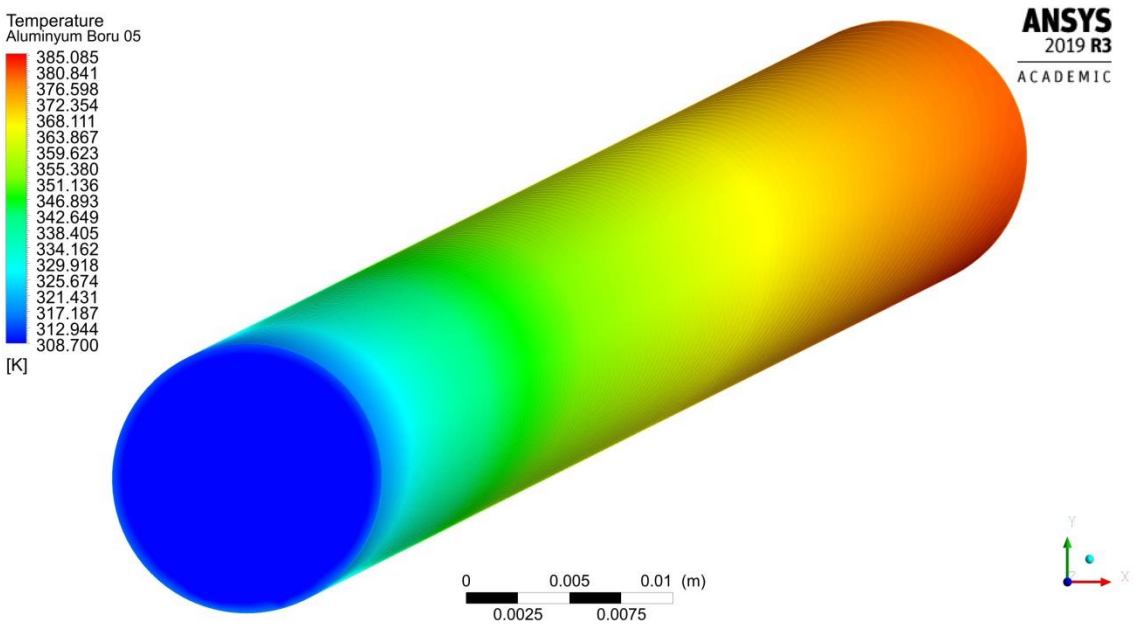
4.4.5.10. Alüminyum Boru 0.0083 kg/s Debi Sonucu

Bu debide, sisteme giren enerji 83780 W/m^2'dir. Yansıtıcı yüzeye gelen güneş ışınımı doğrusal olarak odak borusunda yoğunlaştığı Şekil 4.99.'da görülmektedir.



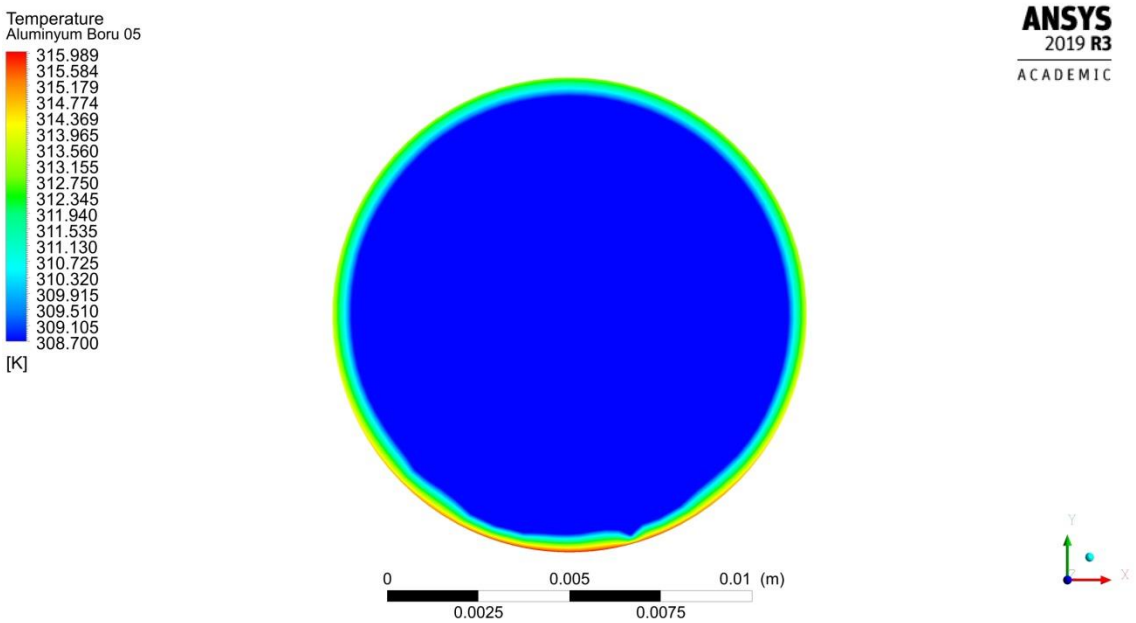
Şekil 4.99. 0.0083 kg/s debi için odak borusu ısıl dağılımı

Yoğunlaştırılan güneş ışınlarının borunun dış yüzeyinin alt kısmında doğrusal olarak odaklandığı ve odak noktasından uzaklaştıkça ısı dağılımının azaldığı görülmektedir. Boru boyunca uzanan yüzeydeki ısı yoğunluğu iletim ve taşınım yoluyla akışkana transfer olarak, akışkanın çıkış noktasına kadar sıcaklığının artmasına sebep olmaktadır.



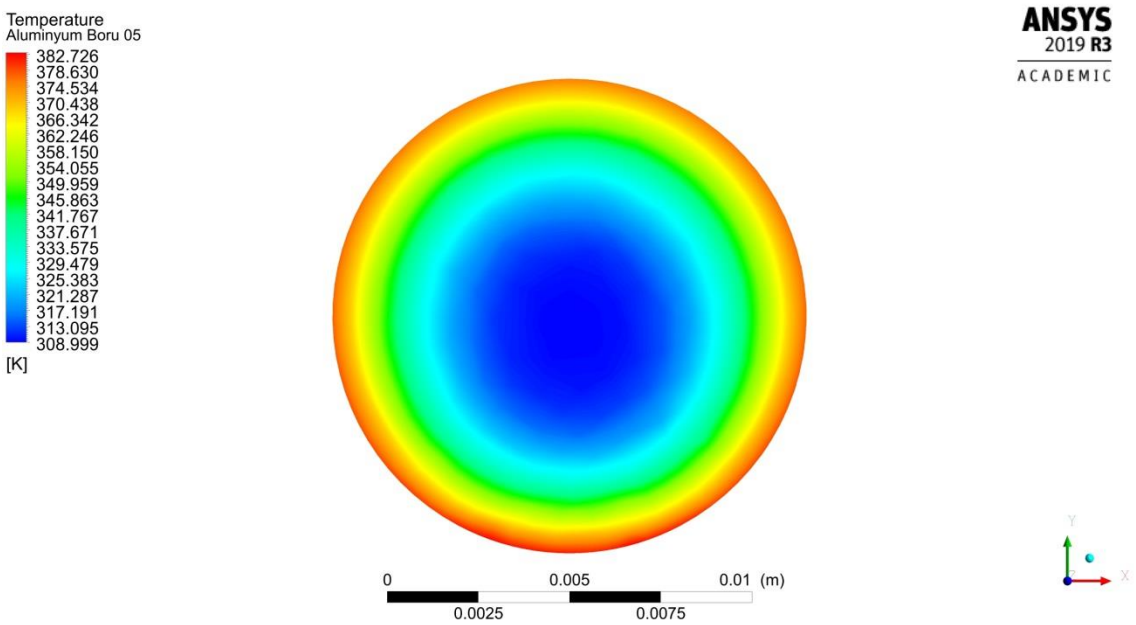
Şekil 4.100. 0.0083 kg/s debide akışkan sıcaklık dağılımı

Boru üzerine yoğunlaştırılan ısı, iletim yoluyla tüm boruya homojen olarak yayılmakta ve taşınım yoluyla akışkana aktarılmaktadır. Bu sebeple akışkan sıcaklık dağılımının verildiği Şekil 4.100.'de boru içerisinden geçen akışkanın sıcaklığının çıkışa doğru arttığı görülmektedir.



Şekil 4.101. 0.0083 kg/s debide akışkan giriş sıcaklığı dağılımı

Odak borusuna giren akışkan sıcaklığı 35.7 °C (308.7 K) iken, sıcaklığı yükselmiş borunun iç yüzeylerine temas eden bölgelerde sıcaklık 42 °C (315 K)'ye yükseldiği Şekil 4.101.'de görülmektedir.



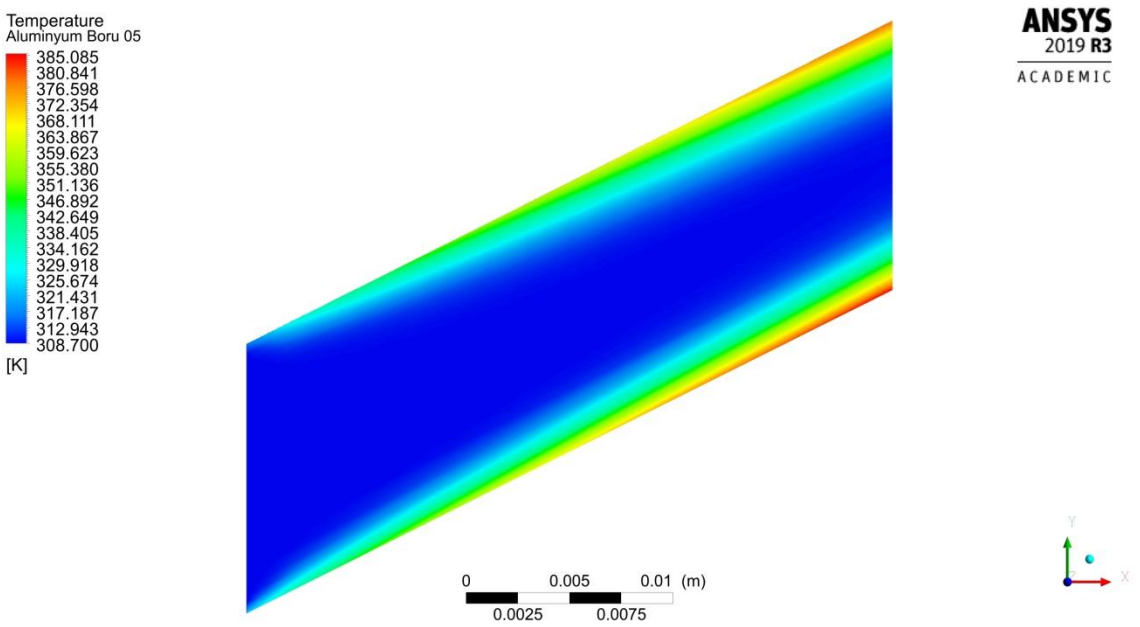
Şekil 4.102. 0.0083 kg/s debide akışkan çıkış sıcaklığı dağılımı

Odak borusu çıkış noktasında sıcaklığın ortalama değeri, ANSYS/Report/Surface İntegrals ara yüzü kullanılarak iki değer tespit edilmektedir. Alan ağırlıklı ortalama ve Kütle ağırlıklı ortalama üzerinden çıkış sıcaklık değerleri tespit edilmiştir.

Kütle ağırlıklı ortalama: 53 °C (326 K)

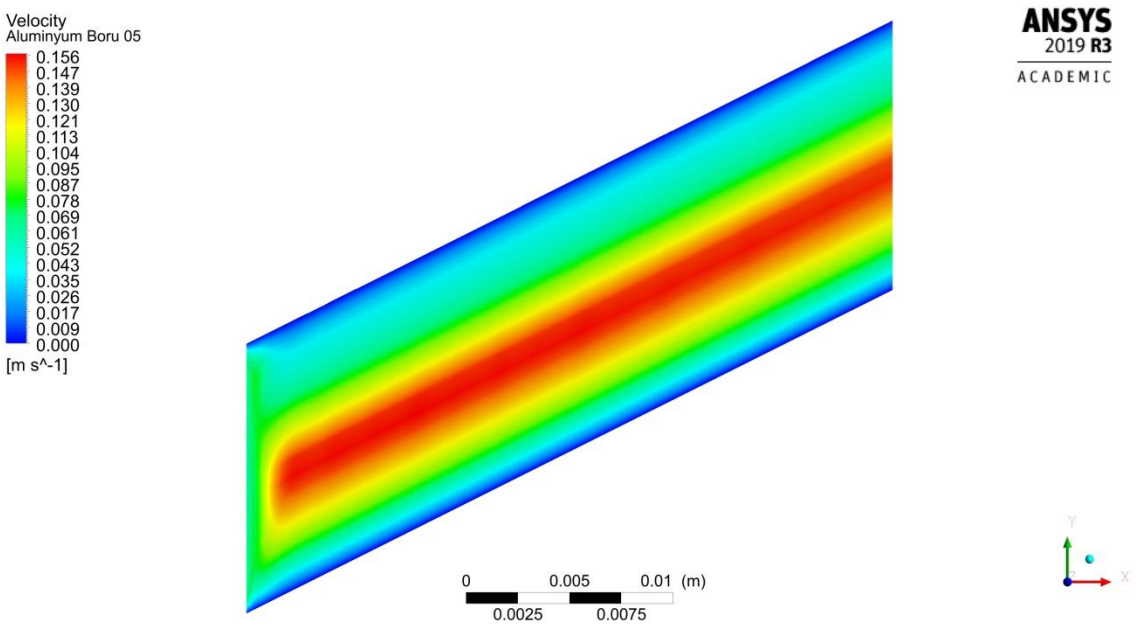
Alan ağırlıklı ortalama: 66 °C (339 K)

Ancak akışkan, odak borusu çıkışında sıcaklığı yükselmiş borunun iç yüzeylerine temas eden bölgelerde sıcaklık 109 °C (382 K)'ye yükseldiği Şekil 4.102.'de görülmektedir.



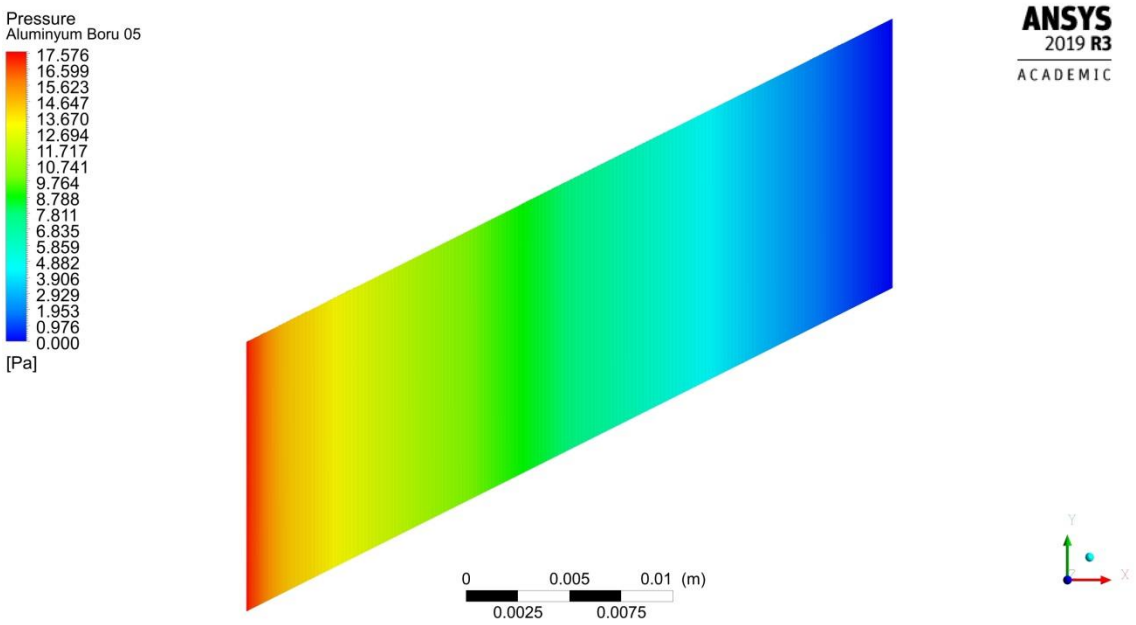
Şekil 4.103. 0.0083 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin sıcaklığı dağılımı

Akışkanın boru merkezinde meydana gelen akış sıcaklık dağılımı Şekil 4.103.'de boru merkez çizgisi boyunca boyuna kesiti verilmiştir. Akışın sıcaklık dağılımı, boru merkezine yakın bölgelerde düşük iken boru iç yüzeyine yakın bölgelerde daha yüksektir. Borunun ısınması, borunun iç yüzey sıcaklığının artmasına, dolayısıyla akış sırasında borunun iç yüzeyine temas eden akışkanın sıcaklığının boru boyunca yükselmesine sebep olmaktadır.



Şekil 4.104. 0.0083 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin hız dağılımı

Boru akışlarında hız profili, çeperlerde yavaş, merkeze doğru gidildikçe artmakta, merkezde ise en yüksek hıza ulaşmaktadır. Boru iç yüzeylerinde (sınır tabaka) en büyük çapta hız sıfırdır. Şekil 4.104.'de görüldüğü üzere en yüksek hız merkezde 0.156 m/s, en düşük hız boru iç yüzeylerinde 0 m/s olarak tespit edilmiştir.



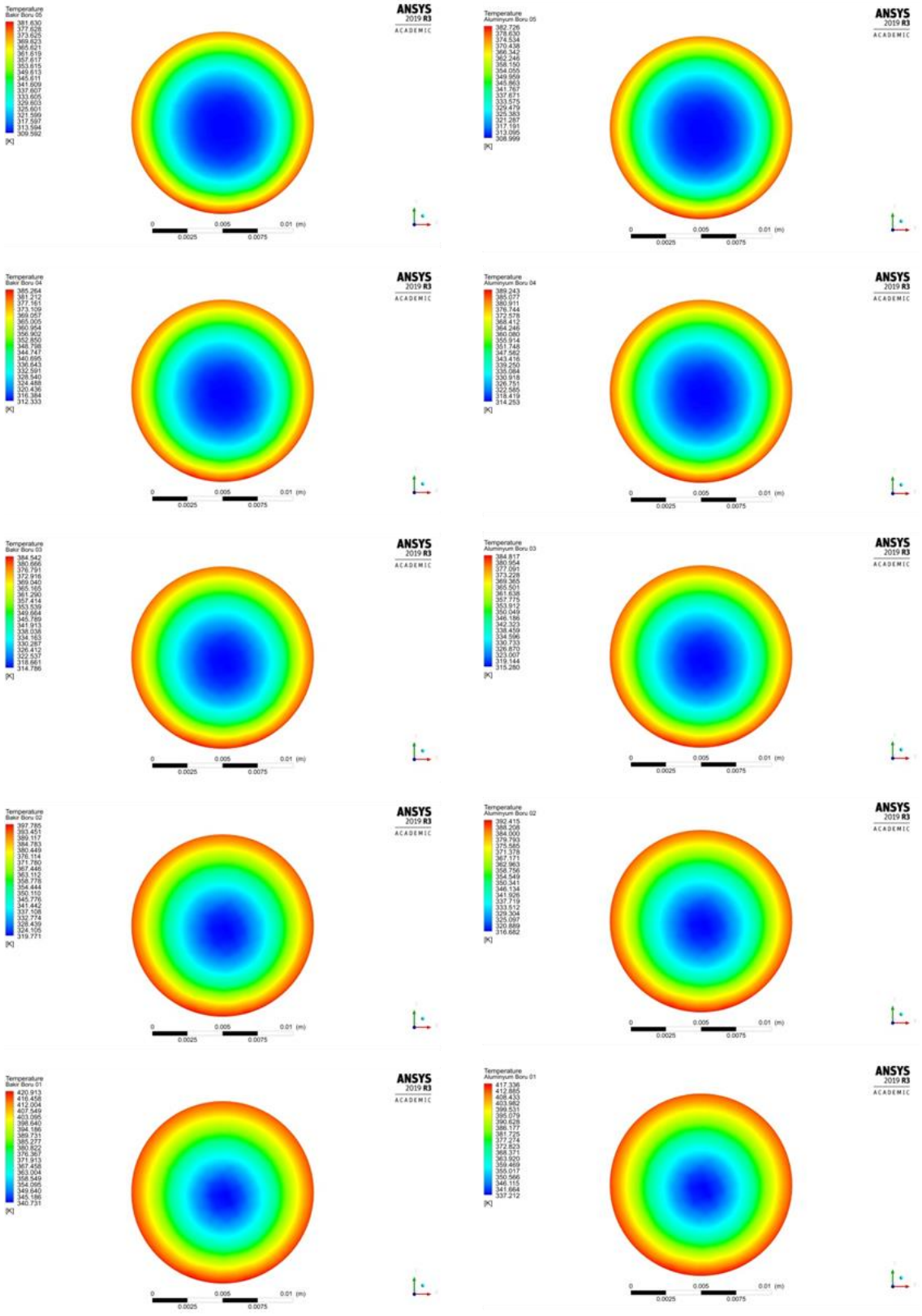
Şekil 4.105. 0.0083 kg/s debide boru merkez çizgisi boyunca kesitinin basınç dağılımı

Boru merkez çizgisi boyunca kesitinin basınç dağılımı girişte yüksek iken çıkışa doğru atmosfere açık olan boru basıncı düşmüştür. Çıkış basıncı 0 Pa olarak tespit edilmiştir.

4.4.5.11. Bakır ve Alüminyum Borunun Çıkış Sıcaklıklarının Karşılaştırılması

Bakır ve alüminyum boruların debilere göre çıkış sıcaklıkları Şekil 4.106.'da verilmiştir. Bakır borunun debiye göre çıkış sıcaklık dağılımları sol sütunda yer almaktadır. En düşük debi altta olmak üzere yukarı doğru artan debiler konumlandırılmıştır. Alüminyum borunun debiye göre çıkış sıcaklık dağılımları sağ sütunda yer almaktadır. En düşük debi altta olmak üzere yukarı doğru artan debiler konumlandırılmıştır.

Şekil 4.106.'da düşük debide meydana gelen akış sırasında çıkış sıcaklık dağılımının daha yüksek olduğu görülmektedir. Düşük debideki akışkanın odak borusu içerisinde daha uzun süre kalması boru iç yüzeylerinden daha fazla ısı sönümlemesini sağlamaktadır. Böylece akışkan sıcaklığının büyük debilere göre daha yüksek sıcaklıkta çıkmasına sebep olmaktadır.



(a) **(b)**

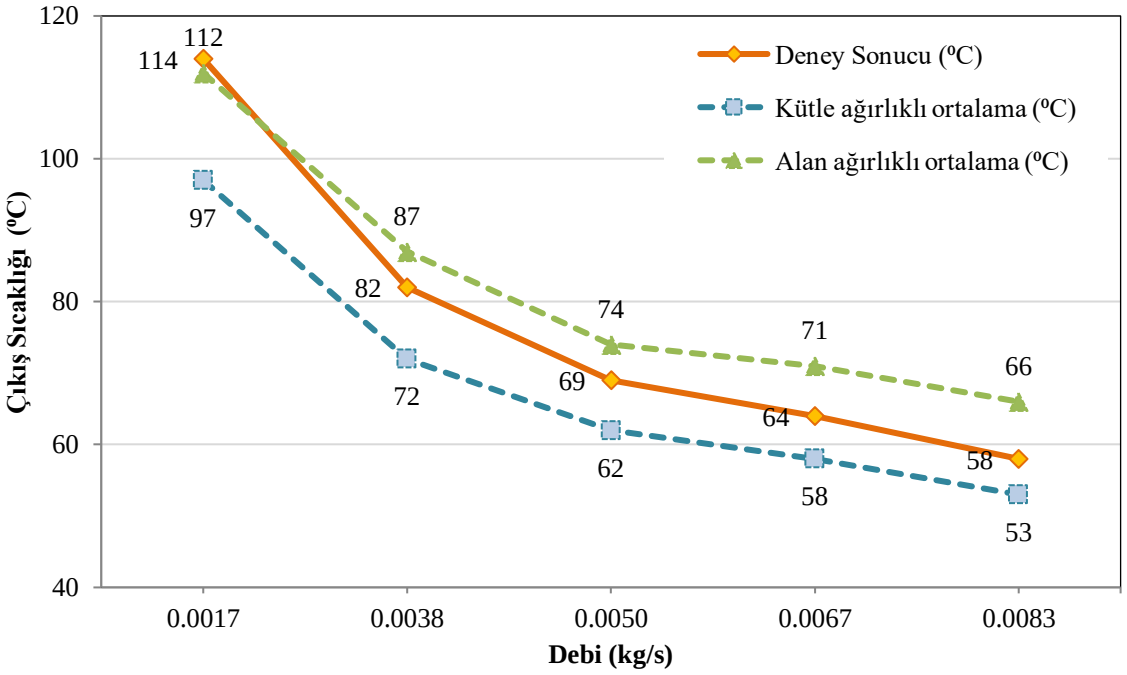
Şekil 4.106. Artan debiye göre (a) Bakır boru (b) Alüminyum boru için çıkış sıcaklık dağılımları

Çizelge 4.7. Bakır ve alüminyum boru deney ve simülasyon çıkış sıcaklıkları

	Bakır Boru			Alüminyum Boru		
Debi (kg/s)	Deney Sonucu (°C)	Kütle ağırlıklı ortalama (°C)	Alan ağırlıklı ortalama (°C)	Deney Sonucu (°C)	Kütle ağırlıklı ortalama (°C)	Alan ağırlıklı ortalama (°C)
0.0017	114	97	112	110	94	108
0.0038	82	72	87	77	68	82
0.0050	69	62	74	68	62	75
0.0067	64	58	71	66	60	74
0.0083	58	53	66	58	53	66

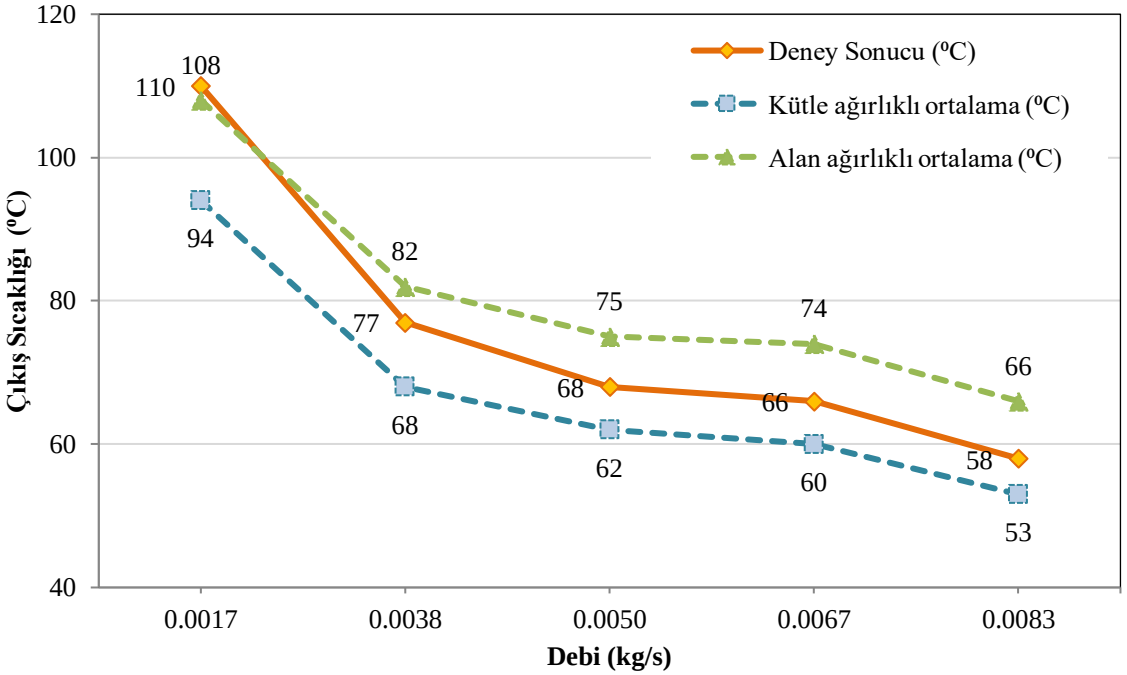
Çizelge 4.7.'de deney sonucu ölçülen ve simülasyon sonucu kütle ağırlıklı ve alan ağırlıklı ortalama çıkış sıcaklık değerleri verilmiştir. Çizelge 4.7.'de bakır ve alüminyum boru için alan ağırlıklı ortalama sıcaklık değeri ile tespit edilen en yüksek sıcaklık değeri, deney sonucundan 2 °C düşük olduğu görülmektedir. Çizelge 4.7.'de bakır ve alüminyum boru için kütle ağırlıklı ortalama sıcaklık değeri ile tespit edilen en düşük sıcaklık değeri, deney sonucundan 5 °C düşük olduğu görülmektedir.

Simülasyon sonucu alan ve kütle ağırlıklı çıkış sıcaklık değerleri ortalama hata payları sırasıyla, 5.4 °C ve 9 °C olarak hesaplanmıştır.



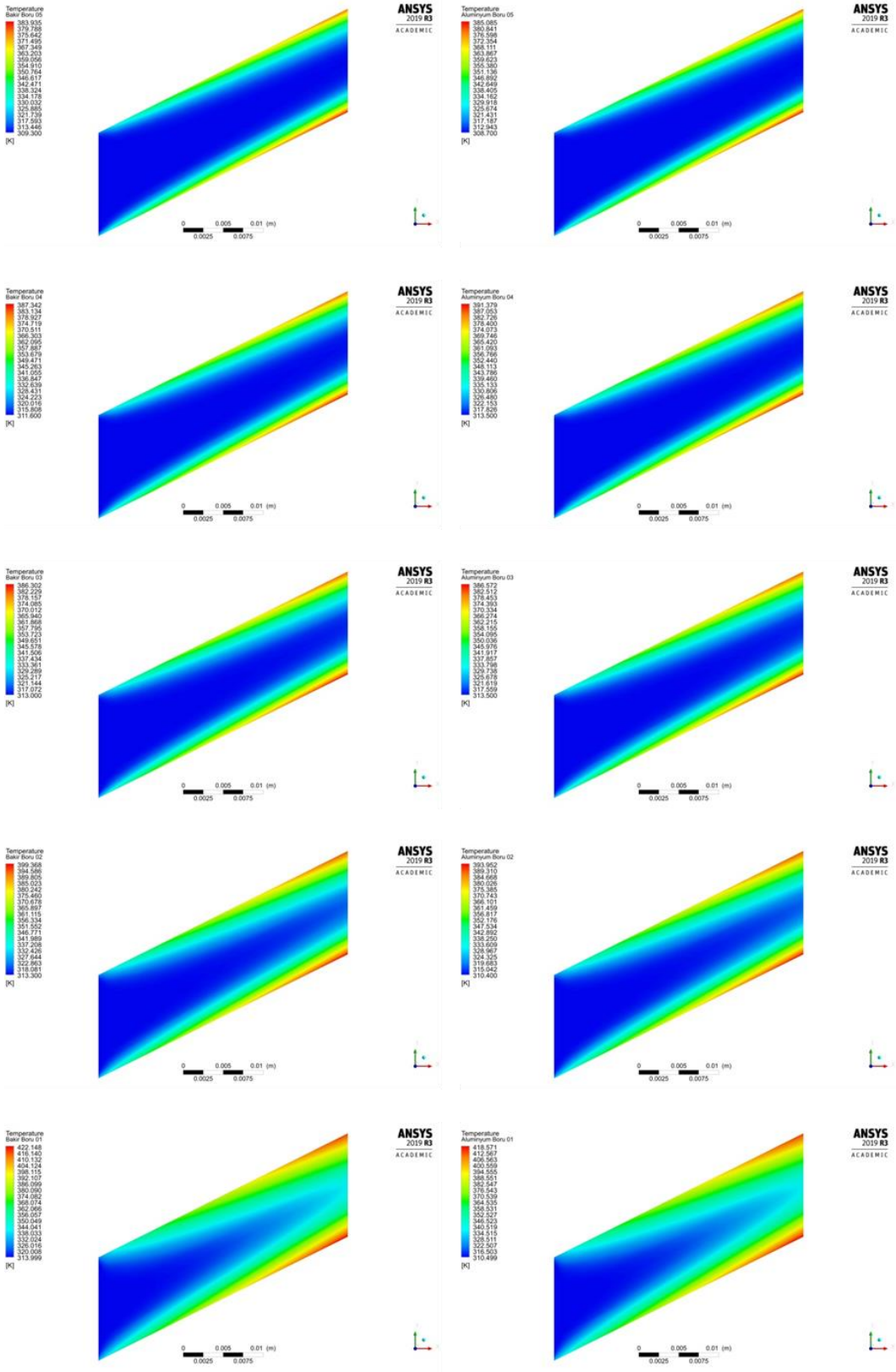
Şekil 4.107. Bakır boru deney ve simülasyon çıkış sıcaklıkları

Şekil 4.107.'de görüldüğü üzere bakır boru deney sonuçları ile alan ağırlıklı ortalama çıkış sıcaklıkları daha yakın seyretmektedir.



Şekil 4.108. Alüminyum boru deney ve simülasyon çıkış sıcaklıkları

Şekil 4.108.'de görüldüğü üzere alüminyum boru deney sonuçları ile alan ağırlıklı ortalama çıkış sıcaklıkları daha yakın seyretmektedir. Kütle ağırlıklı ortalamanın yaklaşık % 11.5 oranında daha düşük, alan ağırlıklı ortalamanın ise yaklaşık % 6.5 oranında daha yüksek sonuç verdiği görülmektedir. Deneysel verilerden daha az sapma olması nedeniyle, incelenen simülasyon yöntemlerinde alan ağırlıklı ortalama, göre kütle ağırlıklı ortalama yöntemine tercih edilebilir.



(a) **(b)**

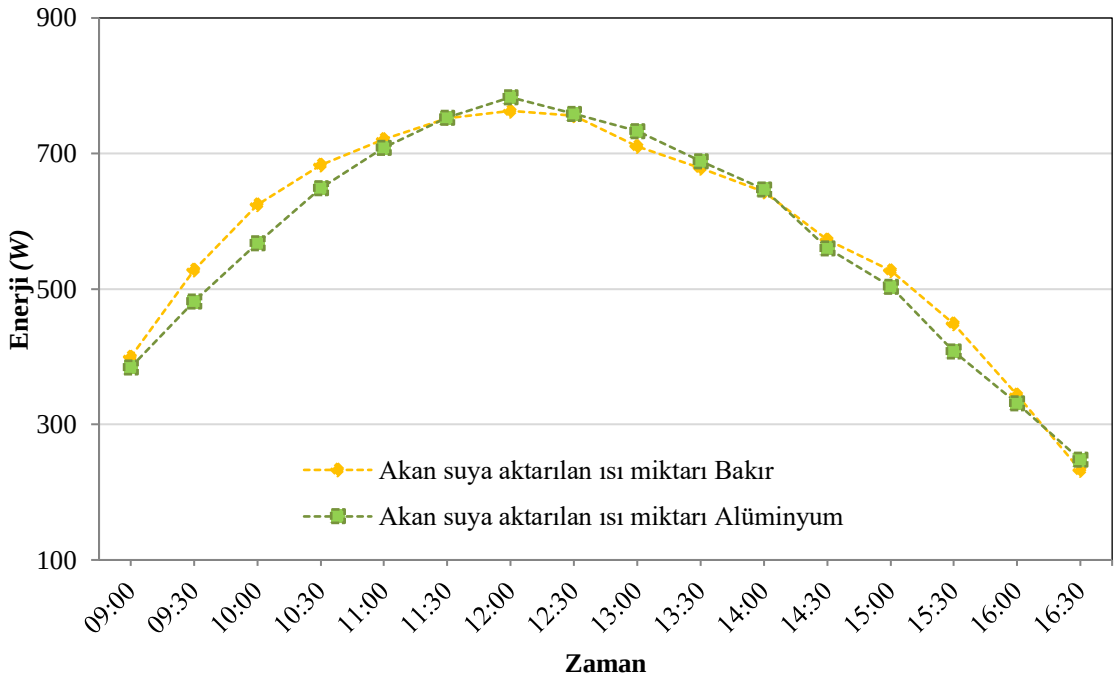
Şekil 4.109. Artan debiye göre (a) Bakır boru (b) Alüminyum boru için merkez çizgisi boyuna kesit sıcaklık dağılımları

Bakır ve alüminyum boruların debilere göre merkez çizgisi boyuna kesit sıcaklık dağılımları Şekil 4.109.'da verilmiştir. Bakır borunun debiye göre merkez çizgisi boyuna kesit sıcaklık dağılımları sol sütunda yer almaktadır. En düşük debi altta olmak üzere yukarı doğru artan debiler konumlandırılmıştır. Alüminyum borunun debiye göre merkez çizgisi boyuna kesit sıcaklık dağılımları sağ sütunda yer almaktadır. En düşük debi altta olmak üzere yukarı doğru artan debiler konumlandırılmıştır.

Şekil 4.109.'da giriş bölgesinde düşük sıcaklık gradyanları mevcut iken, çıkış gölgelerinde yüksek sıcaklık gradyanları meydana gelmiştir. Şekil 4.109.'da düşük debide meydana gelen akış sırasında merkez çizgisi boyuna kesit sıcaklık dağılımlarında yüksek sıcaklık gradyanlarının daha yoğun olduğu görülmektedir. Düşük debideki akışkanın odak borusu içerisinde daha uzun süre kalması boru iç yüzeylerinden daha fazla ısı sönümlemesini sağlamaktadır. Böylece akışın yüksek sıcaklık gradyanlarının büyük debilere göre daha yoğun oluşmasına sebep olmaktadır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

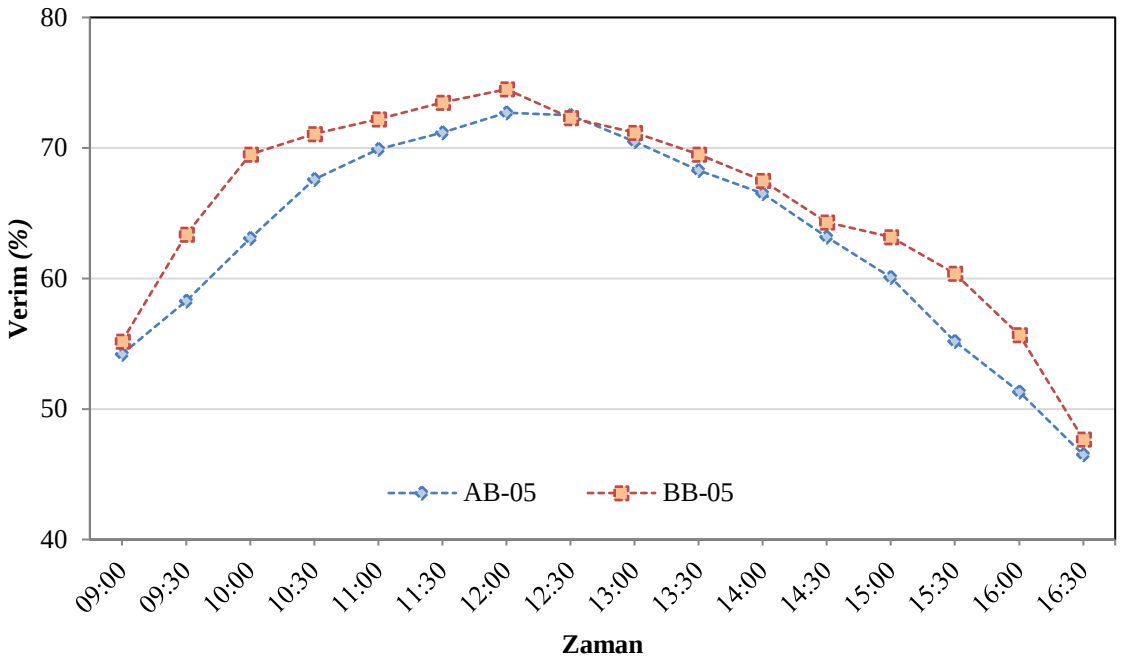
Bu çalışmada parabolik oluklu güneş kollektörü kullanılarak sıcak su elde etme amaçlanmıştır. Parabolik yansıtıcı yüzey, 1 m^2'lik alana sahip parlatılmış alüminyum malzemedir. Sistemde akışkan açık devre şeklinde sirkülasyon prensibine dayanmaktadır. Sistemde akışkan olarak su kullanılmıştır. Akışkan iki ayrı deney setinde, beş farklı debi, toplamda on farklı deney yapılmıştır. Deneylerde, 0.0017 kg/s, 0.0033 kg/s, 0.0050 kg/s, 0.0067 kg/s ve 0.0083 kg/s debi değerleri kullanılmıştır. Güneş ışınımına bağlı olarak, giriş suyu sıcaklığının, çıkış sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Odak borusu malzemelerinin ısı iletim kabiliyetleri incelenmiştir. Yapılan ölçümler sayesinde sistemin verimi, bakır ve alüminyum malzeme odak borulu iki farkı deney setinde hesaplanmıştır. Ansys ile model oluşturulmuş ve deneylerin simülasyonu yapılmıştır. Ansys simülasyon sonucu çıkış sıcaklık değerleri ve deney çıkış sıcaklık değerleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.1. Alüminyum ve bakır boru malzemeleri ile suya ısı aktarımının karşılaştırılması

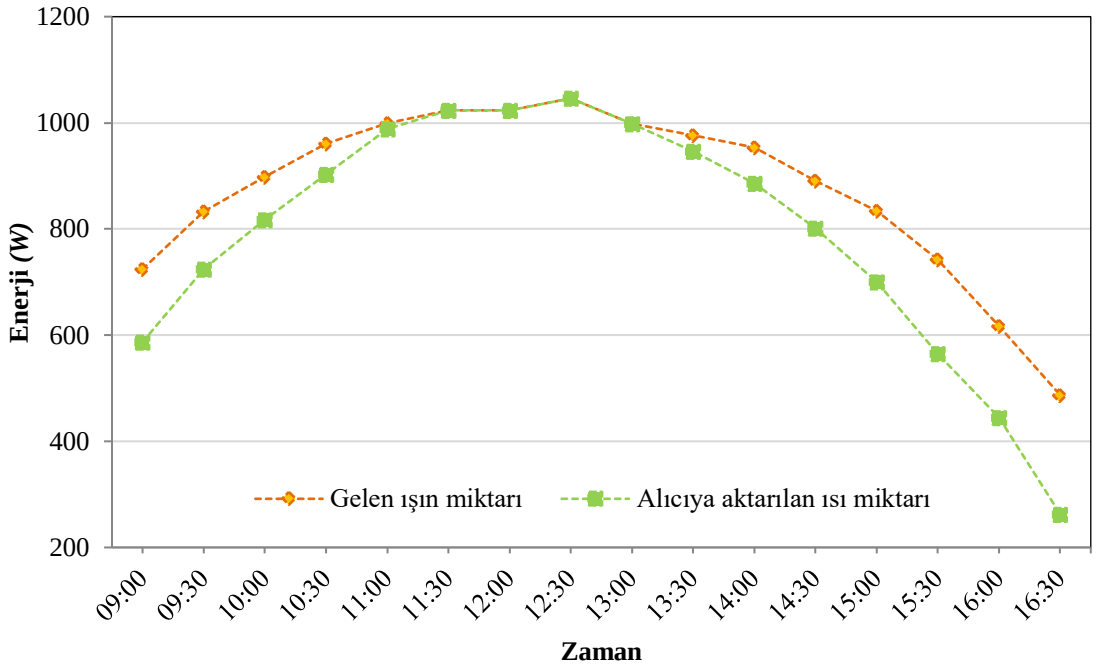
Şekil 5.1.'de bakır ve alüminyum boru malzemeleri kullanılarak gelen güneş ışınından suya aktarılan enerji karşılaştırılmıştır. Alüminyum boru malzeme kullanılarak yapılan deneyde, suya aktarılan enerji miktarı göz önünde bulundurulduğunda bazı

değerler daha yüksek okunmaktadır. Bu durum, gün içerisindeki güneş ışınım miktarının yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.



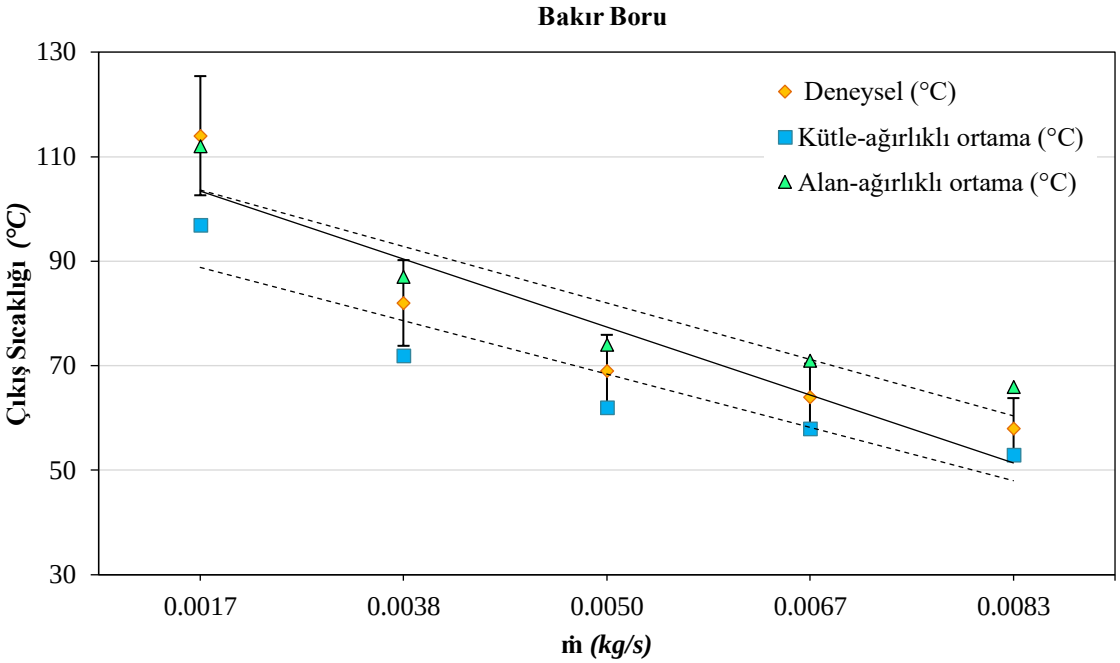
Şekil 5.2. AB-05 ve BB-05 verim karşılaştırılması

Şekil 5.2.'de bakır boru malzeme ve alüminyum boru malzeme 0.0083 kg/s debideki verimler karşılaştırılmıştır. Şekil 5.2.'de bakır borunun ısı iletim açısından daha verimli olduğu görülmektedir. Bu durum, 4.2'de yapılan deneyler ve bulgular bölümünde güneş ışınımları, giriş-çıkış sıcaklıkları, sıcaklık farkı ve suya aktarılan enerji miktarları karşılaştırılarak açıklanmıştır.



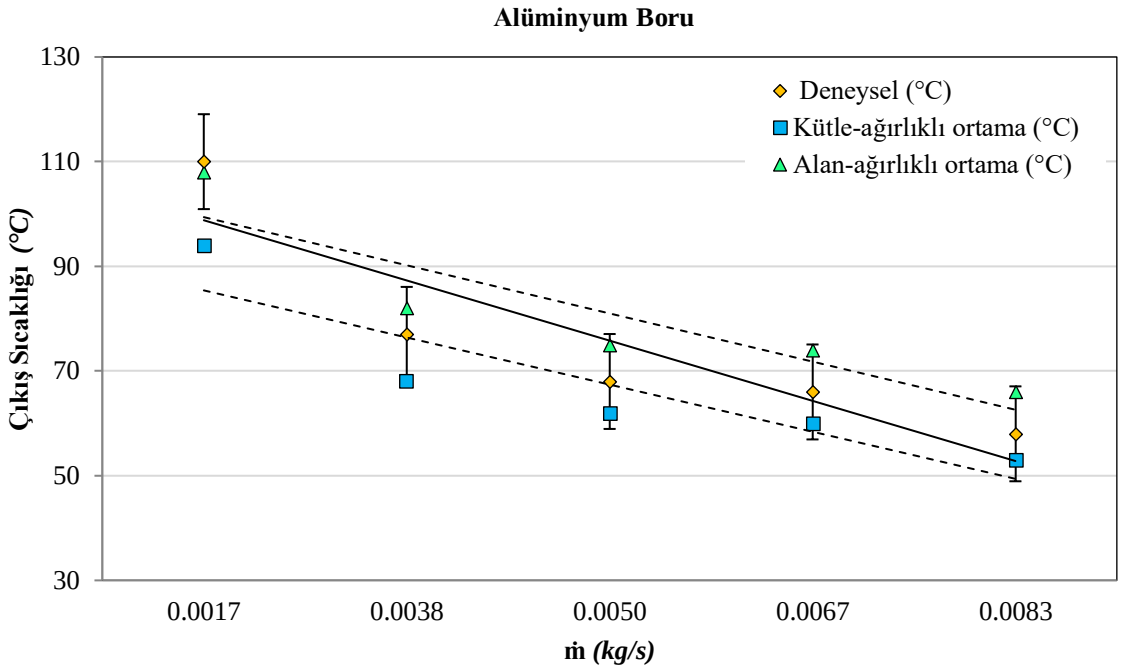
Şekil 5.3. Işın sapma miktarı

Şekil 5.3.'de görüldüğü üzere gün içerisinde sabah 09:00-11:00 saatleri ve öğleden sonra 13:00-16:30 saatleri arasında güneş ışınları eğik açı ile sisteme ulaştığından gelen güneş ışınlarının bir kısmı odak borusundan sapmaktadır. Meydana gelen sapma miktarı enerji kaybına, dolayısıyla verimin düşük çıkmasına sebep olmaktadır. Ancak sapmadan kaynaklanan enerji kaybı ve verim düşüklüğü sapmanın olmadığı zaman dilimlerinde meydana gelmemektedir. Öğle saatleri 11:00-13:00 saatleri arasında güneş ışınları dik açı ile sisteme ulaşmasından dolayı sapma ve kayıp olmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.4. Bakır boru deney ve simülasyon çıkış sıcaklıkları hata okuma

Şekil 5.4.'de bakır boru deney ve simülasyon çıkış sıcaklıkları hata payları verilmiştir. Şekil 5.4.'de % 10 hata payı uygulanmıştır. Simülasyonda kütle ağırlıklı ortalama ile alan ağırlıklı ortalama kullanılarak çıkış sıcaklıkları tespit edilmiştir. Simülasyon çıkış sıcaklık sonucu, deney çıkış sıcaklığı ile karşılaştırılmıştır. Çıkış sıcaklıkları, 0.0033 kg/s, 0.0050 kg/s, 0.0067 kg/s ve 0.0083 kg/s uygun aralıkta, ancak 0.0017 kg/s debi değerinde uygun aralıkta değildir. Kütle ağırlıklı ortalama simülasyon çıkış sıcaklığı, 0.0017 kg/s debi değerinde % 10 hata payı dışında kaldığından, uygun aralıkta değildir.



Şekil 5.5. Alüminyum malzeme boru deney ve simülasyon çıkış sıcaklıkları hata okuma

Şekil 5.5.'de alüminyum boru deney ve simülasyon çıkış sıcaklıkları hata payları verilmiştir. Şekil 5.5.'de % 10 hata payı uygulanmıştır. Simülasyonda kütle ağırlıklı ortalama ile alan ağırlıklı ortalama kullanılarak çıkış sıcaklıkları tespit edilmiştir. Simülasyon çıkış sıcaklık sonucu, deney çıkış sıcaklığı ile karşılaştırılmıştır. Çıkış sıcaklıkları, 0.0033 kg/s, 0.0050 kg/s, 0.0067 kg/s ve 0.0083 kg/s uygun aralıkta, ancak 0.0017 kg/s debi değerinde uygun aralıkta değildir. Kütle ağırlıklı ortalama simülasyon çıkış sıcaklığı, 0.0017 kg/s debi değerinde % 10 hata payı dışında kaldığından, uygun aralıkta değildir.

Çizelge 5.1. En yüksek verime sahip deney verileri

Deney kodu	Işın miktarı	Giriş sıcaklığı	Çıkış sıcaklığı	Suyun kütlesel debisi	Maksimum sıcaklık değişimi	Akan suya aktarılan ısı miktarı	Sistemin verimi
	I (W/m²)	T_1 (°C)	T_2 (°C)	$\dot{m}$ (kg/s)	ΔT (°C)	Q_u (W)	(%)
BB - 01	1060	41.0	114.1	0.0017	73.1	519.4	49.0
BB - 02	1077	40.3	81.90	0.0033	41.6	573.8	51.9
BB - 03	1030	40.3	68.70	0.0050	28.4	594.3	57.7
BB - 04	997	38.6	63.60	0.0067	25.0	696.9	69.9
BB - 05	1024	36.3	58.20	0.0083	21.9	762.9	74.5
AB - 01	1060	37.5	110.7	0.0017	73.2	520.5	49.1
AB - 02	1050	37.4	77.90	0.0033	40.5	558.6	53.2
AB - 03	1007	40.5	68.90	0.0050	28.4	594.1	59.0
AB - 04	1049	40.5	66.30	0.0067	25.8	718.6	68.5
AB - 05	1077	35.7	58.20	0.0083	22.5	783.0	72.7

Çizelge 5.1.'de 0.0017 kg/s, 0.0033 kg/s, 0.0050 kg/s, 0.0067 kg/s ve 0.0083 kg/s debide en yüksek verimin elde edildiği güneş ışınım miktarı, giriş sıcaklığı, çıkış sıcaklığı, sıcaklık farkı, suya aktarılan enerji miktarı ve verim değerleri verilmiştir.

Bu çalışmanın sonuçları aşağıdaki gibi özetlenebilir;

1. Bakır borulu set için, 1024 W/m² güneş ışınımı, 0.0083 kg/s debi ve giriş sıcaklığı 36.3 °C şartlarında parabolik oluklu güneş kollektörü ile 762.9 W ısıl güç sağlanmıştır. Alüminyum borulu set için, 1077 W/m² güneş ışınımı, 0.00833 kg/s debi ve giriş sıcaklığı 35.7 °C şartlarında parabolik oluklu güneş kollektörü ile 783.0 W ısıl güç sağlanmıştır.
2. Parabolik oluklu güneş kollektörü ile 0.0083 kg/s debide, 1 litre suyu 120 saniyede (2 dakika) 36.3 °C'den 58.2 °C'ye, 0.0017 kg/s debide 1 litre suyu 600 saniyede (10 dakika) 41.0 °C'den 114.1 °C'ye arttırmıştır.
3. Sistemin en yüksek ısıl verimi bakır borulu set için % 74.5, alüminyum borulu set için % 72.7 olarak tespit edilmiştir.

4. Minimum debide (0.0017 kg/s), giriş ve çıkış arasındaki sıcaklık farkı daha büyük olmasına rağmen, en büyük debide (0.0083 kg/s) suya aktarılan ısı miktarı en fazla olarak tespit edilmiştir.
5. ANSYS programı kullanılarak yapılan simülasyonda, bakır borulu simülasyon için alan ağırlıklı ortalama su çıkış sıcaklıkları deneysel sonuçlardan % 5.4, alüminyum borulu simülasyon için alan ağırlıklı ortalama su çıkış sıcaklıkları deneysel sonuçlardan % 6 farklı olduğu tespit edilmiştir.
6. Giriş-Çıkış sıcaklık farkı debilere göre, bakır borulu set için, 21.9 ila 73.1 °C, alüminyum borulu set için, 22.5 ila 73.2 °C artmıştır.

6. KAYNAKÇA

Abu-Hamdeh, N. H., Alnefaie, K. A. 2019. Assessment of thermal performance of PCM in latent heat storage system for different applications. ***Solar Energy***, 177 317–323.

Bakır, A. 2014. Parabolik Oluklu Güneş Kollektörünün Tasarımı, İmalatı ve Deneysel Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 36.

Barlev D., Vidu R., Stroeve P. 2011. Innovation İn Concentrated Solar Power. ***Solar Energy Materials & Solar Cells***, 95 (10): 2703–2725.

Bellos, E., Tzivanidis, C., Belessiotis, V. 2017. Daily performance of parabolic trough solar collectors. ***Solar Energy,*** 158 663–678.

Cheng, Z. D., Zhao, X. R., He, Y. L. 2018. Novel optical efficiency formulas for parabolic trough solar collectors: Computing method and applications. ***Applied Energy,*** 224 682–697.

Cicibıyık, C. 2012. Parabolik Oluk Tipi Güneş Kollektörü ile Enerji Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara. 102.

Dabiri, S., Rahimi, M. F. 2016. Basic introduction of solar collectors and energy and exergy analysis of a heliostat plant. ICESE-2016, University of Tehran, Tehran, Iran, 1-7.

Deutsches Zentrum Für Luft- Und Raumfahrt, Dlr, 2020. Parabolik oluklu güneş kolektörü, Erişim: [https://www.dlr.de/content/en/articles/energy/programme-topics/energy-systems-analysis.html]., Erişim Tarihi : 01.02.2020

Devecioğlu, A. G., Oruç, V., Tuncer, Z. 2018. Energy and exergy analyses of a solar air heater with wire mesh-covered absorber plate. ***International Journal of Exergy***, 26 (1-2), 3-20.

Duffie, J. A., Beckman, W. A. 2005. Concentrating Collectors. Duffie, J. A., Beckman, W. A. Solar Engineering of Thermal Processes. Solar Energy Laboratory University of Wisconsin-Madison, 322-446, Madison, USA.

EKO, 2019. Piranometre, Erişim: [https://eko-eu.com/products/solar-energy/handheld-sensors/ms-02-sensor]. Erişim Tarihi : 01.02.2020

ELECTRONIC MACHINING, 2019. Parabolik çanak, Erişim: [http://www.elmanet.info/en-us/47/thermodynamic-parabolic-solar-concentrators-stirling-engine.html]., Erişim Tarihi : 01.02.2020

Eltez, M. 1990. Güneş enerjisi yansıtıcı yüzey formlarının endüstriyel kullanımı. ***Güneş Enerjisi Enstitüsü Dergisi***, 1 (2): 45-50.

Ercoşkun, G. T. 2013. Parabolik Oluk Tipi Güneş Toplayıcısı Tasarımı ve Deneysel İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin. 81.

Erdoğan, A., Colpan, C. O., Cakici, D. M. 2017. Thermal design and analysis of a shell and tube heat exchanger integrating a geothermal based organic Rankine cycle and parabolic trough solar collectors. ***Renewable Energy***, 109 372–391.

Erdoğan, H., Gümüş, B., Efe S. B. vd. 2009. Yoğunlaştırıcılı Güneş Enerji Santralleri ve ILISU HES'e Alternatif Olarak Güneydoğu Anadolu Bölgesine Uygulanabilirliği. 5. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Diyarbakır.

Feldhoff J. F., Feldhoff K., Eck M. 2012. Comparative system analysis of'direct steam generation and synthetic oil parabolic trough power plants with integrated thermal storage. ***Solar Energy,*** 86 (1): 520–530.

Felinski, P., Sekret, R. 2017. Effect of a low cost parabolic reflector on the charging efficiency of an evacuated tube collector/storage system with a PCM. ***Solar Energy***, 144 758–766.

Fernandez-Garcia, A., Cantos-Soto, M. E., Röger, M., Wieckert, C., Hutter, C., Martinez-Arcos, L. 2014. Durability of solar reflector materials for secondary concentrators used in CSP systems. ***Solar Energy Materials & Solar Cells,*** 130 51–63.

Garcia, A. F., Sutter, F., Martinez, A. L., Sansom, C., Wolfertstetter, F., Delord, C. 2017. Equipment and methods for measuring reflectance of concentrating solar reflector materials. ***Solar Energy, Materials and Solar Cells***, 167 28–52.

Garcia, S.Q., Mora, H.S., Labarrios, M.A.P., Ramirez, R.I.G. 2019. Modeling and simulation to determine the thermal efficiency of a parabolic solar trough collector system. ***Case Studies in Thermal Engineering***, 16 100523.

Gong, J.H., Wang, J., Lund, P.D., Hu, E.Y., Xu, Z.C., Liu, G.P., Li, G.S. 2020. Improving the performance of a 2-stage large aperture parabolic trough solar concentrator using a secondary reflector designed by adaptive method. ***Renewable Energy,*** 152 23-33.

Grigoriu, R. O., Voda, A., Arghira, N., Iliescu, S. S. 2015. Modelling of greenhouse using parabolic trough collectors thermal energy. ***IFAC-PapersOnLine***, 48-30 450–455.

Hedayatizadeh, M., Sarhaddi, F., Safavinejad, A., Ranjbar, F., Chaji, H. 2016. Exergy loss based efficiency optimization of a double-pass/glazed v-corrugated plate solar air heater. ***Energy***, Vol. 94, pp. 799-810.

Hepbaşlı, A. 2004. Solar energy applications ın Turkey, ***Energy Sources***, 26 (6): 551–561.

Heyhat, M. M., Valizade, M., Abdolahzade, Sh., Maerefat, M. 2020. Thermal efficiency enhancement of'direct absorption parabolic trough solar collector (DAPTSC) by using nanofluid and metal foam. ***Energy***, 192.

Huang W., Hu P., Chen Z. 2012. Performance simulation of a parabolic 87 trough solar collector. ***Solar Energy***, 86 (2): 746–755.

Jaramillo, O. A., Reyes E. V., Aguilar, J.O., Garcia, R. C., Montemayor, F. S. 2013. Parabolic trough concentrators for low enthalpy processes. ***Renewable Energy,*** 60 529–539.

Kalaiarasi, G., Velraj, R., Swami, M.V. 2016. Experimental energy and exergy analysis of a flat plate solar air heater with a new design of integrated sensible heat storage, ***Energy***, Vol. 111, pp. 609-619.

Kalogirou S. 1996. Parabolic trough collector system for low temperature steam generation: design and performance characteristics. ***Applied Energy***, 55:1–19.

Kalogirou, S. A. 2009. Concentrating Collectors. Kalogirou, S. A. Solar Energy Engineering Processes and Systems. British Library, 760. USA.

Kalogirou, S., A. 2012. Detailed Thermal Model Of A Parabolic Trough Collector Receiver. ***Energy,*** 48 (1) :298-306.

Kıral, S. 2016. Kompozit Parabolik Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi Toplayıcısı Mekanik Tasarımı, Kontrolü ve Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir. 104.

Kreith, F., Kreider, JF. 1978. Principles of Solar Engineering. New York, 778. USA.

Manikandan, G. K., Iniyan, S., Goic, R. 2019. Enhancing the optical and thermal efficiency of a parabolic trough collector– A review. ***Applied Energy,*** 235 1524–1540.

Meteoroliji Genel Müdürlüğü, 2017. Türkiye'de global güneş radyasyon dağılımı, Erişim: [https://www.mgm.gov.tr/kurumici/turkiye-guneslenme-suresi.aspx]. Erişim Tarihi : 10.03.2019

Meteoroliji Genel Müdürlüğü, 2017. Türkiye'de günlük güneşlenme süresi, Erişim: [https://www.mgm.gov.tr/kurumici/turkiye-guneslenme-suresi.aspx]. Erişim Tarihi : 10.03.2019

Mwamburi, M., Wackelgard, E. 2000. Doped tin oxide coated aluminium solar selective reflector surfaces. ***Solar Energy***, 68 (4): 371-378.

Narayanan, S. R., Vijay, S. 2020. Desalination of water using parabolic trough collector. ***Materials Today: Proceedings***, 21 375–379.

Netes, 2018. Lutron TM-946 - 4 Kanal dijital termometre teknik özellikler, Erişim: [https://www.netes.com.tr/urun/lutron-tm-946-4-kanal-dijital-termometre]. Erişim Tarihi : 01.02.2020

Odeh S. D., Morrison G. L., Behnia M. 1998. Modelling of parabolic trough'direct steam generation solar collectors. ***Solar Energy,*** 62 (6): 395-406.

Özcan, A., Devecioğlu, A. G., Oruç, V. 2021. Experimental and numerical analysis of a parabolic trough solar collector for water heating application, ***Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects***, doi.org/10.1080/15567036.2021.1924317.

Özden, S. A., 2009. Dünya'da ve Türkiye'de Güneş Enerjisi. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Haziran 2009, Ankara, S, 1-1.

Öztürk, H.K., Şanlı, G., Yılancı A. 2009. Parabolik oluk tipi güneş kolektörlerin performans analizi. ***Mühendis ve Makine***, 51 (609).

Reddy, K. S., Ajay, C.S., Kumar, B. N. 2018. Sensitivity study of thermal performance characteristics based on optical parameters for'direct steam generation in parabolic trough collectors. ***Solar Energy***, 169 577–593.

Reve, 2020. Heliostat, Erişim: [https://www.evwind.es/2015/04/02/first-concentrated-solar-power-csp-heliostat-field-in-saudi-arabia/51318]. Erişim Tarihi : 01.02.2020

Silva, R., Perez, M., Garcia, A. F. 2013. Modeling and co-simulation of a parabolic trough solar plant for industrial process heat. ***Applied Energy***, 106 287–300.

Sodha, M. S., Mathur, S. S., Malik, M. A. S. 1984. Wiley Eastern Limited, Singapore.

Solar Advıce, 2020. Düzlemsel kollektörün yapısı, Erişim: [https://solaradvice.co.za/flat-plate-solar-water-heating/]. Erişim Tarihi : 20.03.2021

Solar Collector, 2017. Fresnel mercekli odaklayıcı yoğunlaştırıcılar, Erişim: [http://solarcollectordonokoso.blogspot.com/2017/04/linear-fresnel-solar-collector.html]., Erişim Tarihi : 01.02.2020

Şanlı, G. 2010. Parabolik Oluk Tipi Güneş Kollektörlerinin Teorik Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 30.

Şimşek, Ö. 2012. Parabolik Güneş Kolektörü Tasarımı, İmâlatı, Test Edilmesi ve Kırsal Bölgelerde Isıtma Kullanım Alanı Fizibilitesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 103.

Tatara, R. A., Thodos, G., Lee, Y. N. 1991. Performance of an array of compound parabolic concentrators with plain tubular receivers. ***Renewable Energy***, 1 (1): 21-26.

TESTO, 2020. Kızılötesi termometre, Erişim: [https://www.testo.com/tr-TR/testo-831/p/0560-8316]. Erişim Tarihi : 01.02.2020

Türktoğrul, İ. ve Pehlivan, D. 2002. Konik Yoğunlaştırmalı Bir Güneş Enerjili Hava Isıtıcının Verimine Farklı Absorber Yüzey Kullanımının Etkisi. ***Türk Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi***, 22 (2): 47-53.

Varınca, K. B., Gönüllü M. T. 2006. Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma. I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, Eskişehir 21-23.

Wirz, M., Petit, J., Haselbacher, A., Steinfeld, A. 2014. Potential improvements in the optical and thermal efficiencies of parabolic trough concentrators. ***Solar Energy,*** 107 398–414.

Yahi, F., Belhamel, M., Bouzeffour, F., Sari, O. 2020. Structured dynamic modeling and simulation of parabolic trough solar collector using bond graph approach. ***Solar Energy***, 196 27–38.

Yang, M., Moghimi, M. A., Zhu, Y., Qiao, R., Wang, Y., Taylor, R. A. 2020. Optical and thermal performance analysis of a micro parabolic trough collector for building integration. ***Applied Energy***, 260 114234.

YEŞİL ODAK, 2020. Merkezi alıcı güneş kulesi, Erişim: [https://www.yesilodak.com/gunes-ekilen-yeni-nesil-tarlalar--gunes-enerjisi-santralleri-]. Erişim Tarihi : 01.02.2020

ÖZGEÇMİŞ

Adı-Soyadı	: Abdulkadir ÖZCAN
Doğum Yeri	: Siirt
Lise	: Siirt Lisesi
Üniversite	: Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü
Çalıştığı Kurum	: Siirt Üniversitesi

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ İNTİHAL FORMU

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ	
ADI VE SOYADI	Abdulkadir ÖZCAN
ÖĞRENCİ NO	19818003
EĞİTİM – ÖĞRETİM YILI	2020-2021
YARIYIL	☐ Güz ☒ Bahar
ANABİLİM DALI	Makine Mühendisliği
PROGRAM	Yüksek Lisans
TEZ KONUSU	Parabolik Oluk Tipi Güneş Enerji Sistemlerinin Sıcak Su Üretiminde Kullanılabilirliği
İNTİHAL RAPORU BİLGİLERİ	
RAPOR TÜRÜ	Tez Savunma Sınavı Sonrası
SAYFA SAYISI	176
BENZERLİK ORANI	%13
RAPORLAMA TARİHİ	03/06/ 2021

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın kapak sayfası, giriş, ana bölümler, sonuç ve tartışma kısımlarından oluşan toplam 176 sayfalık kısmına ilişkin, 03/06/2021 tarihinde ~~şahsım~~/tez danışmanım tarafından *Turnitin* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 13'tür.

Uygulanan filtrelemeler:

☒Kabul/Onay sayfaları hariç,
☐Kaynakça hariç
☐Alıntılar ~~hariç~~/dâhil
☐Diğer

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Programlarda Tez Çalışması İntihal Raporu Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edilmesi durumunda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Abdulkadir ÖZCAN
03/06/2021

……..	……..
Doç.Dr. Atilla G. DEVECİOĞLU Tez Danışmanı 03/06/2021	Prof.Dr. Vedat ORUÇ Anabilim Dalı Başkanı 03/06/2021

Formdaki bilgiler bilgisayar ortamında doldurulmalıdır. El yazısı ile doldurulan formlar geçersiz sayılmaktadır.